

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha,  
Aymaraes – 2024

Presentado por:

Jaime Jose Morales Tello  
Russell Quicaña Huaccharaqui

Para optar el título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú  
2026



**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024**

Presentado por **Jaime Jose Morales Tello y Russell Quicaña Huaccharaqui**, para optar el título de Ingeniero Civil

Sustentado y aprobado el 21 de enero del 2026 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

  
Ph. D, Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orellana

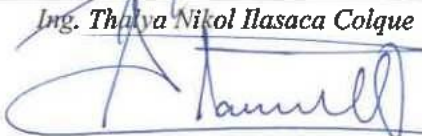
**Primer miembro:**

  
Ing. Oscar Velazque Rojas

**Segundo miembro:**

  
Ing. Thalysa Nikol Ilasaca Colque

**Asesor:**

  
Dr. Calixto Cañari Otero

*Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional*

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 013-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024**, presentado por los Bachrs: **JAIME JOSE MORALES TELLO** y **RUSSELL QUICANÑA HUACCHARAQUI**, para optar el título de **Ingeniero Civil**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (15%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 15 de enero del 2026

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Dra. Hemeralda Rojas Enriquez  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.  
Archivo  
REG. N° 049

## **Agradecimiento**

*Agradezco a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, mi alma mater, por abrirme sus puertas durante los años de mi formación profesional, etapa llena de sacrificios y aprendizajes, donde adquirí conocimientos, valores y principios que marcarán mi vida profesional.*

*Al Dr. Calixto Cañari Otero, asesor de la presente investigación, por su valioso apoyo, sus conocimientos compartidos y sus oportunos consejos, los cuales fueron fundamentales durante el desarrollo de este trabajo.*

**Jaime Jose Morales Tello**

*Agradezco a mis padres Plácido Quicaña Atahua y Vilma Huaccharaqui Llamccaya, quienes fueron instrumento de Dios para que pudiera contar con todo lo necesario, tanto en mi formación universitaria como en mi vida personal. A ellos les debo mi más sincero amor y gratitud, así como el ejemplo que me inculcaron de estudio, dedicación y constancia, valores que constituyen mi mayor orgullo.*

*Agradezco a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac por ser mi alma mater y por ser parte de mi formación profesional. A mis docentes por las enseñanzas impartidas, en especial a mi asesor Dr. Calixto Cañari Otero quien me apoyo en todo el proceso de investigación de tesis, Finalmente, extendiendo mi agradecimiento a mis familiares y a todas las personas que siempre confiaron en mí, brindándome su fe, apoyo y admiración.*

**Russell Quicaña Huaccharaqui**



## **Dedicatoria**

*A Dios, quien ha sido mi guía, dándome la fuerza necesaria para seguir adelante y permitiéndome cumplir este objetivo.*

*Con infinito amor y gratitud, dedico este trabajo a mis queridos abuelos Justo Tello Calixto y Nicolasa Toribio Palomino por todo su apoyo incondicional, por ser ejemplo de esfuerzo, humildad y por enseñarme con su vida el verdadero valor del sacrificio y la perseverancia. A mi madre Gladys Tello Toribio, quien con su amor infinito y su fortaleza me ha guiado siempre. A mi tía Rosalvina Tello Toribio, a quien considero como una segunda madre por brindarme su apoyo incondicional. A mis hermanos, amigos y docentes quienes con su apoyo y aliento me ayudaron alcanzar este objetivo en mi vida.*

**Jaime Jose Morales Tello**

*Dedico este pequeño esfuerzo a Dios, porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mi padre Plácido Quicaña Atahua y mi queridísima madre Vilma Huaccharaqui Llamccaya quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.*

*A mis hermanos, mis amigos, docentes quienes depositaron su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.*

*Los quiero con toda mi vida.*

**Russell Quicaña Huaccharaqui**



Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha,

Aymaraes – 2024

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

|                                       | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------|-------------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                   | 1           |
| <b>RESUMEN</b>                        | 2           |
| <b>ABSTRACT</b>                       | 3           |
| <b>CAPÍTULO I</b>                     | 4           |
| <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>     | 4           |
| 1.1 Descripción del problema          | 4           |
| 1.2 Enunciado del problema            | 7           |
| 1.2.1 Problema general                | 7           |
| 1.2.2 Problemas específicos           | 7           |
| 1.3 Justificación de la investigación | 7           |
| 1.3.1 Justificación social            | 7           |
| 1.3.2 Justificación económica         | 8           |
| 1.3.3 Justificación teórica           | 8           |
| 1.3.4 Justificación práctica          | 9           |
| 1.3.5 Justificación metodológica      | 9           |
| <b>CAPÍTULO II</b>                    | 11          |
| <b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>          | 11          |
| 2.1 Objetivos de la investigación     | 11          |
| 2.1.1 Objetivo general                | 11          |
| 2.1.2 Objetivos específicos           | 11          |
| 2.2 Hipótesis de la investigación     | 11          |
| 2.2.1 Hipótesis general               | 11          |
| 2.2.2 Hipótesis específicas           | 11          |
| 2.3 Operacionalización de variables   | 12          |
| <b>CAPÍTULO III</b>                   | 15          |
| <b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>      | 15          |
| 3.1 Antecedentes                      | 15          |
| 3.1.1 Internacional                   | 15          |
| 3.1.2 Nacional                        | 16          |
| 3.1.3 Regional                        | 19          |
| 3.2 Marco teórico                     | 20          |
| 3.2.1 Suelo                           | 20          |
| 3.2.1.1 Granulometría del suelo       | 20          |



|                    |                                                         |    |
|--------------------|---------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1.2            | Tamaño de partículas                                    | 22 |
| 3.2.1.3            | Clasificación de suelos                                 | 22 |
| 3.2.1.4            | Límites de consistencia del suelo                       | 26 |
| 3.2.1.5            | Compactación de suelos                                  | 31 |
| 3.2.1.6            | California Bearing Ratio (CBR)                          | 34 |
| 3.2.2              | Permeabilidad en suelos                                 | 36 |
| 3.2.2.1            | Ley de Henry Darcy                                      | 36 |
| 3.2.2.2            | Métodos para determinar el coeficiente de permeabilidad | 37 |
| 3.2.2.3            | Permeámetro de carga variable                           | 38 |
| 3.2.2.4            | Expansión de suelos                                     | 39 |
| 3.2.3              | Estabilización de suelos                                | 40 |
| 3.2.3.1            | Propiedades de los suelos a estabilizar                 | 41 |
| 3.2.3.2            | Categorías principales de estabilización de suelos      | 42 |
| 3.2.4              | Aditivos                                                | 46 |
| 3.2.4.1            | Aceite sulfonado                                        | 46 |
| 3.2.4.2            | Cemento portland                                        | 49 |
| 3.2.5              | Caminos con superficie de rodadura no pavimentado       | 51 |
| 3.2.5.1            | Subrasante                                              | 52 |
| 3.2.6              | Diseño de experimentos                                  | 52 |
| 3.2.7              | Diseño factorial $2^k$                                  | 55 |
| 3.2.7.1            | Diseño factorial $2^2$                                  | 55 |
| 3.2.7.2            | Diseño factorial $2^3$                                  | 56 |
| 3.2.8              | Diseño factorial $3^k$                                  | 57 |
| 3.2.9              | Diseño central compuesto                                | 57 |
| 3.2.10             | Diseño central compuesto con puntos axiales             | 59 |
| 3.2.11             | Metodología de superficie de respuesta                  | 60 |
| 3.2.11.1           | Gráficas de superficie de respuesta                     | 60 |
| 3.2.11.2           | Modelos de superficie de respuesta                      | 61 |
| 3.2.11.3           | Mejor tratamiento y punto óptimo.                       | 63 |
| 3.3                | Marco conceptual                                        | 65 |
| <b>CAPÍTULO IV</b> |                                                         | 67 |
| <b>METODOLOGÍA</b> |                                                         | 67 |
| 4.1                | Tipo y nivel de investigación                           | 67 |
| 4.1.1              | Tipo de investigación                                   | 67 |
| 4.1.2              | Nivel de investigación                                  | 67 |
| 4.1.3              | Enfoque de investigación                                | 68 |
| 4.2                | Diseño de la investigación                              | 68 |
| 4.3                | Descripción ética de la investigación                   | 70 |
| 4.4                | Población y muestra                                     | 70 |



|                                       |                                        |     |
|---------------------------------------|----------------------------------------|-----|
| 4.4.1                                 | Población                              | 70  |
| 4.4.2                                 | Muestra                                | 71  |
| 4.5                                   | Procedimiento                          | 74  |
| 4.6                                   | Técnica e instrumentos                 | 75  |
| 4.6.1                                 | Técnicas de investigación              | 75  |
| 4.6.2                                 | Instrumentos de investigación          | 76  |
| 4.7                                   | Análisis estadístico                   | 80  |
| 4.7.1                                 | Estadística descriptiva                | 81  |
| 4.7.2                                 | Estadística inferencial                | 82  |
| <b>CAPÍTULO V</b>                     |                                        | 88  |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>         |                                        | 88  |
| 5.1                                   | Análisis de resultados descriptivos    | 88  |
| 5.1.1                                 | Resultado del objetivo general         | 88  |
| 5.1.2                                 | Resultado del objetivo específico 1    | 90  |
| 5.1.3                                 | Resultado del objetivo específico 2    | 92  |
| 5.1.4                                 | Resultado del objetivo específico 3    | 95  |
| 5.2                                   | Análisis estadístico inferencial       | 98  |
| 5.2.1                                 | Análisis de variables dependientes     | 98  |
| 5.2.2                                 | Contrastación de hipótesis             | 102 |
| 5.2.2.1                               | Contrastación de hipótesis general     | 102 |
| 5.2.2.2                               | Contrastación de hipótesis específicas | 106 |
| 5.3                                   | Discusión de resultados                | 118 |
| <b>CAPÍTULO VI</b>                    |                                        | 121 |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> |                                        | 121 |
| 6.1                                   | Conclusiones                           | 121 |
| 6.2                                   | Recomendaciones                        | 122 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>     |                                        | 124 |
| <b>ANEXOS</b>                         |                                        | 131 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                            | <b>Pág.</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Tabla 1</b> — Operacionalización de variables                                                                                           | 13          |
| <b>Tabla 2</b> — Serie de tamices de malla cuadrada                                                                                        | 21          |
| <b>Tabla 3</b> — Clasificación de suelos según tamaño de partículas                                                                        | 22          |
| <b>Tabla 4</b> — Clasificación de suelos según el índice de grupo                                                                          | 23          |
| <b>Tabla 5</b> — Clasificación de suelos ASSHTO                                                                                            | 24          |
| <b>Tabla 6</b> — Símbolos para clasificación de suelos SUCS                                                                                | 25          |
| <b>Tabla 7</b> — Clasificación de suelos SUCS                                                                                              | 26          |
| <b>Tabla 8</b> — Clasificación de suelos según índice de plasticidad                                                                       | 31          |
| <b>Tabla 9</b> — Especificaciones de la prueba de Proctor modificado                                                                       | 33          |
| <b>Tabla 10</b> — Porcentajes de cemento según Mitchell y Freitag                                                                          | 44          |
| <b>Tabla 11</b> — Proporción para la estabilización suelo cemento                                                                          | 45          |
| <b>Tabla 12</b> — Características físicas – IONICSOIL                                                                                      | 48          |
| <b>Tabla 13</b> — Tipos de cemento portland                                                                                                | 49          |
| <b>Tabla 14</b> — Categorías de subrasante                                                                                                 | 52          |
| <b>Tabla 15</b> — Tratamientos de aceite sulfonado con cemento portland I                                                                  | 72          |
| <b>Tabla 16</b> — Juicio de expertos                                                                                                       | 77          |
| <b>Tabla 17</b> — Coeficiente de validez de contenido del instrumento                                                                      | 78          |
| <b>Tabla 18</b> — Interpretación del coeficiente de validez de contenido                                                                   | 79          |
| <b>Tabla 19</b> — Determinación de la confiabilidad del instrumento                                                                        | 79          |
| <b>Tabla 20</b> — Interpretación de la confiabilidad del instrumento                                                                       | 80          |
| <b>Tabla 21</b> — Resultados de propiedades mecánicas y permeabilidad                                                                      | 88          |
| <b>Tabla 22</b> — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR del material de cantera Huaycha                          | 90          |
| <b>Tabla 23</b> — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica del material de cantera Huaycha        | 92          |
| <b>Tabla 24</b> — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad del material de cantera Huaycha | 95          |
| <b>Tabla 25</b> — Factores de inter – sujetos de aceite sulfonado con cemento portland I                                                   | 102         |
| <b>Tabla 26</b> — Prueba de igualdad de Levene de varianzas de aceite sulfonado con cemento portland I                                     | 103         |

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 27</b> — Prueba multivariante de aceite sulfonado con cemento portland I                                   | 104 |
| <b>Tabla 28</b> — Prueba de efectos inter-sujetos de aceite sulfonado con cemento portland I                        | 105 |
| <b>Tabla 29</b> — Análisis de varianza del aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR                        | 108 |
| <b>Tabla 30</b> — Resumen de modelos de regresión del CBR                                                           | 110 |
| <b>Tabla 31</b> — Análisis de varianza del aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica      | 112 |
| <b>Tabla 32</b> — Resumen de modelos de regresión de la expansión volumétrica                                       | 114 |
| <b>Tabla 33</b> — Análisis de varianza del aceite sulfonado con cemento portland I del coeficiente de permeabilidad | 116 |
| <b>Tabla 34</b> — Resumen de modelos de regresión de coeficiente de permeabilidad                                   | 118 |
| <b>Tabla 35</b> — Matriz de consistencia de la investigación                                                        | 132 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                             | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Figura 1</b> — Límites de Atterberg                                                                                      | 27          |
| <b>Figura 2</b> — Definición gráfica de límites de contracción                                                              | 27          |
| <b>Figura 3</b> — Prueba de límite plástico                                                                                 | 28          |
| <b>Figura 4</b> — Prueba de límite líquido                                                                                  | 29          |
| <b>Figura 5</b> — Curva de flujo para la determinación del límite líquido                                                   | 30          |
| <b>Figura 6</b> — Principio de compactación de suelo                                                                        | 32          |
| <b>Figura 7</b> — Curva para cálculo de índice de CBR                                                                       | 35          |
| <b>Figura 8</b> — Prueba del permeámetro de carga variable                                                                  | 39          |
| <b>Figura 9</b> — Aplicación del aceite sulfonado IONICSOIL                                                                 | 49          |
| <b>Figura 10</b> — Variables de un proceso al diseñar el experimento                                                        | 54          |
| <b>Figura 11</b> — Variables del proceso experimental de la investigación                                                   | 54          |
| <b>Figura 12</b> — Representación geométrica del diseño factorial $2^2$                                                     | 56          |
| <b>Figura 13</b> — Representación geométrica del diseño factorial $2^3$                                                     | 56          |
| <b>Figura 14</b> — Combinaciones de tratamientos $3^k$ ( $k = 2$ )                                                          | 57          |
| <b>Figura 15</b> — Puntos experimentales del diseño central compuesto                                                       | 58          |
| <b>Figura 16</b> — Diseño central compuesto con puntos axiales                                                              | 59          |
| <b>Figura 17</b> — Superficie y curva de respuesta para dos factores                                                        | 61          |
| <b>Figura 18</b> — Superficie de respuesta de modelo de primer orden                                                        | 62          |
| <b>Figura 19</b> — Modelos de superficie de respuesta de segundo orden                                                      | 63          |
| <b>Figura 20</b> — Mejor tratamiento y punto óptimo                                                                         | 64          |
| <b>Figura 21</b> — Diseño de investigación experimental                                                                     | 69          |
| <b>Figura 22</b> — Flujograma de investigación                                                                              | 74          |
| <b>Figura 23</b> — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I                                                    | 90          |
| <b>Figura 24</b> — Influencia del CBR óptimo respecto del CBR patrón                                                        | 91          |
| <b>Figura 25</b> — Análisis tridimensional de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I del CBR                     | 92          |
| <b>Figura 26</b> — Influencia de la expansión volumétrica óptimo respecto del patrón                                        | 94          |
| <b>Figura 27</b> — Análisis tridimensional de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I de la expansión volumétrica | 95          |
| <b>Figura 28</b> — Influencia del coeficiente de permeabilidad óptimo respecto del patrón                                   | 97          |

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 29</b> — Análisis tridimensional de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I del coeficiente de permeabilidad | 97  |
| <b>Figura 30</b> — Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del CBR                                                                  | 99  |
| <b>Figura 31</b> — Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de la expansión volumétrica                                              | 100 |
| <b>Figura 32</b> — Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del coeficiente de permeabilidad                                         | 101 |
| <b>Figura 33</b> — Gráfica de superficie de respuesta del CBR                                                                    | 107 |
| <b>Figura 34</b> — Gráfica de contorno del CBR                                                                                   | 108 |
| <b>Figura 35</b> — Gráfica del punto óptimo del CBR                                                                              | 108 |
| <b>Figura 36</b> — Gráfica de superficie de respuesta de la expansión volumétrica                                                | 111 |
| <b>Figura 37</b> — Gráfica de contorno de la expansión volumétrica                                                               | 112 |
| <b>Figura 38</b> — Gráfica del punto óptimo de la expansión volumétrica                                                          | 112 |
| <b>Figura 39</b> — Gráfica de superficie de respuesta del coeficiente de permeabilidad                                           | 115 |
| <b>Figura 40</b> — Gráfica de contorno del coeficiente de permeabilidad                                                          | 116 |
| <b>Figura 41</b> — Gráfica del punto óptimo del coeficiente de permeabilidad                                                     | 116 |
| <b>Figura 42</b> — Ficha de dosificación de aceite sulfonado con cemento portland I                                              | 134 |
| <b>Figura 43</b> — Formato de obtención de la expansión volumétrica y CBR                                                        | 135 |
| <b>Figura 44</b> — Formato de obtención del CBR                                                                                  | 136 |
| <b>Figura 45</b> — Formato de obtención del coeficiente de permeabilidad                                                         | 137 |
| <b>Figura 46</b> — Validación del experto Dr. Wilson Mollocondo Flores                                                           | 138 |
| <b>Figura 47</b> — Validación del experto Dr. José Abdón Sotomayor Chahuaylla                                                    | 139 |
| <b>Figura 48</b> — Validación del experto Mag. Rómulo Gómez Noblega                                                              | 140 |
| <b>Figura 49</b> — Validación del experto Mag. Danilo Saavedra Oré                                                               | 141 |
| <b>Figura 50</b> — Validación del experto Mag. Noel Molina Navarrete                                                             | 142 |
| <b>Figura 51</b> — Identificación del tramo AP-768 Baños Termales de Pincahuacho                                                 | 143 |
| <b>Figura 52</b> — Inspección y registro de datos técnicos en la carretera vecinal AP-768                                        | 143 |
| <b>Figura 53</b> — Contenido de humedad de la muestra de cantera Huaycha                                                         | 144 |
| <b>Figura 54</b> — Clasificación de suelo mediante análisis granulométrico por tamizado                                          | 144 |
| <b>Figura 55</b> — Ensayo de límite plástico                                                                                     | 145 |
| <b>Figura 56</b> — Secado en el horno muestras límite líquido y límite plástico                                                  | 145 |
| <b>Figura 57</b> — Preparación de muestras para Proctor modificado                                                               | 146 |
| <b>Figura 58</b> — Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                                    | 146 |
| <b>Figura 59</b> — Peso del cemento portland I – dosificación 1.50 %                                                             | 147 |
| <b>Figura 60</b> — Combinación del agua con el aceite sulfonado IONICSOIL                                                        | 147 |
| <b>Figura 61</b> — Combinación del cemento portland I con el material de cantera Huaycha                                         | 148 |
| <b>Figura 62</b> — Inmersión de moldes CBR para el ensayo de expansión volumétrica                                               | 148 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 63</b> — Medición de la expansión volumétrica en especímenes de CBR                                             | 149 |
| <b>Figura 64</b> — Ensayo de rotura en la prueba CBR                                                                      | 149 |
| <b>Figura 65</b> — Moldes de las muestras después del ensayo CBR                                                          | 150 |
| <b>Figura 66</b> — Ensayo de permeabilidad en suelos mediante carga variable                                              | 150 |
| <b>Figura 67</b> — Dosificación de aceite sulfonado con cemento portland I                                                | 151 |
| <b>Figura 68</b> — Ensayo de análisis granulométrico por tamizado de la cantera Huaycha                                   | 152 |
| <b>Figura 69</b> — Ensayo de límite líquido y límite plástico del material de cantera Huaycha                             | 153 |
| <b>Figura 70</b> — Clasificación de suelo SUCS y AASHTO del material de la cantera Huaycha                                | 154 |
| <b>Figura 71</b> — Ensayo de Proctor modificado del material de cantera Huaycha                                           | 155 |
| <b>Figura 72</b> — CBR combinación 0.00 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 0.00 % de cemento portland I            | 156 |
| <b>Figura 73</b> — Réplica de CBR combinación 0.00 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 0.00 % de cemento portland I | 157 |
| <b>Figura 74</b> — CBR combinación 0.15 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I            | 158 |
| <b>Figura 75</b> — Réplica de CBR combinación 0.15 lt/m <sup>3</sup> aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I    | 159 |
| <b>Figura 76</b> — CBR combinación 0.15 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I            | 160 |
| <b>Figura 77</b> — Réplica de CBR combinación 0.15 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I | 161 |
| <b>Figura 78</b> — CBR combinación 0.20 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % con cemento portland I           | 162 |
| <b>Figura 79</b> — Réplica de CBR combinación 0.20 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 163 |
| <b>Figura 80</b> — CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.00 % de cemento portland I            | 164 |
| <b>Figura 81</b> — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.00 % cemento portland I    | 165 |
| <b>Figura 82</b> — CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I            | 166 |
| <b>Figura 83</b> — CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I            | 167 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 84</b> — CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I               | 168 |
| <b>Figura 85</b> — CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I               | 169 |
| <b>Figura 86</b> — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I    | 170 |
| <b>Figura 87</b> — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I    | 171 |
| <b>Figura 88</b> — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I    | 172 |
| <b>Figura 89</b> — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I    | 173 |
| <b>Figura 90</b> — CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.00 % de cemento portland I               | 174 |
| <b>Figura 91</b> — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.00 % de cemento portland I    | 175 |
| <b>Figura 92</b> — CBR combinación 0.30 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I               | 176 |
| <b>Figura 93</b> — Réplica de CBR combinación 0.30 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I    | 177 |
| <b>Figura 94</b> — CBR combinación 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I               | 178 |
| <b>Figura 95</b> — Réplica de CBR combinación 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I    | 179 |
| <b>Figura 96</b> — CBR combinación 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I               | 180 |
| <b>Figura 97</b> — Réplica de CBR combinación 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I    | 181 |
| <b>Figura 98</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.00 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 0.00 % de cemento portland I  | 182 |
| <b>Figura 99</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.15 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I  | 182 |
| <b>Figura 100</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.15 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I | 183 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 101</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I | 183 |
| <b>Figura 102</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I | 184 |
| <b>Figura 103</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.20 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 184 |
| <b>Figura 104</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.35 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I | 185 |
| <b>Figura 105</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.20 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 185 |
| <b>Figura 106</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.30 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 186 |
| <b>Figura 107</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.00 % de cemento portland I | 186 |
| <b>Figura 108</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.00 % de cemento portland I | 187 |
| <b>Figura 109</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 187 |
| <b>Figura 110</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 188 |
| <b>Figura 111</b> — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m <sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I | 188 |
| <b>Figura 112</b> — Certificado de calibración horno eléctrico                                                               | 189 |
| <b>Figura 113</b> — Certificado de verificación de molde Proctor                                                             | 189 |
| <b>Figura 114</b> — Certificado de verificación de pesas abiertas CBR                                                        | 190 |
| <b>Figura 115</b> — Certificado de verificación de pesas cerradas CBR                                                        | 190 |
| <b>Figura 116</b> — Certificado de calibración prensa CBR                                                                    | 191 |
| <b>Figura 117</b> — Certificado de verificación placa de expansión                                                           | 191 |
| <b>Figura 118</b> — Certificado de verificación trípode CBR                                                                  | 192 |
| <b>Figura 119</b> — Declaración de originalidad de autores                                                                   | 193 |
| <b>Figura 120</b> — Autorización de consentimiento para realizar la investigación                                            | 194 |

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

**MSR:** Metodología de Superficie de Respuesta

**DCC:** Diseño Central Compuesto

**MTC:** Ministerio de Transporte y Comunicaciones

**NTP:** Norma Técnica Peruana

**LL:** Límite Líquido

**LP:** Límite Plástico

**IP:** Índice de Plasticidad

**MDS:** Máxima Densidad Seca

**SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

**ANOVA:** Analysis of Variance (Análisis de Varianza)

**MANOVA:** Multivariate Analysis of Variance (Análisis Multivariado de Varianza)

**CBR:** California Bearing Ratio (Índice de Soporte de California)

**ASTM:** American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales)

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte)

## INTRODUCCIÓN

En la última década, el crecimiento poblacional a nivel mundial ha evidenciado la importancia de las vías de comunicación, ya que constituyen un elemento clave para conectar poblaciones y promover el intercambio comercial, socioeconómico y cultural. Esta realidad demanda carreteras resistentes y duraderas al tránsito sin deteriorarse.

En Costa Rica, la presencia de suelos con baja capacidad de soporte representa una limitación significativa para el desarrollo de proyectos viales. Ante esta situación, el uso de aditivos químicos como: cemento, cal, aceites y agentes químicos son una solución alternativa económica para mejorar las propiedades del suelo, aumentando su capacidad de resistencia y reduciendo los problemas asociados a la expansión volumétrica y permeabilidad.

Para el desarrollo económico del Perú, es fundamental disponer de vías que integren las regiones de la sierra, selva y costa. En este contexto, el Estado tiene la responsabilidad de asegurar una infraestructura vial adecuada que favorezca el crecimiento económico, fortalezca la interconexión y contribuya a mejorar la calidad de vida de la población.

En la región de Apurímac, la transitabilidad de las carreteras vecinales es un aspecto clave para el crecimiento de los centros poblados y comunidades rurales, dado que estas vías permiten su integración con los centros urbanos y facilitan el acceso a servicios básicos como educación y salud. No obstante, se ha evidenciado que las vías se encuentran en un estado de deterioro, debido principalmente a las deficiencias en la capacidad de soporte de la subrasante y a la falta de un sistema adecuado de drenaje que permita el control de las aguas pluviales.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024. Este estudio aborda la problemática relacionada con la pérdida de capacidad de soporte de la superficie de rodadura, situación que se intensifica debido a las precipitaciones pluviales, las cuales provocan procesos de saturación, erosión de los agregados y una disminución del desempeño estructural de las vías no pavimentada.



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y con un diseño experimental, utilizando la Metodología de Superficie de Respuesta que tuvo como la finalidad de determinar los puntos óptimos de los tratamientos. La población y muestra está constituida por 24 combinaciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I con material de cantera Huaycha, obtenidas mediante el diseño central compuesto. La aplicación de la MSR facilitó determinar la dosificación óptima de 0.32 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.70 % de cemento portland I, el cual generó un incremento significativo en la capacidad de soporte del suelo, alcanzando un valor máximo de CBR de 113.90 %. Del mismo modo, para la expansión volumétrica se obtuvo un valor mínimo de 0.076 % con 0.26 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado y 3.50 % de cemento portland I, mientras que el coeficiente de permeabilidad alcanzó un valor de  $1.21 \times 10^{-6}$  cm/s con la misma dosificación. En conclusión, los resultados evidencian que la interacción combinada de aceite sulfonado con cemento portland I representa una alternativa eficiente para mejorar las propiedades mecánicas y reducir la permeabilidad de los suelos utilizados en la estabilización de carreteras no pavimentadas, contribuyendo de este modo mejorar la transitabilidad y prolongar la vida útil.

**Palabras clave:** *aceite sulfonado, cemento portland, CBR, expansión volumétrica, coeficiente de permeabilidad.*



## ABSTRACT

This research aimed to evaluate the influence of sulfonated oil combined with type I portland cement on the mechanical properties and permeability of subgrade soil using the Response Surface Methodology applied to quarry material from Huaycha, Aymaraes – 2024.

The study was conducted under a quantitative approach, with an applied type, explanatory level, and experimental design, the Response Surface Methodology was employed to determine the optimal treatment conditions. The population and sample consisted of 24 combinations of IONICSOIL sulfonated oil and type I portland cement mixed with Huaycha quarry material, obtained through a central composite design. The application of RSM allowed the determination of an optimal dosage of 0.32 lt/m<sup>3</sup> of sulfonated oil combined with 2.70 % portland cement, which produced a significant increase in soil bearing capacity, reaching a maximum CBR value of 113.90 %. Similarly, a minimum volumetric expansion value of 0.076 % was obtained with a dosage of 0.26 lt/m<sup>3</sup> of sulfonated oil and 3.50 % portland cement, while the permeability coefficient reached a value of  $1.21 \times 10^{-6}$  cm/s with the same dosage. In conclusion, the results demonstrate that the combined interaction of sulfonated oil and portland cement represents an efficient alternative for improving mechanical properties and reducing soil permeability in the stabilization of unpaved roads, thereby enhancing trafficability and extending service life.

**Keywords:** *sulfonated oil, portland cement, CBR, volumetric expansion, permeability coefficient.*



## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Descripción del problema**

En el marco internacional, geográficamente en las comunas de San Pablo, La Costa, Puerto Octay y Puyehue en el país de Chile, la situación de los caminos rurales es una realidad lamentable que impacta negativamente a las familias y a su calidad de vida. Estas vías presentan deficiencias como hoyos, baches, desniveles, matorrales y tramos deteriorados, los cuales son consecuencia de la falta de mantenimiento durante años. Esta condición genera un alto riesgo de interrupción en la conexión del transporte, lo que limita la movilidad de los pobladores y dificulta el acceso a servicios básicos. La problemática se intensifica con el inicio de la temporada de lluvias, dado que las precipitaciones agravan el mal estado de los caminos, convirtiéndolos en zonas intransitables debido a la ausencia de un mantenimiento adecuado en épocas secas (Salgado et al., 2023).

De manera similar, en Colombia la red vial terciaria también refleja un panorama crítico. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeamiento (DNP), de los 206,708 kilómetros que conforman la red vial, el 68.83 % corresponde a vías terciarias, de las cuales un 77.61 % (110,419 kilómetros) se encuentra bajo INVIAS. No obstante, el 45.40 % (50,130 kilómetros) de la red vial terciaria está catalogada en mal estado y el 36.10 % (39,861 kilómetros) se encuentra en estado regular, lo que evidencia un nivel significativo de deterioro que limita la transitabilidad y la conexión de zonas rurales con centros urbanos. Para revertir esta realidad se estima que el estado de Colombia necesitaría más de 300 billones de dólares para mejorar a nivel de pavimentos (Departamento Nacional de Planeación, 2023).

En el Perú, su amplio territorio requiere promover el desarrollo y la mejora de las redes viales, las cuales constituyen la base fundamental para el crecimiento socioeconómico del país. En la actualidad, resulta primordial proyectar vías sostenibles, garantizando un mantenimiento adecuado y una eficiente comunicación entre las distintas localidades del territorio nacional. No obstante, en los proyectos de vías no pavimentadas surgen dificultades relacionadas con la disponibilidad de canteras apropiadas para la



conformación de subrasantes mejoradas. Entre los principales problemas se encuentran la distancia desde los puntos de extracción hasta el lugar de aplicación, la baja capacidad de producción de los agregados y la carencia de propiedades físico mecánicas, lo que genera suelos con limitada capacidad de soporte. Como consecuencia, las vías presentan fallas superficiales y deformaciones que se ven agravadas por las intensas precipitaciones pluviales, las cuales provocan la saturación del suelo, incrementan su permeabilidad y aceleran los procesos de erosión en la superficie de rodadura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Apurímac, conformada mayormente por redes viales vecinales, las cuales atraviesan zonas con suelos de cantera que no cumplen adecuadamente con los requisitos de resistencia para subrasantes. Esta condición se ve agravada por factores geotécnicos propios de la zona, como la granulometría, la presencia de finos, alta susceptibilidad a la humedad, lo que genera deformaciones y pérdida de capacidad de soporte (Hurtado y Ortega, 2021).

Según la publicación del Ministerio de Transporte y Comunicaciones en su inventario vial a fines del año 2022, detalla lo siguiente: el departamento de Apurímac cuenta con una extensión total de vía de 8,135.10 km, dentro de las cuales el 15.78 % representa la red vial nacional, el 15.87 % representa la red vial departamental y el 68.35 % representa la red vial vecinal. Asimismo, en las redes viales vecinales solo el 13.14 % son vías pavimentadas mientras que el 86.86 % son vías no pavimentadas.

En el mismo inventario vial publicado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones a fines del año 2022 menciona que la provincia de Aymaraes cuenta con una extensión total de vía de 1,311.70 km, de las cuales solo el 0.34 % son vías pavimentadas y el 99.66 % son vías no pavimentadas. Las vías que no presentan pavimentación en la provincia de Aymaraes, el 21.90 % son vías afirmadas, el 33.10 % son vías sin afirmar y el 45.00 % son trochas carrozables.

En la red vial vecinal AP-768 Chalhuanca - Baños Termales Pincahuacho, se ha evidenciado que la vía se encuentra en un estado de deterioro, debido principalmente a las deficiencias en la capacidad de soporte de la subrasante y a la falta de un adecuado drenaje que facilite el control de las aguas pluviales. Estas condiciones adversas han generado procesos de infiltración que, al interactuar con los materiales de la estructura



vial, producen una pérdida significativa de soporte y desintegración del suelo, afectando directamente la superficie de rodadura no pavimentada. Como resultado, se observan deformaciones longitudinales y transversales, hundimientos diferenciales, charcos permanentes, y erosión lateral de la plataforma, lo que ocasiona dificultades en la transitabilidad vehicular, especialmente durante las temporadas de lluvia. Estas fallas estructurales reducen la vida útil de la vía, incrementan los costos de mantenimiento rutinario y representan un riesgo para la seguridad vial de los usuarios locales, limitando además el acceso hacia los Baños Termales de Pincahuacho, recurso turístico de relevancia para la economía del distrito de Chalhuanca.

Con base a los resultados obtenidos el material de la subrasante presenta bajo CBR, alta plasticidad y susceptibilidad a la humedad, factores que lo hacen inadecuado para soportar cargas de tráfico repetidas. Por lo tanto, se requiere una alternativa técnica que permita mejorar las propiedades geotécnicas de los materiales mediante una estabilización química eficiente y sostenible.

Se planteó como alternativa de solución el mejoramiento de las propiedades mecánicas y permeabilidad a través de la estabilización química de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I implementando la Metodología de Superficie de Respuesta que permita determinar las proporciones óptimas de los aditivos para incrementar el valor del CBR, reducir la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad en la subrasante conformada con material procedente de la cantera Huaycha, garantizando así una mayor durabilidad y estabilidad estructural del tramo vial.

Este planteamiento tiene como finalidad resolver la problemática asociada a la baja capacidad de soporte de la vía y a su vez promover la aplicación de tecnologías innovadoras de estabilización de suelos, por medio del uso combinado de aditivos químicos de carácter iónico y cementantes, que permitan modificar la estructura fisicoquímico de los materiales locales para mejorar su comportamiento mecánico e hidráulico. Así mismo, se busca generar información científica que permita expandir su aplicación y desempeño, promoviendo así su inclusión en la estabilización de suelos.



## **1.2 Enunciado del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?
- ¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?
- ¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?

## **1.3 Justificación de la investigación**

Según Palella y Martins (2012), la justificación expresa las razones del investigador, el aporte que generara la investigación y la capacidad de solucionar problemas reales. De acuerdo a los planteamientos anteriores la investigación debe responder en líneas generales a los siguientes momentos.

### **1.3.1 Justificación social**

Para Hernández et al. (2014), la justificación social pretende en la investigación dejar un legado a la sociedad y futuros proyectos de investigación, en cuanto constituye un punto de inicio y base esencial para dinamizar el crecimiento del conocimiento.

La justificación social de la investigación radica y se enfoca en ampliar conocimientos para futuros proyectos de investigación aplicadas en la estabilización de suelos con aceite sulfonado y cemento portland I empleando la



MSR. Cuya finalidad es obtener la óptima dosificación de los aditivos; para dar mejores condiciones de transitabilidad, incrementando la capacidad de soporte de la superficie de rodadura no pavimentada y disminuyendo la permeabilidad, permitiendo una integración y conectividad más equitativa a los servicios esenciales de transporte, educación y salud entre comunidades y centros poblados.

### **1.3.2 Justificación económica**

Se orienta a demostrar la viabilidad y rentabilidad del estudio en términos de uso eficiente de recursos y beneficios obtenidos (Bernal, 2016).

La justificación económica de la investigación orientada a la estabilización de suelos con aceite sulfonado y cemento portland I busca optimizar los costos de construcción y mantenimiento de la red vial vecinal AP-768 Chalhuanca – Baños Termales Pincahuacho, mediante el aprovechamiento de materiales locales y la reducción del mantenimiento recurrente. La estabilización electroquímica representa una alternativa económicamente sostenible, disminuye los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia del gasto público en infraestructura vial (Martínez y Olaya, 2018).

### **1.3.3 Justificación teórica**

La finalidad es enriquecer el debate académico del conocimiento existente, argumentar una teoría, verificar resultados y generar teorías con el conocimiento existente (Arias y Covinos, 2021).

La justificación teórica de la investigación, se orientó de estudios previos y literaturas existentes de la rama de la ingeniería geotécnica e hidráulica; así como también del análisis y diseño de experimentos, que aportarán a la búsqueda de soluciones alternativas de estabilización de suelos con el empleo de aditivos químicos de carácter iónico y cementantes, empleando la MSR para determinar la óptima dosificación de los agentes estabilizadores, contribuyendo en el incremento de las propiedades mecánicas y la disminución de la permeabilidad en la estructura no pavimentada con material de cantera Huaycha de la red vial vecinal AP-768. Para determinar los valores óptimos se analizó un modelo de regresión lineal múltiple.

#### **1.3.4 Justificación práctica**

Enfocado en abordar una realidad problemática que perjudica de forma directa o indirectamente a una situación social o por lo menos, plantea lineamientos que al utilizarse ayudarán a solucionarlo (Gallardo, 2017).

La justificación práctica se fundamentó en la necesidad de abordar la problemática existente en la red vial AP-768 Chalhuanca – Baños Termales Pincahuacho. La red vial vecinal presenta una situación de deterioro debido principalmente a las deficiencias en la capacidad de soporte de la subrasante y a la falta de un adecuado drenaje que facilite el control de las aguas pluviales, produciendo en la vía deformaciones, baches, ahuellamiento, encalaminado, y desprendimiento de agregados, afectando la transitabilidad vehicular y disminuyendo el acceso turístico a los Baños Termales de Pincahuacho. Ante esta problemática se formuló como propuesta de solución la estabilización de suelos con el uso combinado de aditivos químicos de carácter iónico y cementantes, para incrementar las propiedades mecánicas y permeabilidad de la estructura no pavimentada, que se respalda de experiencias previas exitosas.

#### **1.3.5 Justificación metodológica**

Se da cuando aporta nuevos métodos, técnicas, instrumentos y modelos para generar conocimientos válidos, innovadores, confiables y aporte para otros investigadores (Arias y Covinos, 2021).

En el desarrollo de la investigación se utilizó la MSR, que es aplicable para variables independientes que influyen en la investigación, este método es una colección de técnicas de diseño experimental que tuvo la finalidad de encontrar el óptimo tratamiento de las variables independientes que optimice el valor de la variable de respuesta. Con los tratamientos de aceite sulfonado con cemento portland I obtuvimos un modelo cuadrático denominado superficie de respuesta, el cual se obtuvo valores óptimos de los agentes estabilizadores, como el máximo valor del CBR, la mínima expansión volumétrica y el menor coeficiente de permeabilidad en la subrasante de la red vial vecinal AP – 768 con material de cantera Huaycha.



**a) Aporte científico**

El aporte científico de la investigación consistió en profundizar el conocimiento sobre la estabilización química de suelos mediante el uso combinado de aceite sulfonado IONICSOIL y cemento portland I, aplicados en suelos con presencia de finos. Esta investigación buscó ampliar experimentalmente sobre los efectos fisicoquímicos que produce la interacción de los compuestos iónicos del aceite sulfonado con las reacciones del cemento. Asimismo, el estudio demostró la influencia de estos aditivos en el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo, evidenciada en el incremento del CBR, la reducción de la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad, lo que evidenció una mejora integral en la capacidad de soporte y durabilidad de la subrasante. Por otro lado, implementar la MSR comprende un conjunto de métodos matemáticos estadísticos utilizados para optimizar procesos, o sea, son aquellas que dan como efecto valores óptimos; la aplicación de la MSR supone tres aspectos fundamentales: diseño, modelo y técnica de optimizar; el diseño consiste que, para mejorar un proceso se debe de utilizar el diseño de experimentos, el modelo emplea el análisis de regresión lineal múltiple y por último emplea técnicas matemáticas de optimización.

Finalmente, la investigación aporta al conocimiento existente en la ingeniería geotécnica, proporcionando datos empíricos y relaciones cuantificables que respaldan el uso combinado de aceite sulfonado con cemento portland I como alternativa sostenible y de alto desempeño para la mejora de suelos en vías no pavimentadas, promoviendo su incorporación en futuros proyectos de investigación y aplicación práctica en infraestructura vial.



## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **2.1 Objetivos de la investigación**

##### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

##### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Analizar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- Analizar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- Determinar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

#### **2.2 Hipótesis de la investigación**

##### **2.2.1 Hipótesis general**

El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

##### **2.2.2 Hipótesis específicas**

- El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.



- El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

### 2.3 Operacionalización de variables

- **Variable independiente (X):** Aceite sulfonado con cemento portland I.
- **Variable dependiente (Y1):** Propiedades mecánicas.
- **Variable dependiente (Y2):** Permeabilidad.



Tabla 1 — Operacionalización de variables

| Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                              |                                                                                                                                                                                         |        |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------|
| Variables                                                                                                                                                                             | Definición conceptual                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Definición operacional                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Dimensión                                                    | Indicador                                                                                                                                                                               | Unidad | Instrumento           |
| <b>Variable independiente</b><br><br>Aceite sulfonado con cemento portland I                                                                                                          | El aceite sulfonado es un agente catalizador que produce intercambio de iones. Su función principal es la disminución del agua contenida en el suelo, generando espacios adicionales que facilitan el reacomodo de las partículas (Llano et al., 2020).                                                            | El aceite sulfonado IONICSOIL se medirá adicionando al contenido de humedad para alcanzar la humedad óptima, en cantidades de 0.15 lt/m <sup>3</sup> , 0.20 lt/m <sup>3</sup> , 0.25 lt/m <sup>3</sup> , 0.30 lt/m <sup>3</sup> y 0.35 lt/m <sup>3</sup> . Esto significa que cada dosificación de aceite sulfonado se adicionará por un m <sup>3</sup> de suelo en estado natural. | Adición de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I | Cantidad de aceite sulfonado IONICSOIL<br>a) 0.15 lt/m <sup>3</sup><br>b) 0.20 lt/m <sup>3</sup><br>c) 0.25 lt/m <sup>3</sup><br>d) 0.30 lt/m <sup>3</sup><br>e) 0.35 lt/m <sup>3</sup> | ml     | Ficha de dosificación |
|                                                                                                                                                                                       | El cemento portland I, aplicado en la estabilización de suelos, es un material aglomerante hidráulico que, al reaccionar químicamente con el agua y los minerales presentes en el suelo, forma una matriz cementante capaces de mejorar sus propiedades de resistencia y durabilidad (Collantes y Orbegoso, 2024). | El cemento portland I se medirá adicionando a la muestra de suelo seco en porcentajes de 1.50 %, 2.00 %, 2.50 %, 3.00 % y 3.50 %.                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                              | Porcentaje de cemento portland I<br>a) 1.50 %<br>b) 2.00 %<br>c) 2.50 %<br>d) 3.00 %<br>e) 3.50 %                                                                                       | %      |                       |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              |                                    |        |                               |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------|-------------------------------|
| <b>Variable dependiente 1</b><br>Propiedades mecánicas | Es un conjunto de características y comportamientos que determinan la capacidad del material para resistir esfuerzos, deformaciones y cargas aplicadas. Estas propiedades permiten evaluar la capacidad del suelo sin fallar ni experimentar deformaciones excesivas (Pinto et al., 2025).            | Se medirá a través del análisis de muestras de suelo en laboratorio, tomando el 100 % de la MDS obtenida mediante el ensayo Proctor modificado. Este valor representa el grado óptimo de compactación que garantiza un adecuado comportamiento mecánico del suelo. | Capacidad de soporte (CBR)   | Grado de compactación              | gr/cm³ | Ficha de recolección de datos |
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              | Índice del CBR                     | %      |                               |
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              | Deformación bajo carga             | mm     |                               |
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                    | Expansión volumétrica        | Porcentaje de expansión            | %      |                               |
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              | Tiempo de expansión                | días   |                               |
| <b>Variable dependiente 2</b><br>Permeabilidad         | Los suelos presentan vacíos que están intercomunicados que permiten el flujo del agua desde zonas más elevadas hacia las más bajas. El estudio del agua en medios porosos del suelo es fundamental determinar la cantidad de agua que se infiltra bajo distintas condiciones hidráulicas (Das, 2015). | El coeficiente de permeabilidad (k) se medirá mediante ensayos de laboratorio (cm/s), utilizando el permeámetro de carga variable. Este método permite evaluar la capacidad del suelo para transmitir el agua bajo un gradiente hidráulico controlado.             | Coeficiente de permeabilidad | Conductividad hidráulica del suelo | cm/s   | Ficha de recolección de datos |
|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              | Tiempo de drenaje                  | s      |                               |

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Internacional

- a) Álvares y Rojas (2020), autores de la tesis “Comparación de las alternativas de estabilización con cal, cemento, silicato de sodio y aceite sulfonado para vías terciarias con presencia de arcilla en la región de Orinoquia”, plantearon como objetivo general comparar las alternativas de estabilización en un periodo de 20 días con cal, cemento, silicato de sodio y aceite sulfonado para vías terciarias. El desarrollo de la investigación constó de 4 etapas: la primera etapa recolección de información, la segunda etapa caracterización del suelo, la tercera etapa realizó la dosificación de los agentes estabilizantes y en la última etapa analizaron el comportamiento de cada agente estabilizante. Asimismo, como parte de las conclusiones, observó que para el aceite sulfonado los valores de límite líquido e índice de plasticidad presentaron una disminución del 5.4 % y 33.3 %, para el silicato de sodio se determinó que los valores de los límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad disminuyó en mayor proporción siendo estas las siguientes 27 %, 26 % y 83.3 %; por último para la cal y el cemento se evidenciaron reducciones considerables en los límites de Atterberg en 24.3 %, 9.3 % y 100 %. Comparando el suelo estabilizado y el suelo patrón se evidenciaron que los agentes estabilizadores mejoran la capacidad de soporte del suelo, la combinación de suelo con cal muestra un aumento 370.11 % en el CBR, para el silicato de sodio la dosificación muestra un aumento de 144.57 % en el CBR, para el aceite sulfonado la dosificación muestra un aumento de 109.78 % en el CBR y para el cemento la dosificación muestra un aumento de 176.09 % en el CBR.
- b) González (2020), autor de la tesis “Estudios de infiltración y determinación de la constante de permeabilidad en suelos de la facultad de ingeniería de la universidad de Talca”, planteó como objetivo general determinar la variación en la permeabilidad del suelo de la facultad de ingeniería. La metodología que propuso para medir la permeabilidad en el suelo es directa e indirecta, busca comparar los



resultados que se obtiene de 8 calicatas que se realizaron en el área del campus universitario de la facultad y finalmente propone la visualización de la permeabilidad a través de mapas. Asimismo, como parte de los resultados determinó el coeficiente de permeabilidad se encuentra en el rango de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  m/s; en el caso de la calicata 4 se produjo un incremento en el coeficiente de permeabilidad debido al cambio estratigráfico del suelo encontrándose arena, también se pudo observar que el valor de la permeabilidad en las 8 calicatas va depender de múltiples factores como la compactación del suelo, la profundidad del ensayo y la humedad inicial; concluyendo que el suelo se opone al flujo del agua vertical cuando está muy compactado y que el drenaje de la facultad de ingeniería es pobre.

- c) Camacho et al. (2020), autores del artículo “Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas – Ecuador utilizando permeámetro de carga variable”, plantearon como objetivo general determinar las diferentes variables hidrogeológicas en el área urbana que serán empleadas como información para la ejecución de proyectos viales y edificaciones, con ello establecer medidas que incrementen las características del suelo ante cualquier proyecto en ejecución. La metodología empleada para estimar el coeficiente de permeabilidad es de 30 muestras con profundidad de 0.90 m aplicando el muestreo aleatorio simple; la preparación de muestras se realizó en laboratorio de acuerdo a la codificación de la extracción de las muestras y siguiendo la norma ASTM D 5084, determinó el coeficiente de permeabilidad aplicando la ley de Darcy. Asimismo, como parte de los resultados determinaron los valores de la conductividad hidráulica entre 0.0033 y 0.0412 cm/s, la porosidad entre el rango de 30 % a 70 % y la relación de vacíos en el rango de 0.40 y 2.30; mostrando características de arena limosa y arcilla de baja plasticidad; concluyendo que el suelo presenta un bajo coeficiente de permeabilidad y una alta saturación, lo que generaría problemas de suelos expansivos.

### 3.1.2 Nacional

- a) Gómez y Silva (2020), autores de la tesis “Influencia del aceite sulfonado y cemento portland tipo I en la estabilización de la vía Huaylillas – Buldibuyo en la provincia de Patate, 2020”, plantearon como objetivo general determinar la influencia del aceite sulfonado y cemento portland tipo I en la estabilización de la



vía Huaylillas, adicionando porcentajes de cemento portland tipo I en 0 %, 0.5 %, 2 %, 3.5 % y 5 % y aceite sulfonado en 0.30 lt/m<sup>3</sup>. Para ello usó la siguiente metodología; el diseño es experimental, de tipo experimental puro, los especímenes con y sin adición de aceite sulfonado y distintos porcentajes de cemento portland tipo I son su unidad de estudio, la población es el suelo de la vía Huaylillas y el muestreo es no probabilístico con una calicata por kilómetro. Asimismo, como parte de los resultados determinaron que la muestra M1 en su estado natural tiene un CBR de 19.6 %, con dosificación de 5 % de cemento portland tipo I y 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado incrementó a 100.2 %; en la muestra M2 en estado natural el CBR fue de 5.80 % y con la dosificación de 5 % de cemento portland tipo I y 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado incrementó a 78.1 %. Concluyendo que la influencia del aceite sulfonado y cemento portland tipo I mejoran las propiedades mecánicas del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de cemento portland tipo I aumenta la capacidad de soporte del CBR.

- b) Barreto y Taco (2021), autores de la tesis “Estabilización de base granular con aceite sulfonado y cemento portland tipo I del camino vecinal Huasahuasi - Hacienda Calla, Tarma - Junín, Km 3+000 Km 4+000”, plantearon como objetivo general determinar la influencia del aceite sulfonado más cemento portland tipo I en la estabilización de la base granular. Para ello usó la siguiente metodología; método científico y de diseño experimental, la población es la carpeta de rodadura de Huasahuasi a Hacienda Calla y la muestra son dos calicatas cada 500 metros. Asimismo, como parte de los resultados del estudio, para el suelo natural obtienen la M.D.S de 1.998 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 6.80%, del cual obtienen para el 95 % de la M.D.S un CBR de 29.0 % y para el 100 % de la M.D.S obtienen un CBR de 45.42 %, con la adición de los agentes estabilizadores, para la dosificación de 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado y 1.50 % de cemento portland tipo I determinaron la máxima densidad seca de 2.08 gr/cm<sup>3</sup> con una óptima humedad de 6.80 %, del cual obtienen para el 95 % de la M.D.S un CBR de 103.0 % y para el 100 % de la M.D.S obtienen un CBR de 120.06 %; concluyendo que la incorporación de aceite sulfonado y cemento portland tipo I mejoran notablemente la estabilización de la base granular.
- c) Romero (2022), autor de la tesis “Estabilización de suelos con aditivos químicos para disminuir la infiltración del agua en la capa granular de un pavimento



económico”, planteó como objetivo general determinar en qué medida el empleo de agentes estabilizadores reducen la infiltración en la capa granular; asimismo, con su investigación evalúa la infiltración del agua con el uso de los agentes estabilizadores como aditivo organosilano, aditivo sulfonado y cemento con el método de capilaridad y permeabilidad. Para ello usó la siguiente metodología, el enfoque es cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel explicativo, el diseño es cuasi experimental, la población es el material de cantera La Torre y su muestra es no probabilística. Como parte de sus resultados determina que la mayor absorción por capilaridad se presenta en las primeras 24 horas y la medición del coeficiente de permeabilidad se encuentra en el rango de drenaje de malo a impermeable. Concluyendo que los agentes estabilizadores reducen la infiltración y la permeabilidad del agua en la capa granular.

- d) Ipanaque (2022), autor de la tesis “Influencia del aditivo aceite sulfonado para estabilización de subrasante en los accesos del puente santa rosa, ubicado en el distrito y provincia de Huanta, Huancavelica, Perú, 2021”, planteó como objetivo general determinar la dosificación de aceite sulfonado que incrementa las propiedades físicas mecánicas de la subrasante que constituyen el ingreso al puente Santa Rosa. Para ello usó la siguiente metodología; el enfoque es mixto, el tipo de diseño es cuantitativo experimental, la población es seis muestras obtenidas del ingreso al puente Santa Rosa, la muestra se centró en nueve ensayos de tres combinaciones ( $0.20 \text{ lt/m}^3 + 50 \text{ kg/m}^3$ ,  $0.25 \text{ lt/m}^3 + 50 \text{ kg/m}^3$  y  $0.30 \text{ lt/m}^3 + 50 \text{ kg/m}^3$ ) de aceite sulfonado y cemento portland, con tres repeticiones cada una. Como parte de sus resultados determinó la utilización de aceite sulfonado PROES y cemento portland mejoran significativamente la capacidad portante de la subrasante; concluyendo que la adición de  $0.25 \text{ lt/m}^3$  de aceite sulfonado +  $50 \text{ kg/m}^3$  de cemento portland incrementa el valor del CBR superando el 100 % y además mejora su estabilidad en presencia del agua y variaciones de humedad.
- e) Tasilla (2023), autor de la tesis “Influencia de cemento y aceite sulfonado, como agentes estabilizadores de afirmado en el camino vecinal Emp. CA-1459 (La Colpa) - Agopampa Huacariz, Huacariz – Agocucho”, planteó como objetivo general determinar la influencia del cemento y aceite sulfonado como agentes estabilizadores del afirmado. Para ello empleo la siguiente metodología; el tipo es aplicada, el nivel es descriptiva y transversal, la población y muestra es el



afirmado del camino vecinal, la técnica es la observación, los instrumentos fueron las guías de observación y formatos para registrar el resultado de ensayos. Asimismo, como parte de los resultados determinó para el suelo natural, los valores de CBR obteniendo: M1: 42.06 %, M2: 41.25 %, M3: 36.07 % y M4: 41.25 %; realizando combinaciones de 1 bolsa/m<sup>3</sup> de cemento portland tipo I y aceite sulfonado en las proporciones de 0.25 lt/m<sup>3</sup>, 0.30 lt/m<sup>3</sup>, 0.35 lt/m<sup>3</sup>, 0.40 lt/m<sup>3</sup>, obtuvo para la combinación de 1 bolsa/m<sup>3</sup> de cemento portland tipo I y 0.40 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado, el CBR llegó a sus máximos valores: C1: 149.77 %, C2: 145.15 %, C3: 138.65 %, C4: 147.65 %. Concluyendo que la aplicación de cemento portland tipo I y aceite sulfonado influyen positivamente en el aumento del CBR.

### 3.1.3 Regional

- a) Hurtado y Ortega (2021), autores de la tesis “Estabilización del Afirmado con Aceite Sulfonado y Cemento para el Diseño Vial en Soccos, Ocobamba Chincheros, Apurímac – 2021”, plantearon como objetivo general determinar el uso del aceite sulfonado con cemento para incrementar las propiedades físicas mecánicas; la investigación buscó resolver el deterioro de la carretera no pavimentada. Para ello usó la siguiente metodología; el enfoque es cuantitativo, el diseño es transversal, la población y la muestra es el material de cantera que se busca incrementar las propiedades físicas mecánicas, la técnica empleada es visita a campo y ensayos de laboratorio, los instrumentos utilizados son las fichas de registro, datos de muestras y resultados de laboratorio. Asimismo, como parte de los resultados determinaron que la muestra patrón presenta al 100 % M.D.S un CBR de 8.70 %, para el uso de los agentes estabilizadores con material de la cantera Liriopata, realizaron las siguientes combinaciones, C1: 55 kg/m<sup>3</sup> de cemento + 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado al 100 % de la M.D.S obtuvieron un CBR de 200 %, C2: 60 kg/m<sup>3</sup> de cemento + 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado al 100 % de la M.D.S obtuvieron un CBR de 223 %, C3: 65 kg/m<sup>3</sup> de cemento + 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado al 100 % de la M.D.S alcanzando un CBR de 270 %; concluyendo que la adición de aceite sulfonado y cemento mejoran las propiedades físicas mecánicas e incrementan el valor del CBR de la vía no pavimentada.



b) Manrique (2021) autor de la tesis “Aplicación de aceite sulfonado para mejorar la subrasante en la Avenida La Cultura distrito de Pacucha, Andahuaylas, Apurímac – 2020”, planteó como objetivo general establecer la influencia del aceite sulfonado en la subrasante de la avenida la Cultura. Para ello usó la siguiente metodología; el tipo es aplicada, el diseño es experimental, el nivel es explicativo, el enfoque es cuantitativo, la población es la avenida la Cultura, su muestra es la excavación de 3 calicatas cada 250 m, la técnica empleada es la observación, los instrumentos utilizados son los formatos para registrar datos de ensayos de laboratorio. Asimismo, como parte de los resultados determinó los valores del CBR natural al 100 % de la M.D.S obteniendo; M1: 42.3 %, M2: 62.0 %, M3: 78.0 %, para la aplicación de los agentes estabilizadores realizaron las siguientes combinaciones: C1: 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado + 1 % de cemento portland tipo I, C2: 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado + 1.5 % de cemento portland tipo I, C3: 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado + 2.0 % de cemento portland tipo I, de los cuales el diseño óptimo es la combinación de 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado + 1.5 % de cemento portland tipo I, obteniendo los siguientes CBR al 100 % M.D.S C1: 240.0 %, C2: 121.0 %, C3: 146.0 %, concluyendo que la dosificación de aceite sulfonado más cemento influyen significativamente en el valor del CBR y con el aumento de proporciones de cemento incrementa la capacidad de soporte.

## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Suelo

Para Das (2015), el suelo es la combinación de material no sementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta; estas partículas sólidas se encuentran acompañadas de agua y aire que cubren los espacios vacíos entre ellas.

Para Crespo (2015), el suelo es un estrato de capa delgada sobre la corteza terrestre, que surge de la descomposición química, la fragmentación mecánica de las rocas y la actividad de los seres vivos que habitan sobre ella.

#### 3.2.1.1 Granulometría del suelo

Según Rico y Del Castillo (2011), la distribución de partículas del suelo es la separación en diferentes fracciones que son seleccionados por la granulometría de sus partículas que se encuentran comprendidas entre un



valor mínimo y un valor máximo correlativamente, la división de estas fracciones se realiza por medio de una serie de tamices.

**Tabla 2 — Serie de tamices de malla cuadrada**

| Tamices                                                 | Aberturas (mm) |
|---------------------------------------------------------|----------------|
| 3"                                                      | 75.000         |
| 2"                                                      | 50.800         |
| 1 ½"                                                    | 38.100         |
| 1"                                                      | 25.400         |
| ¾"                                                      | 19.000         |
| 3/8"                                                    | 9.500          |
| Nº 4                                                    | 4.750          |
| Nº 10                                                   | 2.000          |
| Nº 20                                                   | 0.840          |
| Nº 40                                                   | 0.425          |
| Nº 60                                                   | 0.260          |
| Nº 140                                                  | 0.106          |
| Nº 200                                                  | 0.075          |
| FUENTE: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016 |                |

**a) Cálculo y resultados**

• **Fórmula N° 01:**

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_{\text{tamiz}}}{W_s} \times 100 \% \quad (1)$$

donde

$W_{\text{tamiz}}$  peso retenido en el tamiz

$W_s$  peso de la muestra seca

El porcentaje que pasa, se determina restando de forma acumulativa del 100 % los retenidos de cada tamiz

• **Fórmula N° 02:**

$$\% \text{ Pasa} = 100 \% - \% \text{ Retenido acumulado} \quad (2)$$

Después de calcular el porcentaje que pasa, se calculará el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc) para obtener si la muestra está bien graduada o mal graduada.

• **Fórmula N° 03:**

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3)$$

• **Fórmula N° 04:**

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (4)$$

donde

$D_{10}$  diámetro al 10 % más fino de la curva granulométrica

$D_{30}$  diámetro al 30 % más fino de la curva granulométrica

$D_{60}$  diámetro al 60 % más fino de la curva granulométrica

### 3.2.1.2 Tamaño de partículas

Según Das (2015), para calcular el rango de fracciones de partículas de un suelo, existen dos métodos mecánicos: el primero se realiza por medio de un tamizado en juego de mallas de aberturas descendentes para determinar las partículas mayores al tamiz N° 200, la segunda se da por un análisis de suspensión del suelo por el método del hidrómetro (densímetro) para partículas que pasan la abertura del tamiz N° 200.

**Tabla 3 — Clasificación de suelos según tamaño de partículas**

| Tipo de material                                         |         | Aberturas (mm)                  |
|----------------------------------------------------------|---------|---------------------------------|
| Grava                                                    |         | 75 mm – 4.75 mm                 |
| Arena                                                    |         | Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm |
|                                                          |         | Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm |
|                                                          |         | Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm |
| Material Fino                                            | Limo    | 0.075 mm – 0.005 mm             |
|                                                          | Arcilla | Menor a 0.005 mm                |
| FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 |         |                                 |

### 3.2.1.3 Clasificación de suelos

Citando a Das (2015), el suelo que presentan propiedades semejantes, debe ser agrupados en grupos y subgrupos de acuerdo a las características físicas mecánicas de acuerdo al comportamiento que desarrolla. Hoy en día, existen

dos sistemas de clasificación que emplean datos de la distribución granulométrica y los límites de consistencia:

**a) Sistema de clasificación de los suelos AASHTO**

Este sistema selecciona al suelo en siete grupos principales; en base a la distribución granulométrica, el límite líquido e índice de plasticidad. La determinación del índice de grupo, está relacionado en gran mayoría a los límites de Atterberg y se obtiene de la siguiente ecuación.

• **Fórmula N° 05:**

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10) \quad (5)$$

donde

- IG      índice de grupo
- F      porcentaje pasante el tamiz N° 200
- LL      límite líquido
- IP      índice de plasticidad

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), señala que el índice de grupo es un numero entero positivo que varía desde 0 hasta 20 o más. Si este nos diera negativo, se considera un valor de 0; por lo tanto, un índice de grupo igual a 0 muestra un suelo muy bueno y uno mayor a 20 indica un suelo inadecuado.

**Tabla 4 — Clasificación de suelos según el índice de grupo**

| Índice de grupo                                          | Suelo de subrasante |
|----------------------------------------------------------|---------------------|
| IG > 9                                                   | Inadecuado          |
| IG está entre 4 a 9                                      | Insuficiente        |
| IG está entre 2 a 4                                      | Regular             |
| IG está entre 1 – 2                                      | Bueno               |
| IG está entre 0 – 1                                      | Muy bueno           |
| FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 |                     |

Según Hernández (2008), la clasificación de los suelos se considera en diferentes grupos y subgrupos, de acuerdo a su distribución granulométrica y plasticidad que se detallan a continuación:



**Tabla 5 — Clasificación de suelos ASSHTO**

| Clasificación general                                                                     | Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200) |                    |                    |                                |                    |                    |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| Grupo de clasificación                                                                    | A-1                                                                                |                    | A-3                | A-2                            |                    |                    |                         |
|                                                                                           | A-1-a                                                                              | A-1-b              |                    | A-2-4                          | A-2-5              | A-2-6              | A-2-7                   |
| Análisis de tamiz (porcentaje de paso)<br>Núm. 10<br>Núm. 40<br>Núm. 200                  | 50 máx.<br>30 máx.<br>15 máx.                                                      | 50 máx.<br>25 máx. | 51 mín.<br>10 mín. | 35 máx.                        | 35 máx.            | 35 máx.            | 35 máx.                 |
| Características de la fracción de paso núm. 40                                            |                                                                                    |                    |                    |                                |                    |                    |                         |
| Límite líquido<br>Índice de plasticidad                                                   | 6 máx.                                                                             |                    | NP                 | 40 máx.<br>10 máx.             | 41 máx.<br>10 máx. | 40 máx.<br>11 mín. | 41 mín.<br>11 mín.      |
| Tipos comunes de materiales significativos constituyentes                                 | Fragmentos de roca, grava y arena                                                  |                    | Arena fina         | Limo o grava arcillosa y arena |                    |                    |                         |
| Clasificación general de la subrasante                                                    | Excelente a bueno                                                                  |                    |                    |                                |                    |                    |                         |
| Clasificación general                                                                     | Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200) |                    |                    |                                |                    |                    |                         |
| Grupo de clasificación                                                                    |                                                                                    |                    |                    | A-4                            | A-5                | A-6                | A-7<br>A-7-5*<br>A-7-6* |
| Análisis de tamiz (porcentaje de paso)<br>Núm. 10<br>Núm. 40<br>Núm. 200                  |                                                                                    |                    |                    | 36 mín.                        | 36 mín.            | 36 mín.            | 36 mín.                 |
| Características de la fracción de paso núm. 40<br>Límite líquido<br>Índice de plasticidad |                                                                                    |                    |                    | 40 máx.<br>10 máx.             | 41 mín.<br>10 máx. | 40 máx.<br>11 mín. | 41 mín.<br>11 mín.      |
| Tipos comunes de materiales significativos constituyentes                                 |                                                                                    |                    |                    | Suelos limosos                 |                    | Suelos arcillosos  |                         |
| Clasificación general de la subrasante                                                    |                                                                                    |                    |                    | Regular a malo                 |                    |                    |                         |
| *Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$<br>†Para A-7-6, $PI > LL - 30$                             |                                                                                    |                    |                    |                                |                    |                    |                         |
| FUENTE: Das, 2015, modificado por los autores – Se han eliminado las notas originales     |                                                                                    |                    |                    |                                |                    |                    |                         |

**b) Clasificación de los suelos SUCS**

El sistema clasifica a los suelos en dos grandes categorías, según:

- Suelos de material grueso, representados por gravas y arenas, como máximo el 50 % del material acumulado en el tamiz N° 200. Su prefijo de estos suelos inicia con la letra G o S.
- Suelos de material fino que pasan más del 50 % a través del tamiz N° 200, los símbolos que representan son: M, C, O y Pt.

**Tabla 6 — Símbolos para clasificación de suelos SUCS**

| Símbolo           | Descripción                                    |
|-------------------|------------------------------------------------|
| G                 | Grava                                          |
| S                 | Arena                                          |
| M                 | Limo                                           |
| C                 | Arcilla                                        |
| O                 | Limos orgánicos y arcillas                     |
| H                 | Alta plasticidad (Limite liquido mayor a 50 %) |
| L                 | Baja plasticidad (Límite liquido menor a 50 %) |
| W                 | Bien graduado                                  |
| P                 | Mal graduado                                   |
| Pt                | Turba y suelos altamente orgánicos             |
| FUENTE: Das, 2015 |                                                |

Tabla 7 — Clasificación de suelos SUCS

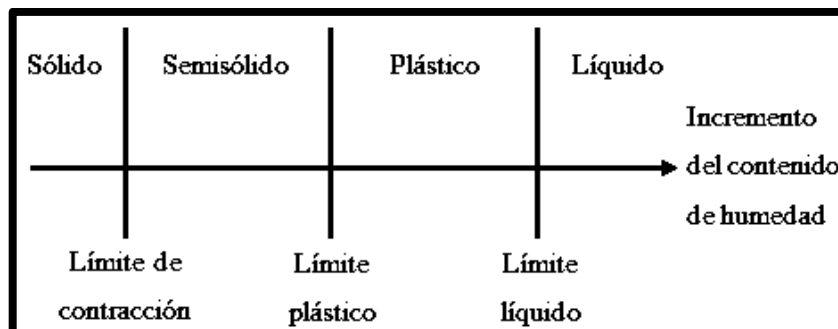
| Criterios para la asignación de símbolos de grupo                                                                    |                                                                      |                                                   |                                                             | Símbolos de grupo                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----|
| Suelos de grano grueso<br>más del 50 % retenido en el tamiz N° 200                                                   | Gravas<br>Más de 50 % de fracción gruesa retenida en el tamiz N° 200 | Gravas limpias menos de 5 % finos <sup>a</sup>    | $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3^c$                          | GW                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   | $Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3^c$                                 | GP                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      | Gravas con finos más de 12 % finos <sup>a,d</sup> | $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea A                   | GM                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   | $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea A              | GC                                           |    |
|                                                                                                                      | Arenas<br>50 % o más de la fracción gruesa pasa el tamiz N° 4        | Arenas limpias menos de 5 % finos <sup>b</sup>    | $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3^c$                          | SW                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   | $Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3^c$                                 | SP                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      | Arenas con finos más de 12 % finos <sup>b,d</sup> | $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea A                   | SM                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   | $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea A              | SC                                           |    |
| Suelos de grano fino<br>50 % o más pasa a través del tamiz N° 200                                                    | Limos y arcillas<br>Límite líquido menor que 50%                     | Inorgánico                                        | $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea A <sup>e</sup> | CL                                           |    |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   | $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea A <sup>e</sup>      | ML                                           |    |
|                                                                                                                      | Limos y arcillas<br>Límite líquido 50% o más                         | Orgánico                                          | LL (secado) / LL (no secado) < 0.75, Zona OL                |                                              | OL |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   | Inorgánico                                                  | Gráficos PI en o por encima de línea A       | CH |
|                                                                                                                      |                                                                      | Orgánico                                          |                                                             | Gráficos PI por debajo de línea A            | MH |
|                                                                                                                      |                                                                      |                                                   |                                                             | LL (secado) / LL (no secado) < 0.75, Zona OH | OH |
| Suelos altamente orgánicos                                                                                           | Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico             |                                                   |                                                             | Pt                                           |    |
| <sup>a</sup> Gravas con 5 a 12 % de finos requieren símbolos dobles: GW - GM, GW - GC, GP - GM, GP - GC              |                                                                      |                                                   |                                                             |                                              |    |
| <sup>b</sup> Arenas con 5 a 12 % de finos requieren símbolos dobles: SW - SM, GW - GC, GP - GM, GP - GC              |                                                                      |                                                   |                                                             |                                              |    |
| <sup>c</sup> $Cu = D_{60}/D_{10}$ ; $Cc = (D_{30})^2/(D_{60} \times D_{10})$                                         |                                                                      |                                                   |                                                             |                                              |    |
| <sup>d</sup> Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura, se usa doble símbolo GC - GM o SC - SM |                                                                      |                                                   |                                                             |                                              |    |
| <sup>e</sup> Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura, se usa doble símbolo CL - ML           |                                                                      |                                                   |                                                             |                                              |    |
| FUENTE: Das, 2015, modificado por los autores – Se han eliminado las notas originales                                |                                                                      |                                                   |                                                             |                                              |    |

### 3.2.1.4 Límites de consistencia del suelo

Según Das (2015), en el año 1900, Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para analizar la consistencia de los suelos finos con distintos niveles de contenido de humedad. Un suelo exhibe un comportamiento sólido y quebradizo cuando tiene un contenido de humedad muy bajo. Conforme aumenta el contenido de humedad, el suelo varía de estado (sólido,



semisólido, plástico y líquido) hasta que el agua y el suelo juntos pueden fluir juntos como un líquido.



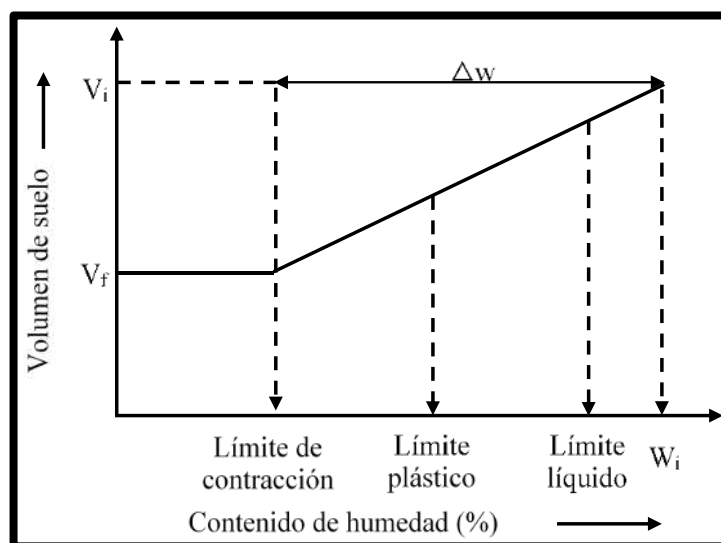
FUENTE: Das, 2015

**Figura 1 — Límites de Atterberg**

Conforme incrementa el contenido de humedad, el cambio de consistencia del material de un estado a otro es gradual. Para definir claramente estas transiciones, se establecieron los siguientes límites.

#### a) Límite de contracción

Referido al contenido de humedad expresado como porcentaje, el cual cesa la variación del volumen de la masa de suelo debido a la disminución adicional de humedad. Es decir, cumple un estado de equilibrio donde la contracción ya no continúa con la pérdida adicional de humedad (Das, 2015).



FUENTE: Das, 2015

**Figura 2 — Definición gráfica de límites de contracción**

### b) Límite plástico

También se define como el límite inferior del estado de plasticidad del suelo, es el contenido de humedad expresado en porcentaje, donde el suelo al enrollarse en cilindros de 3.2 mm de diámetro se desmorona. La prueba del LP consiste en rodar continuamente una masa de suelo de forma elipsoidal entre la mano y una placa esmerilada de vidrio hasta que el suelo se desmorone al alcanzar el diámetro especificado (Terzaghi y Peck, 1978). Esta prueba es esencial para evaluar las propiedades de consistencia del suelo y su capacidad de deformarse sin romperse.



FUENTE: Geotecnia, 2020

**Figura 3 — Prueba de límite plástico**

- **Cálculo y resultados**

- **Formula N° 06:**

$$LP(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \% \quad (6)$$

donde

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| LP    | límite plástico en (%)          |
| $P_h$ | peso de los bastoncitos húmedos |
| $P_s$ | peso de los bastoncitos secos   |

### c) Límite líquido

Es la humedad expresada en porcentaje del peso de suelo seco, para el cual se realiza un corte de 2 mm separando en dos secciones la pasta de suelo sometiéndole a la copa que los contiene a golpes verticales hasta llegar a tocarse sin unirse (Terzaghi y Peck, 1978).

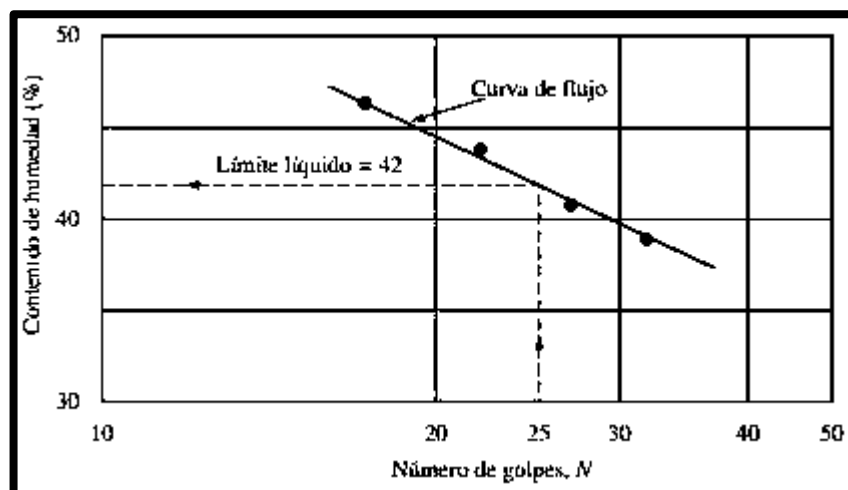
De acuerdo a Das (2015), se usa un dispositivo conformado por una copa de latón y una base de goma dura (Copa de Casagrande), se coloca una pasta y se realiza un corte de 2 mm separando en dos secciones la pasta de suelo, posteriormente, a través de la manivela se eleva, dejándose caer de una altura de 10 mm. Definiendo al límite líquido, la humedad necesaria para cerrar una abertura de 12.7 mm a lo largo de la ranura.



FUENTE: Geotecnia, 2020

**Figura 4 — Prueba de límite líquido**

Debido a la dificultad de ajustar la humedad para cerrar la ranura de 12.7 mm a los 25 golpes, recomienda efectuar al menos 4 ensayos para un mismo suelo variando la humedad para determinar el número de golpes necesarios que logre cerrar la ranura. El contenido de humedad y el número de golpes se representan en una gráfica semilogarítmica conocida como la curva de fluides, en ello se determinará el LL correspondiente a los 25 golpes (Das, 2015).



FUENTE: Das, 2015

**Figura 5 — Curva de flujo para la determinación del límite líquido**

- **Cálculos y resultados**

- **Formula N° 07:**

$$LL = W_n \times \left( \frac{N}{25} \right)^{\tan \beta} \quad (7)$$

donde

LL      límite líquido

$W_n$     contenido de humedad natural

N      número de golpes

$\tan \beta$    pendiente de la línea de flujo

**d) Índice de plasticidad**

Es la variación entre el LL y LP, que menciona el rango dentro del cual el suelo se encuentra en estado plástico (Crespo, 2015).

Es importante considerar que el índice de plasticidad, según su proporción en el suelo puede constituir un factor desfavorable para uso como subrasante (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- **Fórmula N° 08:**

$$IP (\%) = LL - LP \quad (08)$$

donde

IP      índice de plasticidad en (%)

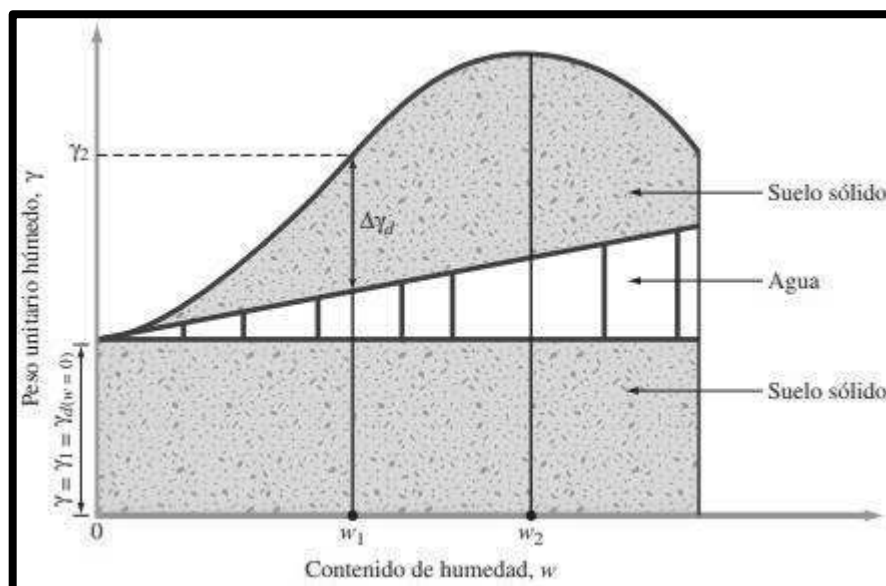
LL límite líquido en (%)  
LP límite plástico en (%)

**Tabla 8 — Clasificación de suelos según índice de plasticidad**

| Índice de plasticidad                                    | Plasticidad      | Característica            |
|----------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
| $IP > 20$                                                | Alta             | Suelos muy arcillosos     |
| $IP \leq 20$<br>$IP > 7$                                 | Media            | Suelos arcillosos         |
| $IP < 7$                                                 | Baja             | Suelos poco arcillosos    |
| $IP = 7$                                                 | No plástico (NP) | Suelos exentos de arcilla |
| FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 |                  |                           |

### 3.2.1.5 Compactación de suelos

Según Das (2015), la compactación de suelos radica en eliminar el aire mediante energía mecánica, y se mide de acuerdo al peso unitario seco. Durante este proceso, el agua actúa como un lubricante entre las partículas del suelo. A razón que incrementa el agua durante la compactación, la densidad seca del suelo también incrementa hasta alcanzar un punto máximo, pasando este punto, cualquier aumento adicional en el contenido de agua resulta una reducción de la densidad seca del suelo, esto ocurre porque el agua empieza a ocupar todos los espacios vacíos intersticiales entre las partículas sólidas. La humedad que permite obtener la máxima densidad seca se conoce como el óptimo contenido de humedad.



FUENTE: Das, 2015

**Figura 6 — Principio de compactación de suelo**

La compactación consiste en densificar el suelo mediante la aplicación de energía mecánica. En determinadas circunstancias implica también modificaciones del contenido de humedad y la gradación de los suelos. La finalidad de la compactación es reducir los asentamientos, aumentar la resistencia de los suelos y disminuir la contracción (Das, 2015).

#### a) Proctor modificado

Para Das (2015), la prueba de Proctor modificado representa de manera más precisa las condiciones del suelo en comparación con la prueba de Proctor estándar. El ensayo de Proctor modificado emplea un molde de  $943.3 \text{ cm}^3$  de volumen, compactada en 5 capas de 25 golpes cada una, con un martillo de 44.5 N (4.536 kg) dejando caer desde una altura de 457.2 mm.

El Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), ofrece 3 métodos distintos según las características del material a ensayar:

- Método A: Emplea molde de 4", material que pasa tamiz N° 4, 5 capas y 25 golpes, aplicable cuando el material es retenido menor al 20 % en el tamiz N° 4.

- Método B: También emplea un molde de 4", material que pasa tamiz 3/8", 5 capas y 25 golpes, se emplea cuando más del 20 % es retenido en N° 4 y menor al 20 % en el tamiz 3/8".
- Método C: Utiliza un molde de 6", material que pasa tamiz 3/4", 5 capas y 56 golpes, indicado cuando más del 20 % se retiene en 3/8" y menos del 30 % en 3/4".

**Tabla 9 — Especificaciones de la prueba de Proctor modificado**

| Elemento                                                 | Método A                                                                   | Método B                                                                                                                                    | Método C                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diámetro del molde                                       | 101.6 mm (4")                                                              | 101.6 mm (4")                                                                                                                               | 152.4 mm (6")                                                                                                                     |
| Volumen del molde                                        | 943.3 cm <sup>3</sup>                                                      | 943.3 cm <sup>3</sup>                                                                                                                       | 2124 cm <sup>3</sup>                                                                                                              |
| Peso del martillo                                        | 44.5 N                                                                     | 44.5 N                                                                                                                                      | 44.5 N                                                                                                                            |
| Altura de caída del martillo                             | 457 mm (18")                                                               | 457 mm (18")                                                                                                                                | 457.2 mm (18")                                                                                                                    |
| Número de capas de compactación                          | 5                                                                          | 5                                                                                                                                           | 5                                                                                                                                 |
| Número de golpes por capa suelo                          | 25                                                                         | 25                                                                                                                                          | 56                                                                                                                                |
| Energía de compactación                                  | 2700 KN-m/m <sup>3</sup>                                                   | 2700 KN-m/m <sup>3</sup>                                                                                                                    | 2700 KN-m/m <sup>3</sup>                                                                                                          |
| Uso                                                      | Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4. | Cuando más del 20 % del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20 % ó menos de peso del material es retenido en el tamiz N° 3/8". | Cuando más del 20 % del peso del material se retiene en el tamiz N° 3/8" y menos de 30 % en peso es retenido en el tamiz N° 3/4". |
| FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016 |                                                                            |                                                                                                                                             |                                                                                                                                   |

- **Cálculo y resultados**

Cálculo de la densidad húmeda de compactación

- **Fórmula N° 09:**

$$\rho_m = \frac{M_t - M_{md}}{V} \quad (9)$$

donde

|          |                                                     |
|----------|-----------------------------------------------------|
| $\rho_m$ | densidad húmeda compactado (kg/m <sup>3</sup> )     |
| $M_t$    | masa del espécimen húmedo y molde (kg)              |
| $M_{md}$ | masa del molde de compactación (kg)                 |
| $V$      | volumen del molde de compactación (m <sup>3</sup> ) |

Cálculo de la densidad seca compactada

- **Fórmula N° 10:**

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{W}{100}} \quad (10)$$

donde

|          |                                                 |
|----------|-------------------------------------------------|
| $\rho_d$ | densidad seca compactado (kg/m <sup>3</sup> )   |
| $\rho_m$ | densidad húmeda compactado (kg/m <sup>3</sup> ) |
| $W$      | contenido de humedad en (%)                     |

### 3.2.1.6 California Bearing Ratio (CBR)

De acuerdo con Kraemer et al. (2004), en 1928 Porter propone el ensayo de CBR, siendo este implementado por la División de Carreteras del Estado de California para el diseño de pistas de vuelos y rodajes de aeropuertos. La prueba consiste en someter una masa de suelo al esfuerzo de un vástago cilíndrico a una velocidad constante. El suelo sometido a energía mecánica, se cura en agua y se mide el hinchamiento durante en el tiempo de saturación; como resultado es la capacidad de soporte.

El ensayo generalmente se desarrolla en suelos preparados en el laboratorio, con humedad y densidad controladas. Este ensayo se emplea para analizar la resistencia de la subrasante, subbase y base. El valor del CBR determinado en este ensayo es un componente principal para el diseño de pavimentos.

Los especímenes son sumergidos durante 4 días (96 horas) en una poza de saturación. Para obtener el CBR del material en estudio se calculará al 100 % de la máxima densidad seca para obtener el esfuerzo de penetración a 0.1” donde cada molde recibirá 12, 25 y 56 golpes.

Para calcular el CBR, se utilizan las siguientes fórmulas:

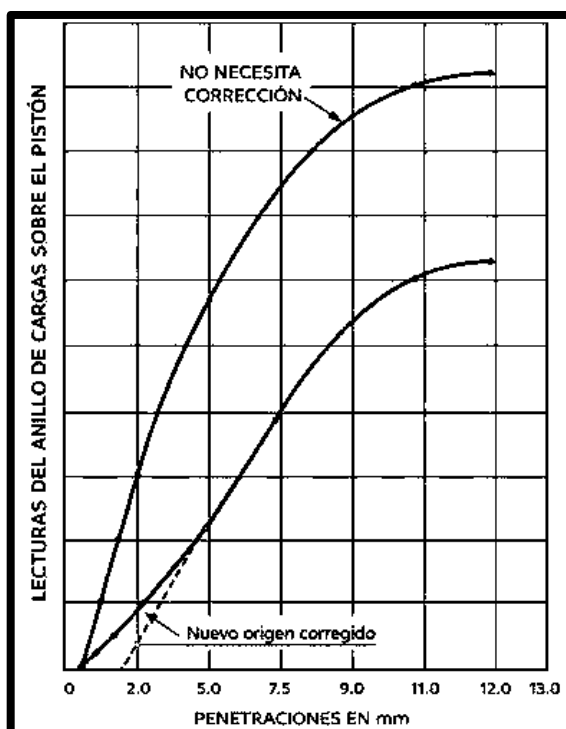
- **Fórmula N° 11:**

$$\text{CBR (\%)} = (\text{carga unitaria del material ensayado} / \text{carga unitaria del material patrón}) \times 100 \% \quad (11)$$

En esta fórmula, la carga unitaria se refiere a la carga necesaria para producir una penetración específica de 2.5 mm o 5 mm en el material ensayado y en el material patrón.

- **Fórmula N° 12:**

$$\text{CBR corregido (\%)} = \text{CBR obtenido} / \text{corrección por humedad} \times \text{corrección por densidad} \quad (12)$$



FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016)

**Figura 7 — Curva para cálculo de índice de CBR**

- **Cálculos y resultados**

Cálculo del porcentaje de agua a incorporar a la muestra

- **Fórmula N° 13:**

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100 \% \quad (13)$$

donde

H      óptimo contenido de humedad en (%)

h      contenido de humedad natural (%)

Cálculo de la capacidad de soporte del suelo

- **Fórmula N° 14:**

$$\text{CBR} = \frac{\sigma_t}{\sigma_p} \times 100 \% \quad (14)$$

donde

$\sigma_t$       esfuerzo de la muestra ensayada

$\sigma_p$       esfuerzo patrón

### 3.2.2 Permeabilidad en suelos

Los suelos presentan vacíos que están intercomunicados que permiten el flujo del agua desde zonas más elevadas hacia las más bajas. El estudio del agua en medios porosos del suelo es fundamental determinar la cantidad de agua que se infiltra bajo distintas condiciones hidráulicas. El volumen de agua que atraviesa un área de sección transversal de suelo en una unidad de tiempo se le conoce como la velocidad de descarga del agua en dirección del flujo, siendo esta una función del gradiente hidráulico y de la conductividad hidráulica (Das, 2015).

#### 3.2.2.1 Ley de Henry Darcy

En el año 1856, Darcy tomo gran interés en el estudio del flujo del agua en medios porosos, mediante ensayos experimentales descubrió que para velocidades suficientemente pequeñas el caudal esta expresado en función del área transversal de la muestra, el gradiente hidráulico del flujo y el coeficiente de permeabilidad (Juárez y Rico, 2012).

- **Fórmula N° 16:**

$$Q = k * A * \frac{\Delta h}{L} \quad (16)$$

Gradiente hidráulico

- **Fórmula N° 17:**

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (17)$$

De acuerdo con la ecuación de continuidad

- **Fórmula N° 18:**

$$V = \frac{Q}{A} \quad (18)$$

Relacionando las ecuaciones del gradiente hidráulico y la ecuación de continuidad determinamos la ecuación general de Darcy

- **Fórmula N° 19:**

$$V = k * i \quad (19)$$

donde

- V      velocidad de descarga
- k      coeficiente de permeabilidad
- i      gradiente hidráulico

#### **a) Factores que influyen en la permeabilidad**

El coeficiente de permeabilidad está en función de varios factores como la viscosidad del fluido, la porosidad del suelo, la distribución granulométrica, la saturación y la relación de vacíos (Das, 2015).

#### **3.2.2.2 Métodos para determinar el coeficiente de permeabilidad**

Para determinar la conductividad hidráulica en suelos existen varios procedimientos: los directos basados en pruebas cuya finalidad es la determinación del coeficiente de permeabilidad y los indirectos que provienen de pruebas o técnicas que inicialmente tienen otros fines (Juárez y Rico, 2012).

**a) Métodos directos**

- Permeámetro de carga constante.
- Permeámetro de carga variable.
- Prueba directa de suelos in situ.

**b) Métodos indirectos**

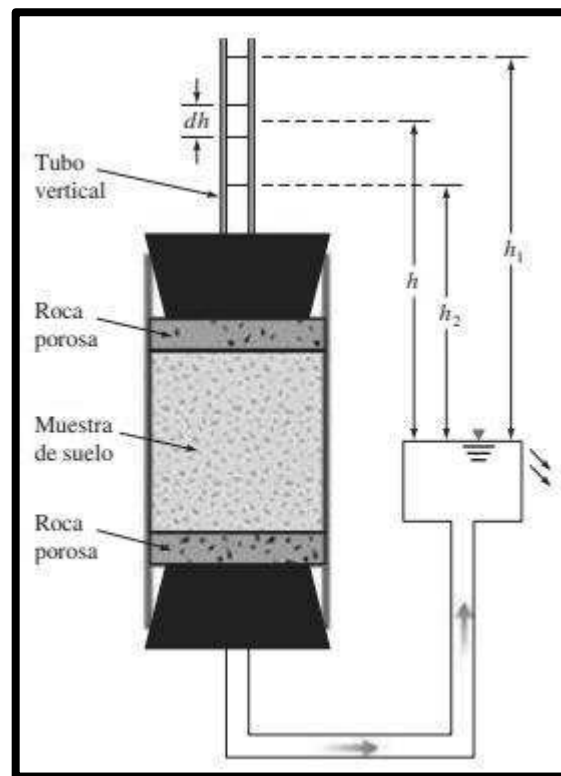
- Cálculo con el ensayo de curva granulométrica.
- Cálculo con el ensayo de consolidación.
- Cálculo del ensayo de capilaridad horizontal.

El método empleado para calcular el coeficiente de permeabilidad en la presente tesis, fue una representación del permeámetro de carga variable.

**3.2.2.3 Permeámetro de carga variable**

El permeámetro de carga variable, calcula el volumen de agua que atraviesa una muestra de suelo, por la disminución del nivel del agua del tubo alimentador. Solo pueden usarse en suelos relativamente permeables generalmente en suelos finos. El ensayo consiste en llenar agua en el tubo vertical, observando como desciende a razón que el agua pasa por la muestra en un determinado tiempo (Juárez y Rico, 2005).

El agua en un tubo vertical se desplaza en la masa de suelo, registrándose la carga hidráulica inicial, en un periodo de tiempo  $t = 0$ , y que permite que el agua se desplace por la muestra de suelo de tal manera que después de transcurrir un tiempo  $t$ , la carga hidráulica presenta un descenso (Das, 2015).



FUENTE: Das, (2015)

**Figura 8 — Prueba del permeámetro de carga variable**

• **Fórmula N° 20:**

$$k = 2.30 * \frac{a * L}{A * t} * \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (20)$$

donde

- a      área transversal del tubo vertical
- L      longitud de muestra
- A      área transversal de la muestra
- t      duración de la prueba
- $h_1$     carga hidráulica inicial
- $h_2$     carga hidráulica final

### 3.2.2.4 Expansión de suelos

Los suelos expansivos experimentan cambios significativos en su volumen cuando están en presencia del agua. Por lo general, los suelos arcillosos poseen características expansivas producto de la formación originaria del que provienen y del proceso de meteorización. Asimismo, la expansión de los suelos varía en función de la cantidad de minerales arcillosos presentes, que influyen en las variaciones volumétricas, caracterizándose por poseer

partículas de dimensiones muy pequeños y con cargas eléctricas desbalanceadas (Montejo, 2014).

Considera suelos expansivos aquellos que contienen minerales como caolinitas, ilitas y montmorilonitas; estos suelos arcillosos poseen la capacidad de reducirse cuando pierden humedad y cuando ganan humedad se expanden nuevamente. Esta propiedad puede causar problemas significativos en las construcciones, ya que los cambios en volumen pueden afectar la estabilidad e integridad de las estructuras. Para identificar suelos expansivos se utilizan varios criterios y análisis de propiedades físicas; lo más aceptado están basados en el reconocimiento de valores altos de LL, IP, contenido de partículas coloidales y menores valores de límite de contracción, estos se deben de verificar en ensayos de laboratorio; como son la prueba de expansión en el consolidómetro y otras propiedades más (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, 2023). La muestra de suelo compactado se sumerge en la poza de saturación permitiendo la absorción del agua por la parte superior e inferior, facilitando una saturación uniforme durante 4 días (96 horas). Las lecturas del deformímetro se tomarán cada 24 horas para determinar la variación de volumen del suelo sumergido.

Cálculo del porcentaje de expansión del suelo

- **Fórmula N° 15:**

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100 \% \quad (15)$$

donde

$L_1$       lectura inicial del deformímetro en (mm)

$L_2$       lectura final del deformímetro en (mm)

### 3.2.3 Estabilización de suelos

Según Montejo et al. (2018), la estabilización de suelos consiste en incrementar las propiedades de los suelos, como su resistencia, plasticidad, durabilidad, permeabilidad y densidad. Esto se puede lograr mediante varios métodos, tales como la mezcla con agregados (estabilización mecánica), la incorporación de aditivos o una combinación adecuada de ambos métodos.



Para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), la estabilización del suelo es el procedimiento que busca incrementar la resistencia a la deformación, reducir su sensibilidad al agua, mitigar la erosión y las variaciones volumétricas, mediante la adición de agentes químicos y procedimientos mecánicos para aprovechar suelos inadecuados.

### **3.2.3.1 Propiedades de los suelos a estabilizar**

Considerando la variabilidad y la composición de los suelos, las propiedades que se analizan con mayor frecuencia al aplicar tratamientos que mejoran sus propiedades son claves para la estabilización. Por ello, las propiedades del suelo a tener en cuenta, son las siguientes (Montejo et al., 2018).

#### **a) Estabilización volumétrica**

Está relacionada con suelos expansivos debido al cambio de humedad que presentan; si estas expansiones no se controlan, las fuerzas actuantes pueden provocar deformaciones y rupturas. Ante ello, es fundamental identificar los suelos expansivos, analizar su composición y plantear soluciones necesarias para el mejoramiento de estos suelos mediante estabilizaciones químicas o mecánicas (Montejo et al., 2018).

#### **b) Resistencia**

En los suelos, la resistencia disminuye a razón que incrementa el contenido de humedad. Los suelos arcillosos al perder humedad alcanzan altos niveles de resistencias, pero la reducción de humedad puede causar grandes problemas como desprendimientos o deslizamientos por disminución de su resistencia. La resistencia en suelos finos, también depende de la energía de compactación; un suelo seco compactado es más resistente y elástico, mientras que uno húmedo es más plástico y menos resistente (Montejo et al., 2018).

#### **c) Permeabilidad**

La permeabilidad de los suelos presenta básicamente dos problemas; la disipación de las presiones intersticiales y el paso del agua a través del suelo. La presencia excesiva de la presión intersticial puede generar

deslizamiento de explanaciones, así como también el flujo de agua puede generar tubificaciones y arrastres (Montejo et al., 2018).

#### **d) Compresibilidad**

Es el cambio de volumen que afecta significativamente en la resistencia del suelo al esfuerzo cortante; cuando se produce modificación en la permeabilidad las fuerzas entre las partículas del suelo se alteran provocando desprendimiento. Al compactar un suelo este modifica su compresibilidad. Para modificar esta característica se ha encontrado el término “óptimo contenido de humedad” que tiene gran relevancia cuando se realiza procedimientos de compactación (Montejo et al., 2018).

#### **e) Durabilidad**

En los suelos la durabilidad depende por su capacidad de resistir al intemperismo y el desgaste causado por el tráfico; los problemas relacionados con durabilidad surgen a consecuencia de diseños deficientes, mala elección y/o aplicación de agentes estabilizadores (Montejo et al., 2018).

### **3.2.3.2 Categorías principales de estabilización de suelos**

Para Das (2015), “el mejoramiento del suelo es conocido también como estabilización del suelo”; proceso por el cual se modifican las propiedades del suelo. La estabilización de suelos se divide en dos categorías principales: la estabilización mecánica y la estabilización química.

De acuerdo con Montejo et al. (2018), la estabilización del suelo puede lograrse empleando los siguientes métodos: estabilización mecánica, la incorporación de aditivos o una combinación de ambos.

#### **a) Estabilización mecánica**

Se denomina estabilización mecánica a la combinación de dos o más suelos con distintas propiedades, con la finalidad de determinar un suelo con propiedades adecuadas, sin adicionar agentes estabilizantes (Das, 2015).



Para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), la estabilización mecánica pretende incrementar las propiedades del suelo, sin modificar su estructura ni su composición. Para conseguir este tipo de estabilización se emplea la compactación.

- **Estabilización por combinación de suelos**

Según Montejo et al. (2018), el problema de la estabilización mediante el mezclado de suelos se define desde dos puntos de vista: la granulometría y la plasticidad. Por lo tanto, dentro de los factores más relevantes en la resistencia de suelos es la distribución granulométrica, sin dejar desapercibido la forma y textura de estos.

- **Estabilización por sustitución de los suelos**

Para realizar la estabilización mediante la sustitución de material podría presentarse dos situaciones: la construcción directa del espesor sobre el suelo natural o una previa excavación y reemplazo con material. El primer caso implica la preparación del suelo de soporte, procediendo con la colocación del material de acuerdo a los espesores de diseño; estos materiales se deberán humedecer para finalmente ser densificados. Para el segundo caso se realizará la remoción en su totalidad del suelo existente, conforme al espesor que se reemplazará; para luego proceder a colocar y compactar el material (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

#### **b) Estabilización química**

Este procedimiento implica la aplicación de aditivos químicos con el propósito de incrementar las propiedades del suelo; mediante este proceso se busca reducir la plasticidad, disminuir el potencial de expansión y la contracción del suelo. En la situación de suelos que son muy difíciles de compactar se añaden químicos que dispersan ligeramente las partículas facilitando la compactación (Das, 2015).

Para Llano (2021), La estabilización química constituye una alternativa técnica para mejorar los materiales locales mediante procesos

fisicoquímicos que optimizan su resistencia y durabilidad, empleando metodologías más eficientes, económicas y ambientalmente sostenibles.

- **Estabilización con cemento**

Para Das (2015), el uso del cemento proviene desde el año 1935. Hoy en día estabilizar suelos con cemento es más frecuente, en la estabilización de suelos con existencia de arena y arcilla el cemento permite reducir el LL y aumentar el IP. Estabilizar suelos con cemento resulta más efectivo para aquellos que presentan un LL menor a 50 y el IP menor a 25. El cemento aumenta la resistencia de los suelos, obviamente los suelos idóneos para estabilizar son los granulares y las arcillosas de baja plasticidad. Durante la compactación, la proporción de cemento del diseño debe ser combinada adecuadamente con el suelo. Ante ello, recomienda algunos porcentajes de cemento.

**Tabla 10 — Porcentajes de cemento según Mitchell y Freitag**

| Clasificación de suelos<br>SUCS | Porcentaje de cemento por<br>volumen |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| GP, SP, SW                      | 6 – 10                               |
| CL, ML, MH                      | 8 – 12                               |
| CL, CH                          | 10 – 14                              |
| FUENTE: Das, 2015               |                                      |

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), menciona que el mejoramiento con cemento; aumenta la resistencia de acuerdo al porcentaje de cemento y el tiempo de combinación; agregar al suelo el cemento antes de iniciar su fraguado, el material disminuye su IP, su LL difiere levemente, su máxima densidad y el óptimo contenido de humedad aumenta o disminuye ligeramente; por lo que la proporción debe fijarse de acuerdo al tipo de suelo.

**Tabla 11 — Proporción para la estabilización suelo cemento**

| <b>Clasificación de suelos<br/>AASHTO</b>                | <b>Rango usual de cemento<br/>requerido o porcentaje del peso<br/>de los suelos</b> |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| A-1-a                                                    | 3 – 5                                                                               |
| A-1-b                                                    | 5 – 8                                                                               |
| A – 2                                                    | 5 – 9                                                                               |
| A – 3                                                    | 7 – 11                                                                              |
| A – 4                                                    | 7 – 12                                                                              |
| A – 5                                                    | 8 – 13                                                                              |
| A – 6                                                    | 9 – 15                                                                              |
| A – 7                                                    | 10 – 16                                                                             |
| FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 |                                                                                     |

- **Estabilización electroquímica con aceite sulfonado**

De acuerdo a Llano (2021), los aceites sulfonados se emplean como estabilizantes químicos debido a su capacidad para inducir reacciones de intercambio iónico, los limos y arcillas al tener una composición mineralógica de exceso de iones negativos atraen iones positivos del agua, adhiriéndose y formando entre ellas el agua pelicular. Su acción estabilizante se fundamenta en la modificación de la interacción agua – arcilla, ya que incrementan la conductividad del medio acuoso y favorecen la liberación del agua retenida en la superficie de las partículas finas. Adicionalmente, los aceites sulfonados interactúan con los cationes adsorbidos en las láminas de arcilla, reemplazándolos y neutralizando sus cargas, lo que disminuye de manera permanente la afinidad del suelo por el agua. Como consecuencia, en suelos de matriz arcillosa se observa una reducción de la porosidad y de la permeabilidad, una mejora en la respuesta a la compactación, un aumento de la densificación del material y un comportamiento sedimentario más estable.

### 3.2.4 Aditivos

En mecánica de suelos, los aditivos son sustancias que se incorporan a los suelos para incrementar sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad. Su uso es fundamental en la estabilización de suelos y en mejorar la capacidad de soporte de los mismos.

La estabilización de suelos puede llevarse a cabo mediante dos formas: in situ y ex situ. La estabilización in situ implica mezclar el material directamente con el suelo existente en el lugar. Por otro lado, la estabilización ex situ implica preparar el material en una zona exterior a la calzada o sección vial a intervenir, para luego transportar y extender las capas de suelo tratado. En general, se suele optar por la estabilización in situ debido a varias razones. En primer lugar, es más económica y práctica que la estabilización ex situ, ya que los costos asociados al transporte suelen aumentar los gastos de estabilización. Además, la preparación del material de estabilización requeriría más tiempo en el caso de la estabilización ex situ. Trabajar in situ también permite alcanzar la humedad óptima del suelo una vez que esté seco, lo que evita reacciones prematuras en el caso de suelos con cemento (Pro-Road, 2020).

#### 3.2.4.1 Aceite sulfonado

El aceite sulfonado es un líquido que se disuelve en el agua, provocando su ionización e incrementando su conductividad, propiciando así el intercambio catiónico. Esto significa que las partículas de arcilla al desprenderse, convierte el agua en un líquido libre capaz de transferir cargas eléctricas con los cationes de la arcilla. Como resultado, neutraliza los cationes y reduce su capacidad de retener agua de forma permanente (Llano et al., 2020).

Para Páez y Díaz (2019), el aceite sulfonado es un líquido de color rojizo, derivado del naftaleno de la hulla con una gravedad específica de 1.15, el PH en torno a 1.10, soluble en agua, ligera viscosidad, alta conductividad en solución acuosa y facilita el intercambio catiónico.



#### **a) Efectos del aceite sulfonado**

El uso del aceite sulfonado en suelos arcillosos, presenta varios efectos significativos. En primer lugar, minimiza los espacios intersticiales, lo que disminuye la permeabilidad. Además, aumenta la sedimentación e incrementa la respuesta del suelo a la compactación. Proyectos ejecutados con la aplicación de aceite sulfonado y pruebas realizadas han comprobado que la estabilización electroquímica es una propuesta para disminuir la expansión potencial de los suelos finos (Llano, 2021).

#### **b) Propiedades del aceite sulfonado**

- Solubilidad en agua: El aditivo estabilizador líquido es soluble en agua, lo que facilita su aplicación y mezcla con el suelo.
- Ionización y aumento de conductividad: Al tener contacto con el agua, el aceite sulfonado se ioniza, lo que incrementa la conductividad del agua y facilita el intercambio catiónico en el suelo.
- Reducción de espacios intersticiales: El aceite sulfonado ayuda a reducir los espacios intersticiales, lo que mejora la compactación y estabilidad del suelo.
- Reducción de permeabilidad: Al disminuir los espacios intersticiales, el aceite sulfonado también reduce la permeabilidad del suelo, evitando la excesiva infiltración del agua.
- Incremento de la sedimentación: La presencia del aceite sulfonado en el suelo aumenta la capacidad de sedimentación de las partículas, lo que contribuye a una mayor estabilidad del suelo.
- Incrementa la respuesta a la compactación: El estabilizador líquido incrementa la respuesta del suelo a los procesos de compactación, lo que se traduce en un incremento de su densidad y resistencia del suelo.

### c) Ventajas del aceite sulfonado

El uso de aceite sulfonado para estabilizar suelos, ofrece ventajas como el incremento en la estabilidad, la reducción del potencial expansivo en suelos arcillosos, el incremento de la capacidad de resistencia, la mejora en la permeabilidad, la facilidad de aplicación y su costo efectivo. En resumen, el aceite sulfonado es una opción rentable y eficaz para incrementar las propiedades y la capacidad de soporte en proyectos de construcción de infraestructura vial.

- **Aceite sulfonado IONICSOIL**

Aditivo usado para mejorar suelos con presencia de arcilla, que permite al aditivo modificar la resistencia (aumento del CBR en afirmados con valores mayores al 100 %), flexibilidad y compactación. Asimismo, reorganiza las partículas y sus cargas del suelo transformando su plasticidad y contenidos de arcilla. Por otro lado, recomienda su utilización en mezclado con un aditivo conglomerante cementante en cantidades de acuerdo a diseño (Ficha Técnica IONICSOIL, 2017).

**Tabla 12 — Características físicas – IONICSOIL**

|                                       |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| Forma                                 | Líquido                |
| Color                                 | Oscuro rojizo          |
| Punto de inflamación                  | No inflamable          |
| Punto de ebullición                   | 100 °C (212 °F)        |
| Densidad                              | 1.0 gr/cm <sup>3</sup> |
| PH en agua                            | 6 – 8                  |
| FUENTE: Ficha Técnica IONICSOIL, 2017 |                        |

- **Beneficios del aceite sulfonado IONICSOIL**

- El suelo estabilizado obtiene características que le facilitan que las partículas se reagrupen internamente e incrementen sus características mecánicas, elevando la eficacia de la mezcla.

- Los suelos químicamente estabilizados, después de la aplicación obtendrán una apariencia natural y ambientalmente duradera.



FUENTE: Ficha Técnica IONICSOIL, 2017

**Figura 9 — Aplicación del aceite sulfonado IONICSOIL**

### 3.2.4.2 Cemento portland

El cemento portland, aplicado en la estabilización de suelos, es un material aglomerante hidráulico que, al reaccionar químicamente con el agua y los minerales presentes en el suelo, forma una matriz cementante capaces de mejorar sus propiedades de resistencia y durabilidad (Collantes y Orbegoso, 2024).

Para la NTP 334.001 (2022), el cemento portland es un cemento hidráulico generado a través de la pulverización del Clinker conformado básicamente de silicatos de calcio hidráulicos y que posee usualmente los siguientes: agua, sulfato de calcio, hasta un 5 % de piedra y adiciones del proceso.

#### a) Tipos de cemento portland

La NTP 334.009 (2023), rige los requisitos que deban cumplir para su aplicación.

**Tabla 13 — Tipos de cemento portland**

| Tipos de cemento portland | Aplicación                                                                                |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo I                    | Para uso general no requieren propiedades especiales específicas para cualquier otro tipo |

|                           |                                                                                       |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo II                   | Para uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos |
| Tipo II (MH)              | Para uso general, específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación    |
| Tipo III                  | Para ser utilizado cuando se requiera altas resistencias iniciales                    |
| Tipo IV                   | Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación                                   |
| Tipo V                    | Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos                             |
| FUENTE: NTP 334.009, 2023 |                                                                                       |

- **Cemento portland tipo I**

Es un tipo de cemento hidráulico generado a través de la pulverización del Clinker, conformado principalmente de silicatos de calcio. Asimismo, puede contener agua, sulfato de calcio, hasta un 5 % de piedra caliza e incorporaciones de proceso. Este tipo de cemento se utiliza comúnmente para aplicaciones generales y no requiere de propiedades especificadas en otros tipos de cemento (NTP 334.009, 2023).

### **Características del cemento portland tipo I**

Composición química: Contiene básicamente silicatos de calcio hidráulicos como componente principal.

- Uso general: Es apto para una extensa variedad de usos y no requiere propiedades especiales específicas.
- Resistencia: Ofrece una resistencia inicial y final idónea para la multitud de aplicaciones de construcción.
- Tiempo de fraguado: Tiene un tiempo de fraguado normal, lo que permite un adecuado tiempo de trabajo antes de que el cemento endurezca.



- Durabilidad: Proporciona una buena durabilidad en condiciones normales de exposición.
- Color: Suele tener un color gris claro.

### 3.2.5 Caminos con superficie de rodadura no pavimentado

Para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), las vías de carpeta de rodadura no pavimentada son descritos según:

- Caminos de tierra: Conformado por el material natural y mejorado con material granular seleccionado por zarandeo.
- Caminos de grava: Conformado un estrato de material pétreo, clasificado manualmente por zarandeo, de tamaño máximo 3”.
- Caminos afirmados: Conformado por un estrato de material de cantera, realizado manualmente por zarandeo o por medios mecánicos, el material estará compuesta por una mezcla de finos, arenas y piedras con tamaño máximo del material de 1”. Los tipos de caminos afirmados están comprendidos de la siguiente manera:
  - Afirmados con material granular o zarandeada.
  - Afirmados con material granular homogéneo mediante triturado.
- Caminos afirmados con superficie de rodadura mejorada con material industrial: Los caminos afirmados con carpeta estabilizada están comprendidos de la siguiente manera:
  - Afirmados con material granular como: aditivos químicos, cal, asfalto, cemento, etc.
  - Suelos naturales estabilizados con: asfalto, cal, cemento, material granular y finos ligantes, otros.

### 3.2.5.1 Subrasante

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), la subrasante constituye la capa de contacto directo entre el terreno natural nivelado y la estructura del pavimento, actuando como la base de las excavaciones que soportarán las estructuras. El material que se encuentra debajo del nivel de la subrasante serán suelos firmes y aceptables con CBR  $\geq 6\%$ , caso contrario, si el CBR  $< 6\%$  será una subrasante inadecuada, ante ello se procederá a estabilizar los suelos. La categoría de una subrasante para los requisitos de servicio, el tránsito y las propiedades de los materiales se identificarán de la siguiente manera:

**Tabla 14 — Categorías de subrasante**

| Categorías                                               | CBR                            |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|
| S0 : Subrasante inadecuado                               | CBR $< 3\%$                    |
| S1 : Subrasante insuficiente                             | CBR $\geq 3\%$ a CBR $< 6\%$   |
| S2 : Subrasante regular                                  | CBR $\geq 6\%$ a CBR $< 10\%$  |
| S3 : Subrasante buena                                    | CBR $\geq 10\%$ a CBR $< 20\%$ |
| S4 : Subrasante muy buena                                | CBR $\geq 20\%$ a CBR $< 30\%$ |
| S5 : Subrasante excelente                                | CBR $\geq 30\%$                |
| FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014 |                                |

La subrasante se refiere al soporte natural, preparado y compactado, cuya función es dar soporte uniforme y evitar cambios bruscos en su capacidad de soporte. Lo más importante es que la subrasante ofrezca alta estabilidad que una mayor capacidad de soporte; por lo cual, se debe controlar la expansión del material en suelos arcillosos mediante reemplazo con materiales mucho más estable. Por lo tanto, la subrasante desempeña un papel muy importante en la ejecución de carreteras (Núñez, 2015).

### 3.2.6 Diseño de experimentos

Propuesto por Ronald A. Fisher a mediados del siglo XX en Inglaterra, a través de su libro “The Design of Experiments, 1935”. Asimismo, durante los años 1950 y 1980 el diseño de experimentos tomo mayor aplicación, pero solo en área de investigación y desarrollo; en 1970 su aplicación en la industria manufacturera no



estaba generalizada por falta de recursos computacionales y especialistas en el área estadística. En 1980, se produjo un significativo avance en el conocimiento y la aplicación de técnicas estadísticas, gracias al éxito en la calidad alcanzado por la industria japonesa, impulsado por Deming e Ishikawa. Ellos promovieron el uso de métodos estadísticos para resolver problemas y mejorar el diseño de procesos.

Actualmente, el diseño de experimentos es una metodología efectiva para llevar a cabo pruebas. Este proceso implica definir qué pruebas realizar y cómo ejecutarlas, con el propósito de recopilar datos que, al ser analizados estadísticamente, brinden evidencias para resolver problemas, implementar mejoras y responder a las preguntas del investigador. Por otro lado, el diseño de experimentos se fundamenta en un conjunto de métodos activos que no esperan que el procedimiento proporcione señales relevantes, sino que controla el proceso para que ofrezca datos requeridos para su mejora. En esencia, el diseño de experimentos tiene como objetivo desarrollar conocimiento acerca de una estructura o procedimiento, porque aplica el método científico, a través de pruebas planteadas convenientemente. Con el correr de los años ha ido consolidándose como un conjunto de procedimientos de estadística e ingeniería que facilitan analizar la relación causa – efecto (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

#### **a) Experimento**

Es una secuencia de pruebas que realiza cambios de forma intencionada en un parámetro de entrada de un proceso, para verificar y apreciar las variaciones que existieran en la variable de respuesta (Montgomery, 2016).

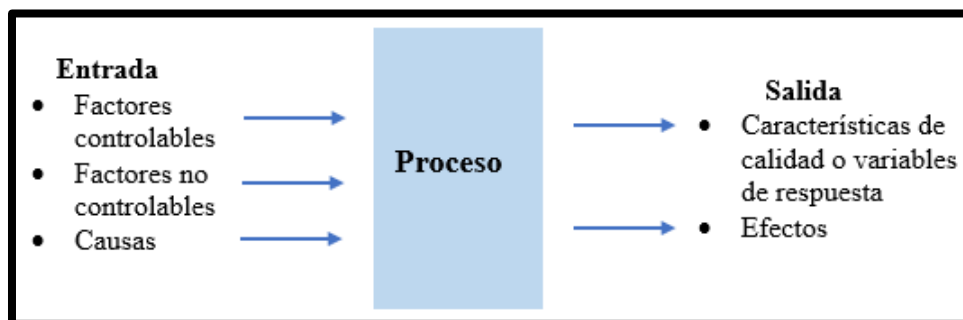
Por otro lado, el experimento es la variación de las condiciones operativas del proceso, que se realiza con el fin de evaluar el impacto de la variación de una o varias características del resultado (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

#### **b) Unidad experimental**

Es el grupo de muestras utilizadas para adquirir un valor representativo como producto del experimento. En un diseño experimental, resulta esencial definir con precisión la unidad experimental, si será una muestra o un conjunto de muestras (Gutiérrez y De La Vara, 2012).



c) Variables, factores y niveles



FUENTE: Gutiérrez y De La Vara, 2012

Figura 10 — Variables de un proceso al diseñar el experimento

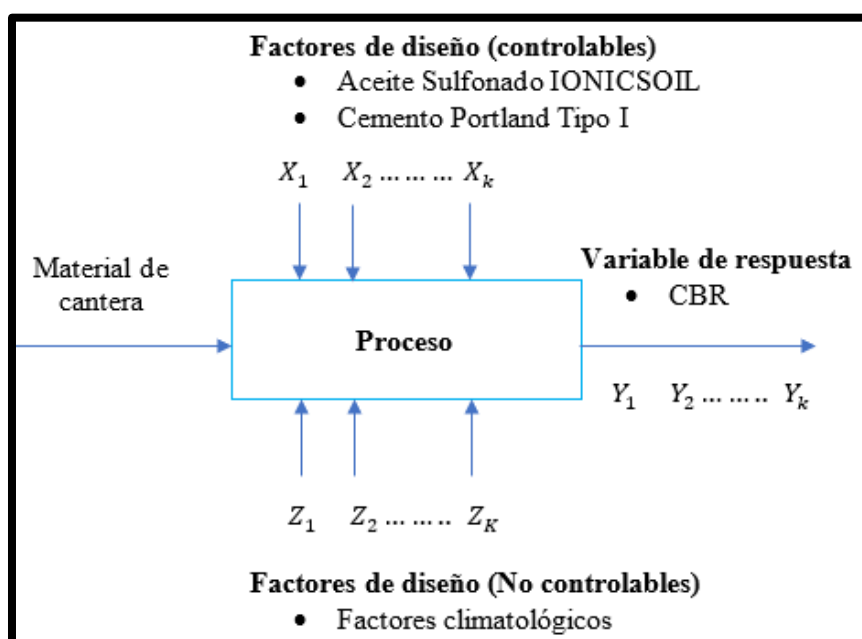


Figura 11 — Variables del proceso experimental de la investigación

- **Variable de respuesta:** esta variable refleja los resultados de las pruebas experimentales y evalúa el funcionamiento del proceso, siendo el objetivo principal de los estudios experimentales optimizar la variable de respuesta (Gutiérrez y De La Vara, 2012).
- **Factores controlables:** los factores de proceso son parámetros que pueden fijarse en un nivel específico y controlarse durante la operación. Se consideran variables de entrada o de diseño, ya que existe un mecanismo para manipularlas y así experimentar con ellas con el fin de optimizar el proceso o el material (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

- **Factores no controlables:** durante el experimento, las variables, los métodos y las características de los materiales empleados, no pueden ser controlados; entre estos factores se tiene las variables ambientales: luz, temperatura, ruido, humedad, entre otros (Gutiérrez y De La Vara, 2012).
- **Niveles y tratamientos:** los niveles representan los distintos valores que se designan a cada factor de estudio en el diseño experimental, mientras que los tratamientos son las agrupaciones de todos los niveles de cada factor estudiado (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

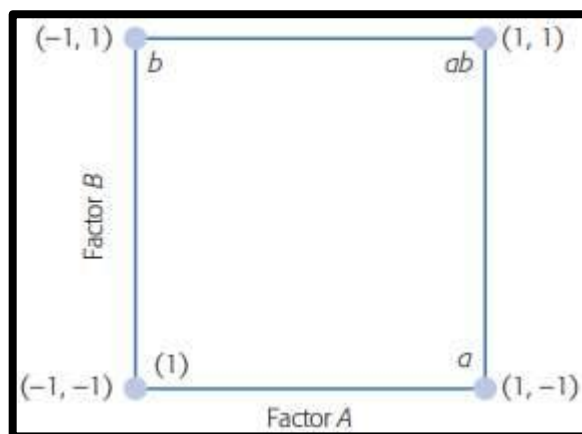
### 3.2.7 Diseño factorial $2^k$

Los diseños factoriales  $2^k$  son necesarios en etapas iniciales del proceso experimental cuando se tienen varios factores en investigación. Por otro lado, este diseño proporciona la cantidad mínima de pruebas en las que se puedan analizar  $k$  factores en un diseño factorial completo y es ampliamente usado en la selección de factores. Dado que cada factor tiene dos niveles, se estima que la respuesta es aproximadamente lineal dentro de la variación de niveles de los factores (Montgomery, 2016).

#### 3.2.7.1 Diseño factorial $2^2$

En el diseño factorial  $2^2$  solo es posible estudiar dos factores (A, B) apreciando dos niveles cada uno. En este diseño cada réplica consiste en  $2^2 = 2 \times 2 = 4$  tratamientos o combinaciones que se les puede asignar de distintas maneras; algunas de las notaciones empleadas son -1, +1 utilizadas al momento de realizar cálculos para configurar por mínimos cuadrados un modelo de regresión. Asimismo, la notación empleada de -, + al describir las matrices de diseño son muy prácticas porque permiten calcular y representar con facilidad los efectos. Finalmente, la notación [(1), a, b y ab], expresa la totalidad o la suma de evaluaciones de cada tratamiento (Gutiérrez y De La Vara, 2012).



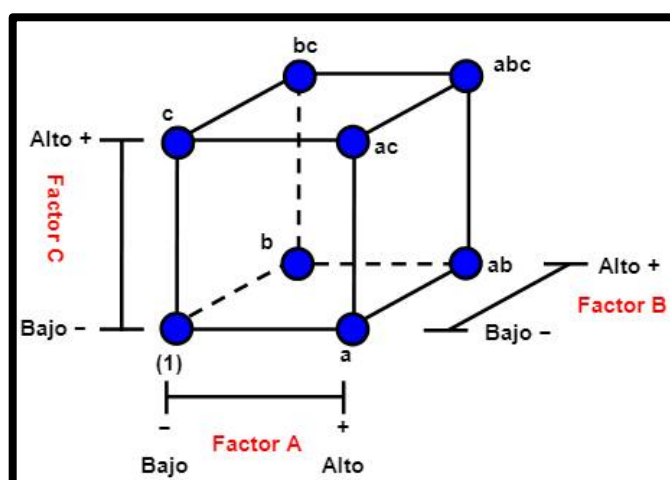


FUENTE: Gutiérrez y De La Vara, 2012

**Figura 12 — Representación geométrica del diseño factorial  $2^2$**

### 3.2.7.2 Diseño factorial $2^3$

En el diseño factorial  $2^3$  solo es posible estudiar tres factores (A, B, C) considerando dos niveles cada uno. El diseño establece que cada replica consiste en 8 tratamientos diferentes; las cuales se identifican con las mismas notaciones “-”, “+” que representan los niveles mínimos y máximos de los factores, en este caso la zona experimental tiene forma de un cubo regular con centro definido en (0, 0, 0), cuyos vértices son los 8 tratamientos y son llamados también como la matriz de diseño. En el diseño  $2^3$  existen siete grados de libertad, tres grados de libertad vinculados a los factores principales A, B y C; tres grados de libertad vinculados con las interacciones AB, AC y BC; por último, un grado de libertad asociado a la interacción de ABC (Montgomery, 2016).

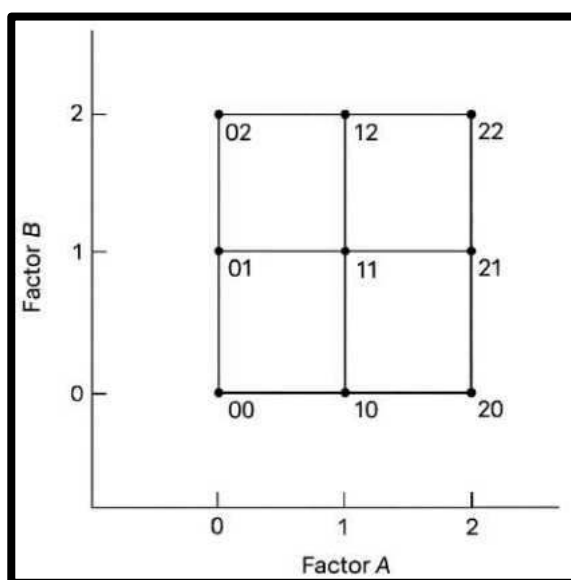


FUENTE: Mejorado de Montgomery, 2016

**Figura 13 — Representación geométrica del diseño factorial  $2^3$**

### 3.2.8 Diseño factorial $3^k$

El diseño factorial  $3^k$ , es una estructura factorial de  $k$  factores que presentan tres niveles cada uno de ellos; los factores y las interacciones se denotan con letras mayúsculas, los tres niveles de los factores se identifican comúnmente como -1 (bajo), 0 (intermedio) y +1 (alto), lo cual facilita el ajuste a un patrón de regresión que asocia las respuestas con los niveles de los factores. Además, este diseño facilita estudiar resultados de curvatura, efectos lineales y efectos de dinámica mutua, que forman parte de los diseños experimentales adecuados para la optimización de las condiciones que influyan en la variable de respuesta (Domínguez y Castaño, 2016).



FUENTE: Montgomery, 2016

**Figura 14 — Combinaciones de tratamientos  $3^k$  ( $k = 2$ )**

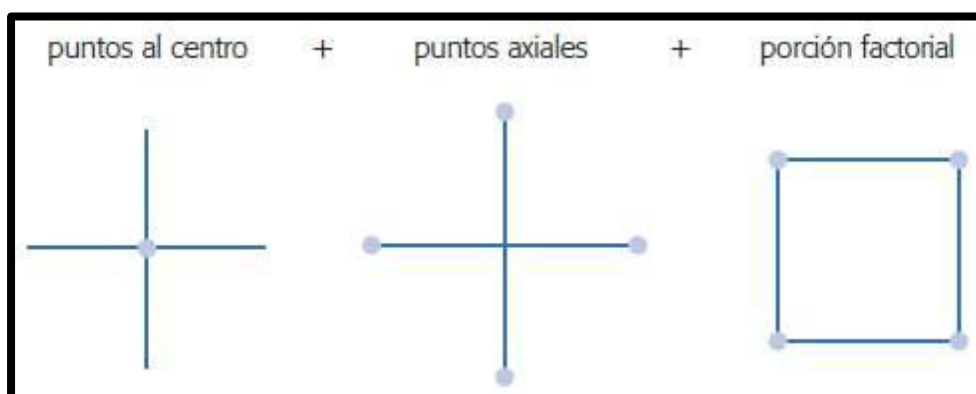
### 3.2.9 Diseño central compuesto

El Diseño Central Compuesto es una estrategia experimental ampliamente utilizada dentro del enfoque estadístico conocido como Metodología de Superficie de Respuesta. Esta metodología se emplea para modelar y optimizar procesos complejos, en los cuales el resultado o variable dependiente está influenciado por múltiples factores o variables independientes. El DCC tiene como principal finalidad ajustar un modelo de segundo orden (modelo cuadrático), que permita comprender no solo el efecto lineal de cada variable, sino también sus interacciones y posibles efectos de curvatura en la respuesta (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

Este tipo de diseño es particularmente útil cuando el modelo lineal (de primer orden) resulta insuficiente para explicar el comportamiento del sistema estudiado. El modelo cuadrático, por su parte, proporciona mayor flexibilidad y precisión, permitiendo predecir comportamientos no lineales y hallar puntos óptimos de operación o formulación (Montgomery, 2016).

El diseño central compuesto se estructura mediante tres tipos de puntos experimentales:

- **Puntos factoriales**, que representan las combinaciones extremas (niveles altos y bajos) de los factores de estudio. Estos puntos permiten determinar los efectos principales y las interacciones lineales entre los factores.
- **Puntos centrales**, en los cuales todos los factores están en su nivel medio. Estos puntos se repiten varias veces para estimar la variabilidad experimental.
- **Puntos axiales**, que se ubican dentro o fuera del cubo factorial, a una distancia  $\alpha$  del centro. Su inclusión permite detectar la curvatura de la superficie de respuesta y ajustar el modelo cuadrático con mayor precisión.



FUENTE: Gutiérrez y De La Vara, 2012

**Figura 15 — Puntos experimentales del diseño central compuesto**

Una de las ventajas más notables del diseño central compuesto es que disminuye significativamente el número de experimentos requeridos, en comparación con un diseño factorial completo de segundo orden, esta eficiencia experimental es

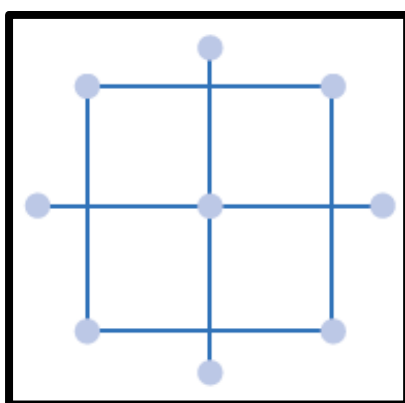
esencial en estudios donde los ensayos de laboratorio son costosos, prolongados o involucran recursos limitados (Montgomery, 2016).

En investigaciones relacionadas con la estabilización de suelos como el caso de la presente investigación sobre la influencia del aceite sulfonado con cemento portland I, el DCC permite evaluar simultáneamente varios factores (por ejemplo, diferentes proporciones de aditivos) y optimizar la formulación de la combinación, así se pueden obtener condiciones óptimas que mejoren significativamente las propiedades mecánicas y la permeabilidad del suelo tratado.

### 3.2.10 Diseño central compuesto con puntos axiales

El DCC con puntos axiales es una extensión del diseño central compuesto tradicional, en la cual se integran deliberadamente puntos experimentales ubicados en posiciones más alejadas del centro experimental, estos puntos, conocidos como puntos axiales o puntos estrella, desempeñan un papel fundamental en la construcción de un modelo matemático de segundo orden que sea capaz de capturar adecuadamente la curvatura de la superficie de respuesta.

Los puntos axiales se sitúan a una distancia  $\alpha$  del centro del diseño, en cada eje de las variables independientes, esta distancia  $\alpha$  puede ser determinada bajo criterios de rotabilidad, lo cual garantiza que el diseño tenga varianza constante en todas las direcciones desde el centro, o bien puede ser establecida en función de restricciones del experimento, especialmente cuando se desea mantener las variables dentro de un rango operacional seguro (Montgomery, 2016).



FUENTE: Gutiérrez y De La Vara, 2012

**Figura 16 — Diseño central compuesto con puntos axiales**

Este tipo de diseño permite generar un modelo matemático que relaciona las proporciones de los materiales estabilizantes con las variables de respuestas de interés; además, este diseño facilita el desarrollo de análisis de optimización, en los cuales se puede buscar simultáneamente la mejora de varias respuestas, por ejemplo, maximizar la resistencia mientras se minimiza la permeabilidad.

### **3.2.11 Metodología de superficie de respuesta**

La MSR es un enfoque experimental que permite identificar las condiciones óptimas de operación de un proceso mediante el análisis sistemático de sus variables, o sea, como consecuencia dan “valores óptimos” de una o muchas particularidades de la excelencia del producto. La MSR implica tres aspectos fundamentales: el diseño, el modelo y la técnica de optimizar; el diseño se basa en mejorar un proceso mediante la aplicación el diseño de experimentos, el modelo emplea el estudio de regresión lineal múltiple y por último el aspecto de optimizar, que está compuesto por algunas estrategias matemáticas que funcionan para obtener el punto óptimo (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

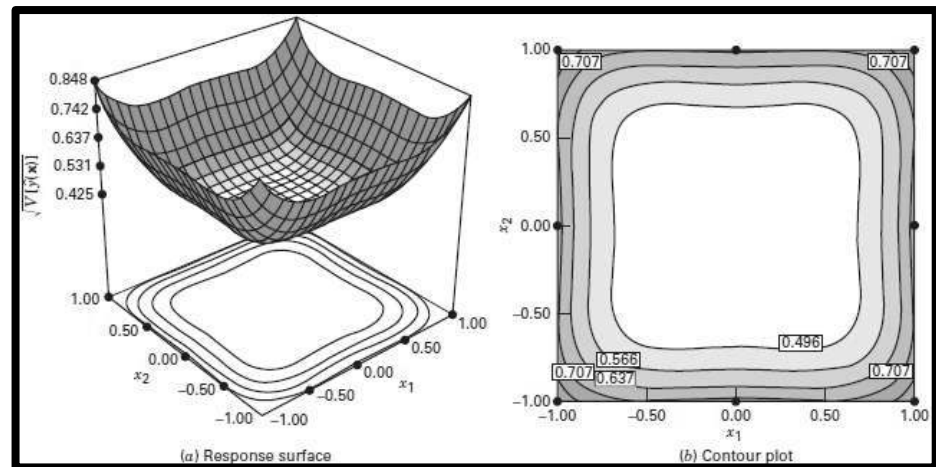
La MSR es un conjunto de métodos matemáticos estadísticos empleadas para diseñar y analizar situaciones problemáticas; donde la respuesta está condicionada por varias variables y el objetivo es optimizar. Por otro lado, la representación de la superficie de respuesta es gráficamente, para una mejor forma de visualización se diseñan líneas de respuestas donde cada contorno representa un nivel en específico de la superficie de respuesta. En la mayoría de los estudios desarrollados mediante la MSR, el vínculo entre las respuestas y las variables independientes no es conocida; en este caso el primer paso es buscar la aproximación verdadera entre las variables independientes y la respuesta por medio de un polinomio de primer grado si es lineal o de segundo grado si presenta curvatura (Montgomery, 2016).

#### **3.2.11.1 Gráficas de superficie de respuesta**

La ecuación de respuesta puede representarse como una superficie que describe el comportamiento de la respuesta media dentro de la región experimental, cuando los experimentos busca la influencia de los factores cuantitativos. Asimismo, la respuesta permite a los investigadores visualizar y evaluar la sensibilidad de respuesta a los factores de interés,



proporcionando una combinación óptima (Gutiérrez y De La Vara, 2012).



FUENTE: Gil, 2019

**Figura 17 — Superficie y curva de respuesta para dos factores**

### 3.2.11.2 Modelos de superficie de respuesta

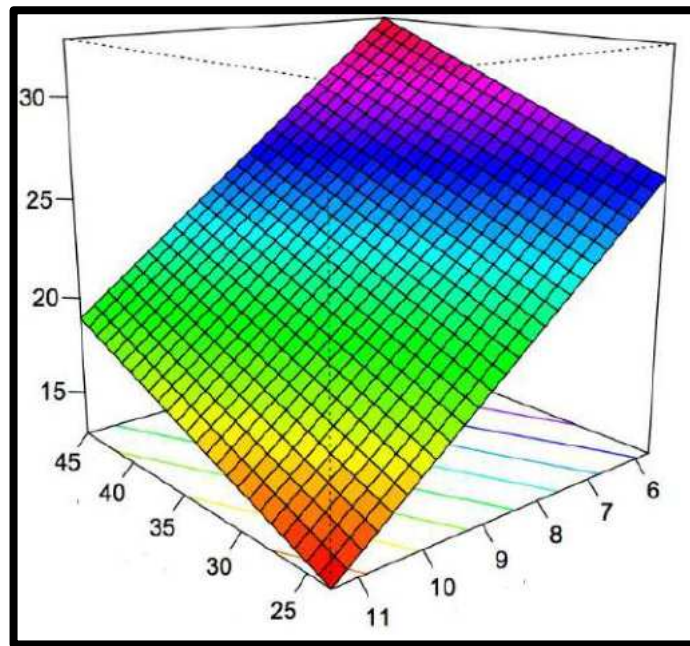
Los modelos de superficie de respuesta se basan en configurar un modelo a la respuesta de datos experimental; estos modelos se caracterizan básicamente por ser funcionales polinomiales. A continuación, se muestra el modelo de primer orden.

- **Fórmula N° 21:**

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \varepsilon \quad (21)$$

donde

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| Y             | variable de respuesta           |
| $\beta_0$     | término independiente           |
| $\beta_i$     | coeficientes del modelo         |
| $x_i$         | factor o variable independiente |
| $\varepsilon$ | error aleatorio                 |



FUENTE: Gil, 2019

**Figura 18 — Superficie de respuesta de modelo de primer orden**

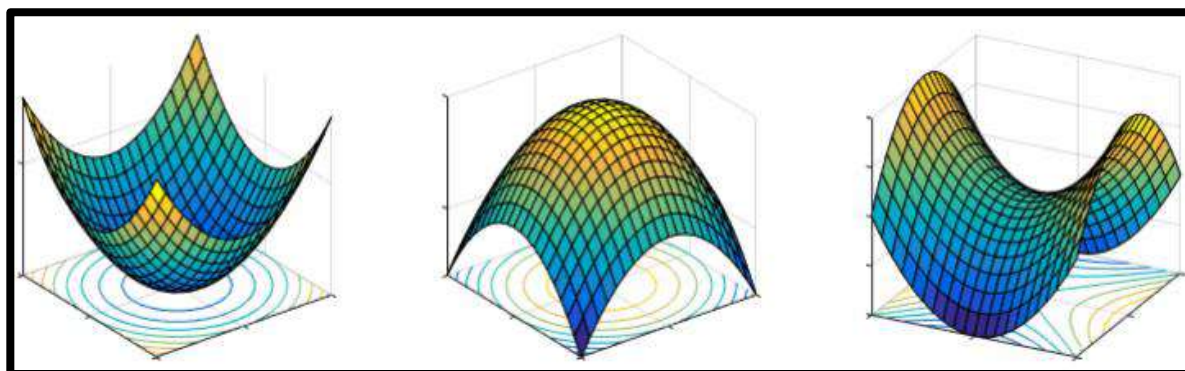
Por otro lado; si existe curvatura, debe utilizarse un polinomio de orden mayor como es el modelo o configuración de segundo orden o llamado también modelo cuadrático.

• **Fórmula N° 22:**

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} * x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} * x_i * x_j + \varepsilon \quad (22)$$

donde

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| $Y$                      | variable de respuesta             |
| $\beta_0$                | término independiente             |
| $\beta_i * x_i$          | efecto lineal                     |
| $\beta_{ii} * x_i^2$     | efecto cuadrático                 |
| $\beta_{ij} * x_i * x_j$ | efecto de interacción             |
| $x_i$                    | factor o variable independiente   |
| $k$                      | número de factores experimentales |
| $\varepsilon$            | error aleatorio                   |



FUENTE: Gil, 2019

**Figura 19 — Modelos de superficie de respuesta de segundo orden**

donde

Punto estacionario mínimo (izquierda)

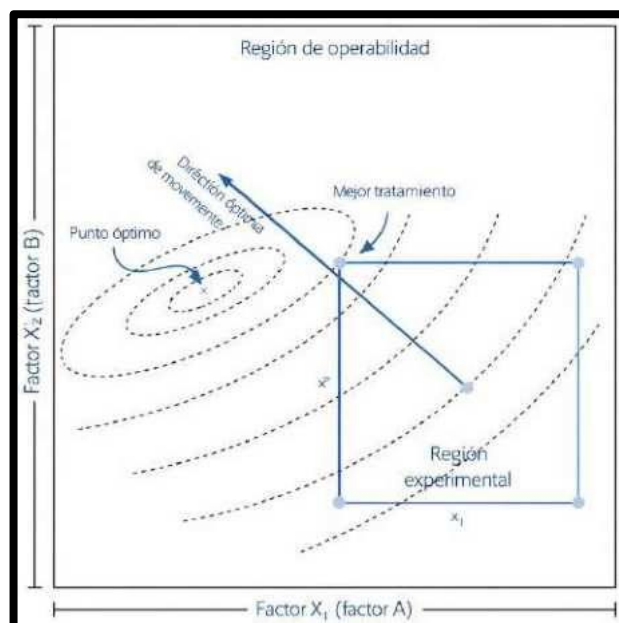
Punto estacionario máximo (centro)

Punto de silla (derecha)

### 3.2.11.3 Mejor tratamiento y punto óptimo.

Es la combinación óptima de niveles de los factores en estudio, el cual se determinan durante el diseño experimental; desde una perspectiva estadística los diseños factoriales completos resultan el óptimo tratamiento, denominado “tratamiento ganador”. Por otro lado, el punto óptimo conlleva la mejor combinación ideal dentro de toda la zona operativa (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

El mejor tratamiento se define como aquella combinación específica de niveles de las variables independientes que produce los valores más deseables en las variables de respuesta, tales como una mayor resistencia mecánica del suelo o una menor permeabilidad, este tratamiento no se determina de manera arbitraria, sino a través del análisis estadístico del modelo ajustado y la evaluación de la superficie de respuesta generada por los datos experimentales.



FUENTE: Gutiérrez y De La Vara, 2008

**Figura 20 — Mejor tratamiento y punto óptimo**

### 3.3 Marco conceptual

- a) **Estabilización de suelos:** Consiste en mejorar las propiedades físicas del suelo mediante la aplicación de métodos mecánicos y la incorporación de aditivos químicos, tanto naturales como sintéticos. Generalmente, las estabilizaciones se aplican en las superficies de rodadura o capas inferiores de las vías, y se denominan suelo-cemento, suelo-cal, entre otros (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).
- b) **Estabilización química:** Es una técnica empleada para mejorar las propiedades geotécnicas de diversos tipos de suelos, modificando sus características fisicoquímicas iniciales. El objetivo principal de este proceso es solucionar problemas como la inestabilidad volumétrica y mejorar propiedades como la resistencia y durabilidad de los suelos tratados (Rivera et al., 2020).
- c) **Suelos estabilizados:** Se refieren a suelos que han sido tratados con ciertos materiales o procesos para el mejoramiento de sus características físicas, mecánicas y durabilidad, haciéndolos más adecuados para aplicaciones de ingeniería (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).
- d) **Subrasante:** Superficie obtenida tras las labores de movimiento de tierras, ya sea por corte o relleno, sobre la cual se ejecuta la estructura del pavimento o se coloca el afirmado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).
- e) **Cemento portland:** Es un material producido al pulverizar el Clinker de portland y añadirle en su caso, yeso natural (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).
- f) **Aceite sulfonado:** El aceite sulfonado es un líquido que se disuelve en el agua, provocando su ionización e incrementando su conductividad, propiciando así el intercambio catiónico. Esto significa que las partículas de arcilla al desprenderse, convierte el agua en un líquido libre capaz de transferir cargas eléctricas con los cationes de la arcilla. Como resultado, neutraliza los cationes y reduce su capacidad de retener agua de forma permanente (Llano et al., 2020).
- g) **Estabilizador IONICSOIL:** Es un aditivo empleado en la estabilización química de suelos; es soluble en agua y resistente al calor. Su propósito principal es alterar las cargas



y reestructurar las partículas del suelo, otorgándoles así su resistencia, flexibilidad, dureza e impermeabilidad (Ficha Técnica IONICSOIL, 2017).

- h) **Cantera:** Es un recurso natural que proporciona material apto para su empleo en la construcción, rehabilitación, mejora y mantenimiento de carreteras. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).
- i) **Compactación:** Método manual o mecánico destinado a disminuir el volumen total de vacíos en los suelos, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).
- j) **CBR:** Utilizada para determinar la resistencia de los suelos mediante un índice llamado relación de soporte, obtenido en laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Esta medida es esencial para analizar la resistencia de subrasantes, subbases y materiales de base (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).
- k) **Diseño de experimentos:** Implica diseñar y llevar a cabo una secuencia de pruebas para conseguir datos que, al ser evaluados estadísticamente, brinden demostración objetiva para contestar las preguntas formuladas por el investigador sobre una situación específica (Gutiérrez y De La Vara, 2012).
- l) **Diseño factorial:** El diseño factorial llamado también factorial o experimento factorial, se basa en estudiar el efecto individual y todas las combinaciones posibles de los distintos niveles de factores evaluados (Gutiérrez y De La Vara, 2012).
- m) **Metodología de superficie de respuesta:** La MSR es una metodología experimental y analítica que facilita identificar las situaciones óptimas para un proceso, generando “valores óptimos” en una o varias características de la calidad del producto. La MSR comprende tres elementos clave: diseño, modelo y técnica de optimizar (Gutiérrez y De La Vara, 2012).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

##### **4.1.1 Tipo de investigación**

Según Ñaupas et al. (2018), el tipo de investigación es aplicada, dado que se orienta en un enfoque práctico, orientado a generar conocimientos y resolver problemas reales existentes en la sociedad; con la finalidad de encontrar soluciones adecuadas para satisfacer necesidades específicas mediante el uso de conocimientos científicos.

La presente investigación fue de tipo aplicada, tuvo como propósito mejorar las propiedades mecánicas y permeabilidad del suelo a través de la adición de aceite sulfonado IONICSOIL y cemento portland I, empleando la MSR a través de una representación geométrica. Esta necesidad surge debido a que la vía de estudio presenta un estado de deterioro, originado principalmente por la baja capacidad de soporte de la subrasante y la ausencia de un sistema de drenaje eficiente que controle adecuadamente las aguas pluviales. Como consecuencia, se observan deformaciones longitudinales y transversales, hundimientos diferenciales, acumulación permanente de agua (charcos) y erosión lateral de la plataforma. En este contexto, la aplicación combinada de aditivos químicos de carácter iónico y materiales cementantes, bajo la MSR, permitirá generar información técnica relevante para optimizar el CBR, la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad en la subrasante con material de cantera Huaycha, correspondiente a la red vial vecinal AP-768 Chalhuanca – Baños Termales Pincahuacho.

##### **4.1.2 Nivel de investigación**

Según Sanchez (2019), el nivel de investigación es explicativo, porque se centra en la influencia de la causa (variable independiente) sobre el efecto (variable dependiente), producto de la manipulación de los factores.

Según Ñaupas et al. (2018), el nivel de investigación explicativo se basa en entender la relación causa y efecto. Para el nivel de investigación explicativo, formular las



hipótesis es crucial ya que explica la influencia de las variables independientes sobre las variables dependientes a seguir en la investigación.

La presente investigación fue de nivel explicativo; porque se enfoca en explicar cómo la manipulación de los agentes químicos estabilizadores de carácter iónico y materiales cementantes afecta las propiedades mecánicas y permeabilidad. Empleando la MSR se determinó la combinación optima de aceite sulfonado IONICSOIL, que reduce los espacios intersticiales e incrementa la conductividad agua y cemento portland I que incrementa la resistencia y la durabilidad en la subrasante con material de cantera Huaycha de la red vial vecinal AP – 768 Chalhuanca – Baños Termales Pincahuacho.

#### **4.1.3 Enfoque de investigación**

Según Ñaupas et al. (2018), la investigación es de enfoque cuantitativo; porque se caracteriza en utilizar métodos, técnicas, como la observación, la medición de las unidades de análisis, el muestreo y el procesamiento de datos estadísticos. Además, se basa en la recopilación y análisis de datos, con la finalidad de responder las preguntas y contrastar las hipótesis planteadas; a través del análisis estadístico descriptivo o inferencial.

En la investigación, se inició con la observación directa del tramo de estudio. Seguidamente, Se recolectaron muestras del material proveniente de la cantera Huaycha con el fin de realizar los ensayos de laboratorio correspondientes; en base a los resultados del diseño central compuesto con las diferentes proporciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I, los datos serán analizados estadísticamente con la MSR y probar las hipótesis planteadas mediante las pruebas paramétricas como el ANOVA y MANOVA.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

Según Bernal (2016), el diseño de investigación experimental, es una secuencia planificada que radica en aplicar intencionalmente a un objeto o grupo de individuos distintos tratamientos, condiciones o estímulos en la variable independiente, con el propósito de analizar las recciones o efectos que causan en la variable dependiente”. La investigación experimental es explicativa.



Para Hernández et al. (2014), el diseño de investigación experimental, se caracteriza principalmente por la manipulación deliberada de la variable independiente, con la finalidad de analizar los efectos de dicha manipulación sobre la variable dependiente, en un entorno controlado.

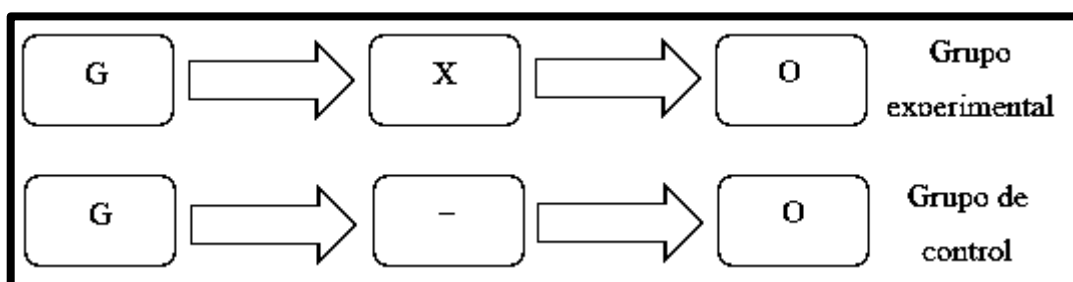
En esta investigación el diseño fue experimental, ya que se manipularon las variables independientes en distintos niveles de aceite sulfonado IONICSOIL (0.15 lt/m<sup>3</sup>, 0.20 lt/m<sup>3</sup>, 0.25 lt/m<sup>3</sup>, 0.30 lt/m<sup>3</sup> y 0.35 lt/m<sup>3</sup>) con cemento portland I (1.5 %, 2.0 %, 2.5 %, 3.0 % y 3.5 %) a través del diseño central compuesto. Con la implementación de la MSR se obtuvieron las proporciones óptimas de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I. Esta proporción optima nos permitió mejorar las propiedades mecánicas y permeabilidad en la subrasante con material de cantera Huaycha de la red vial vecinal AP – 768 Chalhuanca – Baños Termales Pincahuacho.

G = material de cantera Huaycha.

X = dosificación de aceite sulfonado con cemento portland I según al diseño central compuesto.

O = resultado de las dosificaciones.

- = no existe dosificación de aceite sulfonado con cemento portland I.



FUENTE: Hernández et al., 2014

**Figura 21 — Diseño de investigación experimental**

### 4.3 Descripción ética de la investigación

Según Domingo (2018), la investigación representa una de las éticas aplicadas más relevantes, pues su práctica implica responsabilidad cívica y solidaridad global. Lejos de limitarse a códigos normativos, busca reconstruir la dimensión vocacional y profesional de la investigación, clarificando sus fundamentos éticos y ofreciendo herramientas para identificar valores y buenas prácticas. Asimismo, promueve una reflexión sobre cómo la investigación, en sus distintas áreas, debe orientarse hacia la originalidad, la integridad y el compromiso con el bienestar común.

El código de ética de la Universidad Nacional Micaela Bastidas establece lineamientos obligatorios para todo estudiante que realice investigación en vínculo con la universidad, garantizando la originalidad, pertinencia y rigor científico que promueve el uso responsable de recursos, la protección de datos y el respeto a los participantes. Por lo que prohíbe el uso de malas prácticas como el plagio o la falsificación que regula investigaciones bajo criterios de bienestar, bioseguridad y respeto cultural (UNAMBA, 2018).

La investigación constituye un pilar fundamental para el avance del conocimiento y la mejora del bienestar social. En el ámbito académico, impulsa la generación de ideas novedosas e innovadoras y la investigación de soluciones a problemas complejos. En este escenario, se garantizó la veracidad de los datos, evitando el plagio mediante una correcta citación de fuentes, las actividades de campo se realizaron con la debida autorización, y en todo momento se actuó con responsabilidad, sin manipular la información.

### 4.4 Población y muestra

#### 4.4.1 Población

Para Gutiérrez y De La Vara (2012), la población o universo es la totalidad o colección de posibles individuos, objetos, especímenes, o parámetros relevantes sobre el cual se realiza un estudio.

Según Ñaupas et al. (2018), establecen la población como un conjunto de individuos, objetos o hechos con características similares, medibles y que forman la unidad de investigación.

La población elegida para la investigación estuvo compuesta por todos los elementos que presentan características significativas para el estudio, sobre el cual se pretende



conseguir información para alcanzar los objetivos planteados. La población está constituida por 24 combinaciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I con el material de cantera Huaycha de la red vial vecinal AP – 768 Chalhuanca – Baños termales Pincahuacho, obtenidas mediante el diseño central compuesto.

- **Criterio de inclusión:** En esta investigación, se incluyeron exclusivamente material proveniente de la cantera Huaycha, garantizando su trazabilidad; verificado mediante clasificación granulométrica, contenido de humedad y límites de Atterberg. Asimismo, se consideró únicamente el material con tamaño máximo de partícula y contenido de finos compatibles con la elaboración de probetas en moldes normalizados. Se emplearon exclusivamente las combinaciones definidas en el diseño central compuesto, incluyendo dos repeticiones por cada combinación, con dosificaciones precisas y registradas. Las probetas fueron elaboradas bajo control de humedad–densidad y curadas en pozas de saturación.
- **Criterios de exclusión:** Se excluyeron de la investigación todos los materiales que no provinieran de la cantera Huaycha o que carecieran de trazabilidad. También quedaron fuera las muestras con granulometría o tamaño de partícula que impidiera su compactación. No se consideraron aquellas que presentaran contaminación visible por materia orgánica, residuos o humedad anómala que alterara su representatividad; también, se excluyeron todas aquellas combinaciones que no provengan del diseño central compuesto.

#### 4.4.2 Muestra

Según Hernández et al. (2014), no en todas las investigaciones se emplea una muestra, aunque en la mayoría de casos los estudios suelen basarse en ella.

Gallardo (2017), señala que no toda investigación requiere una muestra; un ejemplo de ello es el censo, donde se consideran todos los elementos que conforman la población.

Para Ñaupas et al. (2018) la muestra constituye un subconjunto de la población que presenta características semejantes, lo que permite su análisis y la generalización de los resultados obtenidos a la totalidad de la población.



La muestra de la investigación, estuvo constituida por 24 combinaciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I con el material de cantera Huaycha de la red vial vecinal AP – 768 Chalhuanca – Baños Termales Pincahuacho; obtenidas mediante el diseño central compuesto, el cual incluye puntos al centro, puntos axiales y la porción factorial.

- **Puntos al centro:** Se realizaron 4 combinaciones de puntos al centro del diseño central compuesto, manteniendo sus niveles medios de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I, cada tratamiento fue replicado dos veces, obteniendo un total de 8 tratamientos experimentales.
- **Puntos axiales:** Se realizaron 4 combinaciones a los puntos axiales del diseño central compuesto, variando sus niveles extremos de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I, cada tratamiento fue replicado dos veces, obteniendo un total de 8 tratamientos experimentales.
- **Porción factorial:** Se realizaron 4 combinaciones de los niveles altos y bajos de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I, formando la matriz factorial  $2^2$ , cada tratamiento fue replicado dos veces, obteniendo un total de 8 tratamientos experimentales.

**Tabla 15 — Tratamientos de aceite sulfonado con cemento portland I**

| Nº de orden | Combinaciones | Aceite sulfonado IONICSOIL (lt/m <sup>3</sup> ) | Cemento portland I (%) | Puntos experimentales del diseño central compuesto |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 1           | C – 1         | 0.15                                            | 1.50                   | Porción factorial                                  |
| 2           | C – 2         | 0.15                                            | 3.50                   | Porción factorial                                  |
| 3           | C – 3         | 0.35                                            | 1.50                   | Porción factorial                                  |
| 4           | C – 4         | 0.35                                            | 3.50                   | Porción factorial                                  |
| 5           | C – 5         | 0.20                                            | 2.50                   | Punto axial                                        |
| 6           | C – 6         | 0.30                                            | 2.50                   | Punto axial                                        |
| 7           | C – 7         | 0.25                                            | 2.00                   | Punto axial                                        |
| 8           | C – 8         | 0.25                                            | 3.00                   | Punto axial                                        |

|                                                                                                                                                               |        |      |      |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------|-------------------|
| 9                                                                                                                                                             | C – 9  | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 10                                                                                                                                                            | C – 10 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 11                                                                                                                                                            | C – 11 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 12                                                                                                                                                            | C – 12 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 13                                                                                                                                                            | C – 13 | 0.15 | 1.50 | Porción factorial |
| 14                                                                                                                                                            | C – 14 | 0.15 | 3.50 | Porción factorial |
| 15                                                                                                                                                            | C – 15 | 0.35 | 1.50 | Porción factorial |
| 16                                                                                                                                                            | C – 16 | 0.35 | 3.50 | Porción factorial |
| 17                                                                                                                                                            | C – 17 | 0.20 | 2.50 | Punto axial       |
| 18                                                                                                                                                            | C – 18 | 0.30 | 2.50 | Punto axial       |
| 19                                                                                                                                                            | C – 19 | 0.25 | 2.00 | Punto axial       |
| 20                                                                                                                                                            | C – 20 | 0.25 | 3.00 | Punto axial       |
| 21                                                                                                                                                            | C – 21 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 22                                                                                                                                                            | C – 22 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 23                                                                                                                                                            | C – 23 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| 24                                                                                                                                                            | C – 24 | 0.25 | 2.50 | Punto al centro   |
| <p>NOTA</p> <p>De acuerdo a la tabla 15, para cada combinación se ejecutó una réplica adicional, obteniéndose un total de 24 tratamientos experimentales.</p> |        |      |      |                   |

El muestreo aplicado en la presente investigación fue no probabilístico, porque no está seleccionando muestras al azar de una población ni se está realizando uso de probabilidades, sino que las combinaciones experimentales son definidas de manera planificada por el diseño central compuesto.

El tipo de muestreo no probabilístico de la presente investigación fue intencional, porque las muestras fueron seleccionadas deliberadamente mediante un diseño central compuesto, el cual define combinaciones específicas de los factores de estudio, siendo coherente con el diseño experimental y los objetivos de la investigación.



#### 4.5 Procedimiento

El procedimiento planteado en la presente investigación muestra un diagrama de flujo para tener una visualización gráfica y secuencial de las actividades que se realizó.

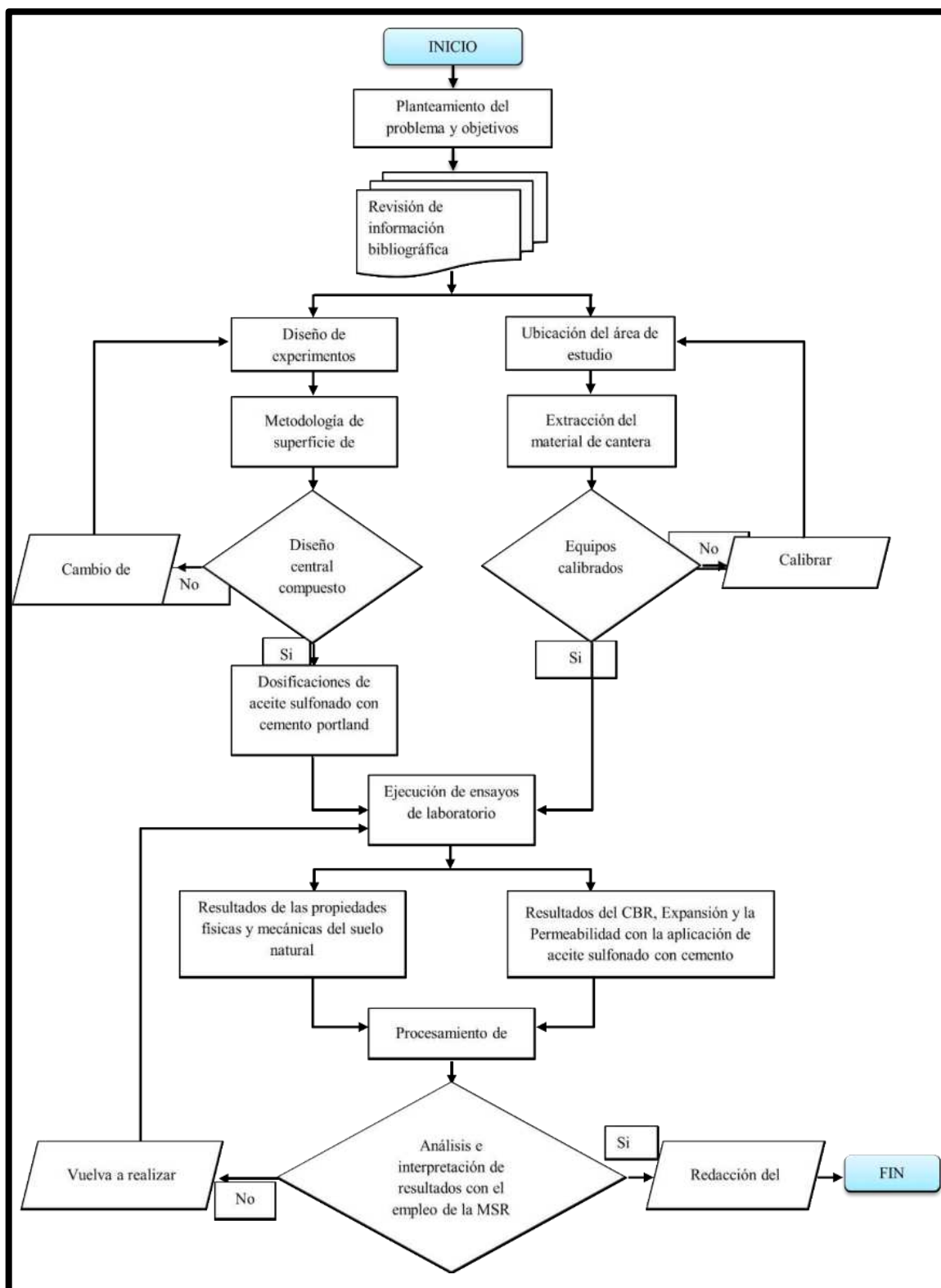


Figura 22 — Flujograma de investigación

## 4.6 Técnica e instrumentos

### 4.6.1 Técnicas de investigación

Para Carrasco (2019), la observación es un procedimiento organizado para adquirir, recopilar y anotar datos observables sobre un objeto, evento o suceso con el objetivo de analizarlos y transformarlos en información. Asimismo, la observación es el procedimiento deliberado que facilita recopilar información exacta y objetiva sobre los aspectos y propiedades de las unidades de análisis presentes en las variables e hipótesis de estudio.

- **Por el grado de manipulación de la variable: Observación experimental**

Se da cuando el comportamiento de la variable dependiente resulta de la influencia de la variable independiente, que han sido manipuladas deliberadamente por el investigador. Ambas variables bajo un control riguroso, lo que significa que el investigador genera el fenómeno de investigación (Carrasco, 2019).

- **Por el lugar donde se realiza: Observación en laboratorio**

Se lleve a cabo en un laboratorio con los respectivos equipos, instrumentos y medios necesarios debidamente acondicionados y coordinados (Carrasco, 2019).

Para la investigación se empleó la observación, siendo este un método usado ampliamente en el ámbito de la ingeniería. Como punto de partida, se llevó a cabo una verificación de campo con el propósito de observar, registrar y verificar de manera detallada las condiciones geotécnicas y el estado actual del tramo en estudio, identificando características del terreno, manifestaciones de deterioro y factores que puedan influir en su comportamiento mecánico y permeable. En cuanto a la observación experimental, la variable independiente (aceite sulfonado con cemento portland I) ha sido manipulado deliberadamente mediante el diseño central compuesto para observar el comportamiento en la variable dependiente (propiedades mecánicas y permeabilidad). En relación a la observación en laboratorio se realizaron ensayos para caracterizar el suelo, lo que permitió obtener información precisa sobre sus propiedades mecánicas y permeables, comprender su comportamiento y sustentar la etapa experimental de la investigación.



#### 4.6.2 Instrumentos de investigación

Según Ñaupas et al. (2018), los instrumentos de investigación son herramientas o materiales; por medio de las cuales se recolectan datos e informaciones en función de las hipótesis y factores de investigación.

A lo largo del desarrollo de la investigación, se empleó fichas y formatos como instrumentos, que nos permitió el registro de los ensayos que se ejecutaron y de esta manera nos facilitó llevar el control de datos obtenidos de los ensayos. A continuación, se detallan las fichas y formatos utilizados:

- Formato para registrar el CBR y expansión volumétrica estructurado en base a la norma NTP 339.145 / MTC E – 132 / ASTM D-1883.
- Formato para registrar el coeficiente de permeabilidad estructurado en base a la norma ASTM D 5084.
- Ficha de dosificación de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I.

- **Validación del instrumento**

Para Carrasco (2019), en términos generales, la validez de los instrumentos de investigación se basa en medir con precisión, objetividad, autenticidad y credibilidad la variable que se pretenda medir. En términos más sencillos, los instrumentos son aceptables cuando mide lo que se debe medir.

La precisión de los instrumentos es validada por expertos de especialidad, apoyados por el responsable del laboratorio LUNIX INGENIEROS S.R.L. A continuación, se detallan los expertos que validan los instrumentos:

**Tabla 16 — Juicio de expertos**

| Nombre y apellido               | Grado    | Especialidad    |
|---------------------------------|----------|-----------------|
| Wilson Mollocondo Flores        | Doctor   | Estadístico     |
| José Abdón Sotomayor Chahuaylla | Doctor   | Metodólogo      |
| Rómulo Gómez Noblega            | Magister | Ingeniero Civil |
| Danilo Saavedra Oré             | Magister | Ingeniero Civil |
| Noel Molina Navarrete           | Magister | Ingeniero Civil |

En la validación del instrumento, se empleó la sumatoria de calificaciones según la escala de Likert que consta de 5 categorías de respuesta (1, 2, 3, 4 y 5), siendo: “1 deficiente”, “2 regular”, “3 bueno”, “4 muy bueno” y finalmente “5 excelente”. La aplicación del Coeficiente de Validez de Contenido (CVC) es para ponderar la legitimidad del instrumento a través del juicio de expertos; por medio de la puntuación de cada ítem y que el puntaje mínimo asignado sea 3 y el máximo puntaje sea 5. Por otro lado, recomienda que el valor del CVC de cada ítem sea como mínimo 0.80, en caso que se presente un ítem menor que 0.80 será retirado de la validez (Hernández, 2002).

**- Fórmula N° 23:**

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^n Exp.}{V_x} \quad (23)$$

donde

$M_x$                       valor máximo de los expertos  
 $\sum_{i=1}^n Exp.$             sumatoria de puntaje de los expertos por ítem  
 $V_x$                       valor máximo del ítem

**- Fórmula N° 24:**

$$CVC_i = \frac{M_x}{j} \quad (24)$$

donde

$CVC_i$                   coeficiente de validez de contenido de cada ítem  
 $j$                         número de expertos



- **Fórmula N° 25:**

$$Pe_i = \left(\frac{1}{j}\right)^j \quad (25)$$

donde

$Pe_i$  probabilidad de error de cada ítem

- **Fórmula N° 26:**

$$CVC_{tc} = CVC_i - Pe_i \quad (26)$$

donde

$CVC_{tc}$  coeficiente de validez de contenido corregido de cada ítem

- **Fórmula N° 27:**

$$CVC = \frac{\sum_1^n CVC_{tc}}{n} \quad (27)$$

donde

$CVC$  coeficiente de validez de contenido del instrumento

$n$  número de ítems

**Tabla 17 — Coeficiente de validez de contenido del instrumento**

| Encuestados                         | Ítem         |         |         |
|-------------------------------------|--------------|---------|---------|
|                                     | Ítem 01      | Ítem 02 | Ítem 03 |
| Dr. Wilson Mollocondo Flores        | 13           | 13      | 17      |
| Dr. José Abdón Sotomayor Chahuaylla | 13           | 14      | 16      |
| Mg. Rómulo Gómez Noblega            | 12           | 11      | 15      |
| Mg. Danilo Saavedra Oré             | 11           | 13      | 16      |
| Mg. Noel Molina Navarrete           | 10           | 11      | 14      |
| $\sum Exp.$                         | 59           | 62      | 78      |
| $M_x$                               | 4.538        | 4.429   | 4.588   |
| $CVC_i$                             | 0.908        | 0.886   | 0.918   |
| $Pe_i$                              | 0.00032      | 0.00032 | 0.00032 |
| $CVC_{tc}$                          | 0.907        | 0.885   | 0.917   |
| <b><math>CVC</math></b>             | <b>0.903</b> |         |         |

**Tabla 18 — Interpretación del coeficiente de validez de contenido**

| Valor del CVC           | Interpretación de la validez |
|-------------------------|------------------------------|
| $CVC \leq 0.60$         | Inaceptable                  |
| $0.60 < CVC \leq 0.70$  | Deficiente                   |
| $0.70 < CVC \leq 0.80$  | Aceptable                    |
| $0.80 < CVC \leq 0.90$  | Buena                        |
| $0.90 < CVC \leq 1.00$  | Excelente                    |
| FUENTE: Hernández, 2011 |                              |

Se obtuvo un Coeficiente de Validez de Contenido de 0.903; al compararlo con la Tabla 18, se determinó que este valor se encuentra en el rango de validez excelente, de acuerdo con la evaluación realizada por los cinco especialistas encuestados.

- **Confiabilidad**

La confiabilidad del instrumento hace refiere a su capacidad para generar resultados consistentes y estables (Hernández et al., 2014). Para evaluar la confiabilidad de nuestro instrumento de recolección de datos se empleó el Alfa de Cronbach, a partir de la ponderación del juicio de expertos que está conformado por 5 especialistas, como se menciona en la Tabla 16.

- **Fórmula N° 28:**

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{S_T^2} \right] \quad (28)$$

donde

$\alpha$  Alfa de Cronbach

$k$  número de ítems

$\sum_{i=1}^n S_i^2$  sumatoria de varianzas de los ítems

$S_T^2$  varianza de la suma de ítems

**Tabla 19 — Determinación de la confiabilidad del instrumento**

| Encuestados              | Ítem 1 | Ítem 2 | Ítem 3 | Ítem 4 | Ítem 5 | Ítem 6 | Ítem 7 | Ítem 8 | Ítem 9 | Ítem 10 | Suma |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|------|
| Dr. Wilson Mollocondo    | 4      | 5      | 4      | 4      | 4      | 5      | 5      | 4      | 4      | 4       | 43   |
| Dr. José Abdón Sotomayor | 4      | 4      | 5      | 5      | 4      | 5      | 4      | 4      | 4      | 4       | 43   |
| Mg. Rómulo Gómez         | 4      | 4      | 4      | 3      | 4      | 4      | 4      | 3      | 4      | 4       | 38   |



|                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mg. Danilo Saavedra  | 4    | 4    | 3    | 5    | 4    | 4    | 3    | 5    | 4    | 4    | 40   |
| Mg. Noel Molina      | 3    | 4    | 3    | 4    | 3    | 4    | 4    | 4    | 3    | 3    | 35   |
| $S_i^2$              | 0.16 | 0.16 | 0.56 | 0.56 | 0.16 | 0.24 | 0.40 | 0.40 | 0.16 | 0.16 | 2.96 |
| $\sum_{i=1}^n S_i^2$ | 2.96 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $S_T^2$              | 9.36 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Remplazando datos en la ecuación 28.

$$\alpha = \frac{10}{10 - 1} \left[ 1 - \frac{2.96}{9.36} \right] \rightarrow \alpha = 0.76$$

**Tabla 20 — Interpretación de la confiabilidad del instrumento**

| Rango de $\alpha$               | Confiabilidad |
|---------------------------------|---------------|
| $\alpha \leq 0.20$              | Muy Baja      |
| $0.20 < \alpha \leq 0.40$       | Baja          |
| $0.40 < \alpha \leq 0.60$       | Media         |
| $0.60 < \alpha \leq 0.80$       | Alta          |
| $0.80 < \alpha \leq 1.00$       | Muy Alta      |
| FUENTE: Palella y Martins, 2012 |               |

Se obtuvo un coeficiente Alfa de Cronbach  $\alpha = 0.76$ ; al compararlo con la Tabla 20, se determinó que la confiabilidad del instrumento es alta, de acuerdo con la evaluación realizada por cinco especialistas encuestados.

#### 4.7 Análisis estadístico

Según Hernández et al. (2014), se trata de un procedimiento para analizar cómo dos o más variables independientes influyen a una variable dependiente, que es útil para estimar el valor de la variable dependiente observando cómo influye las variables independientes incorporadas en el análisis.

Para Gutiérrez y De La Vara (2012), en su libro análisis y diseño de experimentos afirma que; en el análisis de regresión múltiple, se utilizan varios criterios y procedimientos para efectuar la prueba de hipótesis. Estos se centran en evaluar si las variables independientes afectan significativamente a la variable dependiente desde el punto de vista estadístico.

#### 4.7.1 Estadística descriptiva

Es una disciplina basada en la Matemática que ofrece métodos para obtener, recolectar, procesar, resumir y presentar datos relacionados con un estudio específico, con el objetivo de analizarlos e interpretarlos para llegar a conclusiones válidas, garantizando la idoneidad de los procedimientos utilizados. Además, propone técnicas que permiten inferir características de una población a partir del análisis de muestras (Rustom, 2012).

##### a) Media

La media aritmética es la medida de tendencia central más empleada y se obtiene dividiendo la suma de todos los valores de una variable entre el número total de datos, considerando en dicha suma el producto de cada valor por su frecuencia absoluta (Rey y Ramil, 2007).

- **Fórmula N° 29:**

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (29)$$

donde

|           |                   |
|-----------|-------------------|
| $\bar{x}$ | media             |
| $x_n$     | enésima muestra   |
| $n$       | tamaño de muestra |

##### b) Mediana

La mediana es una medida de tendencia central que señala el valor medio dentro de un conjunto de datos ordenados. En otras palabras, divide la distribución de modo que el 50 % de los valores quedan por debajo y el otro 50 % por encima. Para determinarla, es fundamental que los datos estén dispuestos de menor a mayor o viceversa (Rustom, 2012).

##### c) Varianza $S^2$

La varianza es una forma de analizar la variabilidad de los datos. Se basa en los desvíos de cada valor con respecto a la media aritmética, y existen fórmulas prácticas que permiten calcularla. Esta medida se ajusta muy bien al uso conjunto



con la media, especialmente cuando los datos siguen una distribución normal (Rustom, 2012).

• **Fórmula N° 30:**

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (30)$$

donde

|           |                   |
|-----------|-------------------|
| $S^2$     | varianza          |
| $\bar{x}$ | media             |
| $N$       | tamaño de muestra |

**d) Desviación estándar S**

La desviación estándar es una medida estadística que describe el grado de variabilidad de un conjunto de datos en relación con su media, indicando el alejamiento promedio de los valores respecto a ella. Su cálculo se realiza extrayendo la raíz cuadrada positiva de la varianza (Saldaña et al., 2024).

• **Fórmula N° 31:**

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (31)$$

donde

|           |                     |
|-----------|---------------------|
| $S$       | desviación estándar |
| $\bar{x}$ | media               |
| $n$       | tamaño de muestra   |
| $n - 1$   | grados de libertad  |

**4.7.2 Estadística inferencial**

La estadística inferencial es una rama de la estadística orientada a los procesos de estimación, ya sea puntual o por intervalos, así como al análisis y la contrastación de hipótesis. Cuyo objetivo es obtener conclusiones con fundamento científico que sirvan de fundamento para la toma de decisiones, utilizando la información proveniente de una muestra. En este sentido, se encarga del análisis e interpretación de resultados con el propósito de extrapolarlos a la población de interés. No obstante,

la validez de esta generalización está sujeta a un margen de incertidumbre, dado que los elementos de la muestra se eligen mediante procedimientos de muestreo probabilístico (Acosta et al., 2014).

La estadística inferencial permite extrapolar los resultados adquiridos de la muestra hacia la población de la que proviene. Su aplicación incluye la verificación de hipótesis y la estimación de parámetros poblacionales, fundamentándose en el principio de la distribución muestral (Hernández et al., 2014).

#### **a) Prueba de normalidad**

De acuerdo con Gutiérrez y De La Vara (2012), es un método gráfico para evaluar si los residuos cumplen con el supuesto de normalidad; consiste en representarlos mediante gráficas que ofrecen la mayoría de programas estadísticos. Este tipo de representación X-Y está diseñada de forma que, si los residuos presentan una distribución normal, los puntos se aproximarán a una línea recta. En cambio, una desviación evidente de esta alineación indica que el supuesto de normalidad no se cumple. Es importante destacar que no se requiere un ajuste perfecto de los puntos a la recta, ya que el análisis de varianza puede tolerar desviaciones leves o moderadas respecto a la normalidad.

##### **• Prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad**

Según Gutiérrez y De La Vara (2012), La prueba de Shapiro-Wilk se utiliza para evaluar si un conjunto de datos se ajusta a una distribución normal. Establece como hipótesis nula que los datos se ajustan a una distribución normal y como hipótesis alternativa que no cumplen con dicha condición. El procedimiento a seguir es:

- Ordenar los datos de menor a mayor.
- Obtener los coeficientes correspondientes a partir de tablas.
- Calcular el estadístico W mediante una fórmula que relaciona estos coeficientes con las diferencias entre pares de valores simétricos en el ordenamiento, y que incluye la varianza muestral.

- Comparar el valor obtenido con el valor crítico  $\alpha$  para el nivel de significancia elegido. Si el estadístico excede dicho valor crítico, se establece que los datos no cumplen el supuesto de normalidad.

La verificación de la normalidad en una población requiere seguir un conjunto de criterios, los cuales se describen a continuación.

- Se establecen las hipótesis para probar la normalidad.
  - $H_0$  : la variable analizada sigue una distribución normal
  - $H_a$ : la variable analizada no sigue una distribución normal.
- El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .
- Para evaluar el cumplimiento del supuesto de normalidad en muestras con menos de 50 observaciones, se recurre a la prueba de Shapiro-Wilk.
- Criterio de decisión.
  - Si  $P \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$  (se concluye que la distribución es normal)
  - Si  $P < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  (se concluye que la distribución es no normal).

Dado que los 24 tratamientos constituyen un número menor a 50 observaciones, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , a fin de verificar la normalidad de los datos antes de proceder con el análisis estadístico correspondiente.

#### **b) Análisis de varianza**

El ANOVA es una técnica estadística utilizada para comparar más de dos tratamientos o condiciones cuando se analiza uno o más factores. Su propósito es determinar si existen diferencias significativas entre las medias poblacionales de los grupos evaluados. En lugar de aplicar múltiples pruebas t-Student (lo que aumentaría el error tipo I), ANOVA permite evaluar la igualdad de medias con un solo estadístico. Este método es especialmente útil en experimentos con tres o más tratamiento (Gutiérrez y De La Vara, 2012).



- **Análisis de varianza de dos factores**

Según Jurado (2017), el análisis de varianza de dos factores se utiliza cuando la población bajo estudio se encuentra clasificada o definida por dos variables o factores, y se cumple que las poblaciones presentan distribución normal con varianzas similares. Este procedimiento puede desarrollarse mediante dos enfoques principales, los cuales se describen a continuación.

- **Modelo aditivo**

El modelo aditivo en ANOVA se usa cuando los factores afectan la respuesta de forma independiente, sin interacción entre ellos. Si solo hay una observación por combinación de factores, no es posible evaluar la interacción. En ese caso, se analizan los efectos de cada factor por separado (Jurado, 2017).

- **Modelo con interacción**

Este método no solo permite examinar las poblaciones de manera independiente para cada factor, sino que también evalúa la interacción entre dichos factores dentro de la población. En este caso, cada celda de datos contiene más de una observación, lo que implica la existencia de iteraciones o repeticiones (Jurado, 2017).

- Se establece la hipótesis de ANOVA

- $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$
- $H_a : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j$

- El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

- Para comprobar la hipótesis, se recurre al análisis de varianza de dos factores.

- Criterio de decisión.

- Si  $p\text{-valor} \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$
- Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza  $H_0$

### c) Análisis de regresión lineal múltiple

De acuerdo a Acosta et al. (2014), el análisis de regresión múltiple se centra en examinar cómo una variable dependiente se asocia con dos o más variables independientes, permitiendo así evaluar el efecto conjunto de estos factores sobre la variable de interés y entender mejor su comportamiento en diferentes condiciones.

Según Gutiérrez y De La Vara (2012), en numerosos casos prácticos se presentan múltiples variables independientes o regresoras  $X_1, X_2, \dots, X_k$  que pueden influir o estar asociadas a una variable dependiente  $Y$ ; por ello, es fundamental considerarlas si se desea predecir o comprender con mayor precisión el comportamiento de  $Y$ . Es común que en la práctica se necesiten modelos de orden superior para describir con mayor precisión el comportamiento de  $Y$  en relación con las variables independientes.

- **Fórmula N° 32:**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \varepsilon \quad (32)$$

donde

$\beta_j$       coeficientes de regresión

$\varepsilon$       error aleatorio

- **Prueba de hipótesis en regresión lineal múltiple**

Para Montgomery (2016), en la regresión lineal múltiple, las pruebas de hipótesis sobre los parámetros ayudan a evaluar la utilidad del modelo, asumiendo que los errores son normales, independientes, con media cero y varianza constante.

Citando a Gutiérrez y De La Vara (2012), la principal hipótesis general en un modelo de regresión múltiple consiste en determinar si la regresión resulta estadísticamente significativa. Lo cual se verifica mediante la contrastación de la siguiente hipótesis:



- Se establece la hipótesis de regresión lineal múltiple.
  - $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n = 0$
  - $H_a : \beta_j \neq 0 \text{ para } j = 1, 2, 3, \dots k$

Aceptar la hipótesis nula  $H_0$  implica que ninguna de las variables incluidas en el modelo aporta de forma significativa a la variable dependiente Y. Por el contrario, rechazar  $H_0$  indica que al menos una de las variables del modelo sí ejerce una influencia significativa en la variable dependiente Y.

- El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .
- Criterio de decisión.
  - Si  $p\text{-valor} \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$
  - Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza  $H_0$

La investigación utilizó herramientas estadísticas tanto descriptivas como inferenciales, pertenecientes al enfoque cuantitativo, con el fin de analizar y modelar el efecto de las diferentes combinaciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad del suelo. Para contrastar la hipótesis general se aplicó un análisis multivariado de varianza (MANOVA), mientras que para las hipótesis específicas se utilizó un análisis de varianza de dos factores (ANOVA) con modelo de interacción, a fin de determinar la significancia estadística de los efectos principales, cuadráticos e interactivos de los factores. Este enfoque permitió ajustar el modelo cuadrático de segundo orden para cada variable dependiente, resultando idóneo para caracterizar comportamientos no lineales y evaluar la respuesta del suelo frente a variaciones simultáneas en los niveles de los factores estudiados.

En consecuencia, para cada variable de respuesta se aplicó la MSR para determinar el punto óptimo de tratamiento que permitió maximizar el CBR, reducir la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad, logrando así un equilibrio técnico entre todas las variables de desempeño del suelo mejorado.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Análisis de resultados descriptivos

A continuación, se presentan los resultados de la investigación:

##### 5.1.1 Resultado del objetivo general

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

**Tabla 21 — Resultados de propiedades mecánicas y permeabilidad**

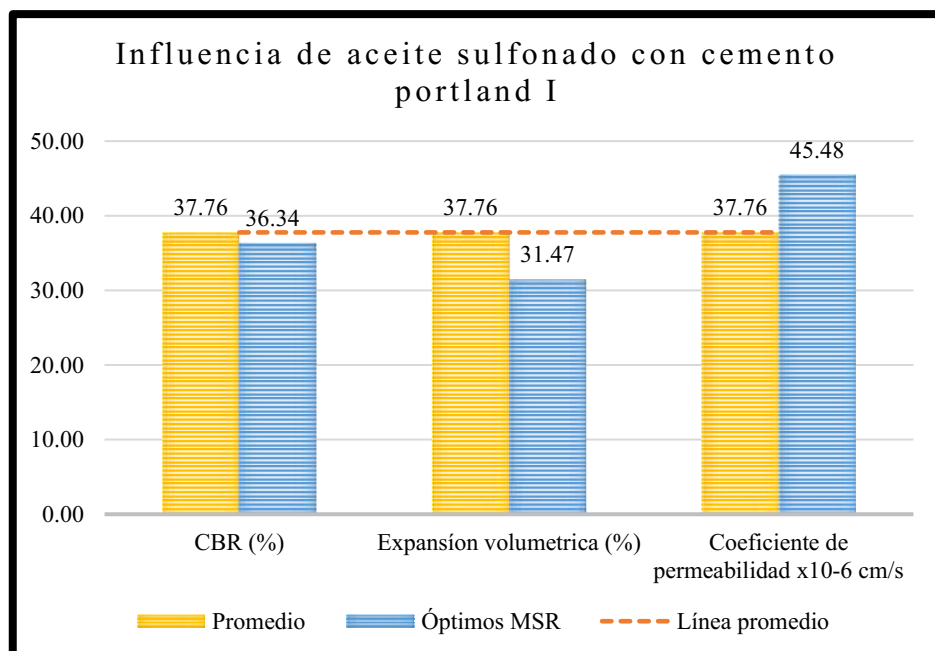
| Nº de orden | Combinaciones | Aceite sulfonado IONICSOIL (lt/m <sup>3</sup> ) | Cemento portland I (%) | CBR (%) | Expansión volumétrica (%) | Coefficiente de permeabilidad 1x10 <sup>-6</sup> (cm/s) |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------|---------|---------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1           | Patrón 01     | 0.00                                            | 0.00                   | 2.80    | 2.319                     | 55.72                                                   |
| 2           | Patrón 02     | 0.00                                            | 0.00                   | 3.30    | 2.465                     | 55.76                                                   |
| 3           | C – 1         | 0.15                                            | 1.50                   | 78.50   | 0.650                     | 7.484                                                   |
| 4           | C – 2         | 0.15                                            | 3.50                   | 80.00   | 0.580                     | 7.125                                                   |
| 5           | C – 3         | 0.35                                            | 1.50                   | 83.90   | 0.530                     | 6.677                                                   |
| 6           | C – 4         | 0.35                                            | 3.50                   | 105.10  | 0.370                     | 4.662                                                   |
| 7           | C – 5         | 0.20                                            | 2.50                   | 102.80  | 0.320                     | 4.032                                                   |
| 8           | C – 6         | 0.30                                            | 2.50                   | 105.60  | 0.255                     | 3.212                                                   |
| 9           | C – 7         | 0.25                                            | 2.00                   | 100.70  | 0.205                     | 2.584                                                   |
| 10          | C – 8         | 0.25                                            | 3.00                   | 98.70   | 0.165                     | 2.250                                                   |
| 11          | C – 9         | 0.25                                            | 2.50                   | 110.40  | 0.118                     | 1.601                                                   |
| 12          | C – 10        | 0.25                                            | 2.50                   | 115.10  | 0.123                     | 1.566                                                   |
| 13          | C – 11        | 0.25                                            | 2.50                   | 117.80  | 0.112                     | 1.585                                                   |
| 14          | C – 12        | 0.25                                            | 2.50                   | 115.00  | 0.132                     | 1.668                                                   |
| 15          | C – 13        | 0.15                                            | 1.50                   | 78.90   | 0.650                     | 7.483                                                   |
| 16          | C – 14        | 0.15                                            | 3.50                   | 81.40   | 0.580                     | 7.124                                                   |
| 17          | C – 15        | 0.35                                            | 1.50 %                 | 85.10   | 0.530                     | 6.680                                                   |



|                                                       |        |      |        |        |       |       |
|-------------------------------------------------------|--------|------|--------|--------|-------|-------|
| 18                                                    | C – 16 | 0.35 | 3.50 % | 105.30 | 0.370 | 4.661 |
| 19                                                    | C – 17 | 0.20 | 2.50 % | 101.60 | 0.320 | 4.031 |
| 20                                                    | C – 18 | 0.30 | 2.50 % | 104.50 | 0.255 | 3.211 |
| 21                                                    | C – 19 | 0.25 | 2.00 % | 102.90 | 0.205 | 2.583 |
| 22                                                    | C – 20 | 0.25 | 3.00 % | 99.10  | 0.165 | 2.249 |
| 23                                                    | C – 21 | 0.25 | 2.50 % | 114.20 | 0.118 | 1.600 |
| 24                                                    | C – 22 | 0.25 | 2.50 % | 116.30 | 0.123 | 1.568 |
| 25                                                    | C – 23 | 0.25 | 2.50 % | 117.40 | 0.112 | 1.586 |
| 26                                                    | C – 24 | 0.25 | 2.50 % | 121.50 | 0.132 | 1.665 |
| Promedio del patrón                                   |        |      |        | 3.05   | 2.392 | 55.74 |
| Óptimo (MSR)                                          |        |      |        | 113.90 | 0.076 | 1.215 |
| Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I |        |      |        | 36.34  | 31.47 | 45.48 |
| Promedio de influencia total                          |        |      |        | 37.76  |       |       |

**NOTA**

El análisis comparativo muestra que el valor óptimo calculado mediante la MSR en los tratamientos de CBR, expansión volumétrica y coeficiente de permeabilidad respecto al patrón, presenta un promedio de influencia total de 37.76 veces mayor al suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento, lo cual confirmó la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad.



**NOTA**

La representación gráfica permite visualizar el promedio general de las tres variables que alcanzó 37.76 veces mayor respecto al material patrón, mientras que los valores óptimos

obtenidos con la MSR fueron: CBR 36.34 veces mayor, la expansión volumétrica 31.47 veces mayor y el coeficiente de permeabilidad 45.48 veces mayor del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento, estos resultados evidencian la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la propiedades mecánicas y permeabilidad.

**Figura 23 — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I**

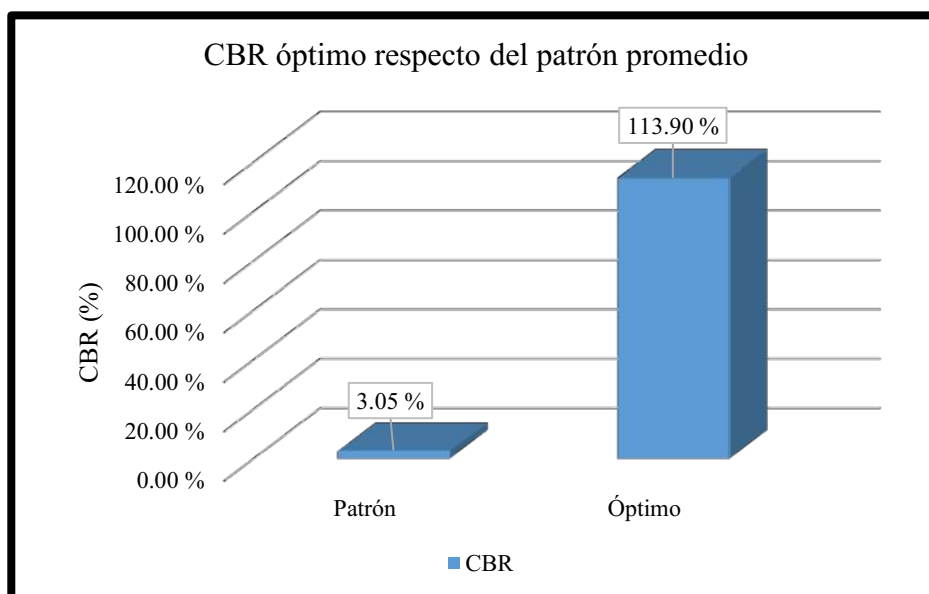
### 5.1.2 Resultado del objetivo específico 1

El presente estudio tuvo como objetivo específico 1, analizar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

**Tabla 22 — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR del material de cantera Huaycha**

| Nº de orden | Combinaciones | Aceite sulfonado IONICSOIL (lt/m <sup>3</sup> ) | Cemento portland tipo I (%) | CBR (%) |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|-----------------------------|---------|
| 1           | Patrón 01     | 0.00                                            | 0.00                        | 2.80    |
| 2           | Patrón 02     | 0.00                                            | 0.00                        | 3.30    |
| 3           | C – 1         | 0.15                                            | 1.50                        | 78.50   |
| 4           | C – 2         | 0.15                                            | 3.50                        | 80.00   |
| 5           | C – 3         | 0.35                                            | 1.50                        | 83.90   |
| 6           | C – 4         | 0.35                                            | 3.50                        | 105.10  |
| 7           | C – 5         | 0.20                                            | 2.50                        | 102.80  |
| 8           | C – 6         | 0.30                                            | 2.50                        | 105.60  |
| 9           | C – 7         | 0.25                                            | 2.00                        | 100.70  |
| 10          | C – 8         | 0.25                                            | 3.00                        | 98.70   |
| 11          | C – 9         | 0.25                                            | 2.50                        | 110.40  |
| 12          | C – 10        | 0.25                                            | 2.50                        | 115.10  |
| 13          | C – 11        | 0.25                                            | 2.50                        | 117.80  |
| 14          | C – 12        | 0.25                                            | 2.50                        | 115.00  |
| 15          | C – 13        | 0.15                                            | 1.50                        | 78.90   |
| 16          | C – 14        | 0.15                                            | 3.50                        | 81.40   |
| 17          | C – 15        | 0.35                                            | 1.50                        | 85.10   |
| 18          | C – 16        | 0.35                                            | 3.50                        | 105.30  |
| 19          | C – 17        | 0.20                                            | 2.50                        | 101.60  |
| 20          | C – 18        | 0.30                                            | 2.50                        | 104.50  |
| 21          | C – 19        | 0.25                                            | 2.00                        | 102.90  |

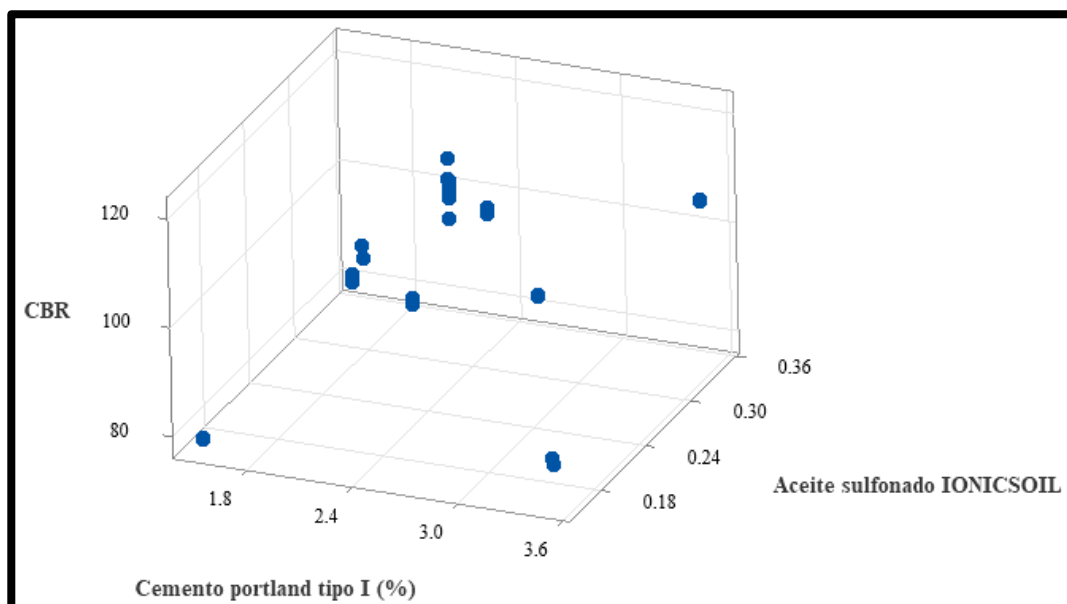
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |      |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------|--------|
| 22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | C – 20 | 0.25 | 3.00 | 99.10  |
| 23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | C – 21 | 0.25 | 2.50 | 114.20 |
| 24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | C – 22 | 0.25 | 2.50 | 116.30 |
| 25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | C – 23 | 0.25 | 2.50 | 117.40 |
| 26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | C – 24 | 0.25 | 2.50 | 121.50 |
| Promedio de CBR patrón                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |      |      | 3.05   |
| CBR óptimo (MSR)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |      |      | 113.90 |
| Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |      | 36.34  |
| <p>NOTA</p> <p>El análisis comparativo muestra que el CBR óptimo (113.90 %) obtenido mediante la aplicación de la MSR respecto al promedio CBR patrón (3.05 %), presenta un promedio de influencia de 36.34 veces mayor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento, lo cual confirma la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en incrementar el CBR.</p> |        |      |      |        |



**NOTA**

La representación gráfica permite visualizar la marcada diferencia entre el CBR patrón promedio (3.05 %) y el CBR óptimo (113.90 %). Esto indica que el suelo tratado presenta un CBR de 36.34 veces mayor respecto al material patrón. Lo que evidencia la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el incremento de la resistencia del material.

**Figura 24 — Influencia del CBR óptimo respecto del CBR patrón**



#### NOTA

La comparación tridimensional del CBR patrón y tratamientos evidenciaron un incremento significativo del suelo tratado en comparación con el CBR patrón promedio (3.05 %), alcanzando valores entre 78.5 % y 121.5 %; este aumento representa una mejora de 25.74 veces en el valor mínimo y 39.84 veces en el valor máximo respecto al suelo natural. Estos resultados demuestran que la influencia de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I influye en el CBR del suelo de la cantera Huaycha.

**Figura 25 — Análisis tridimensional de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I del CBR**

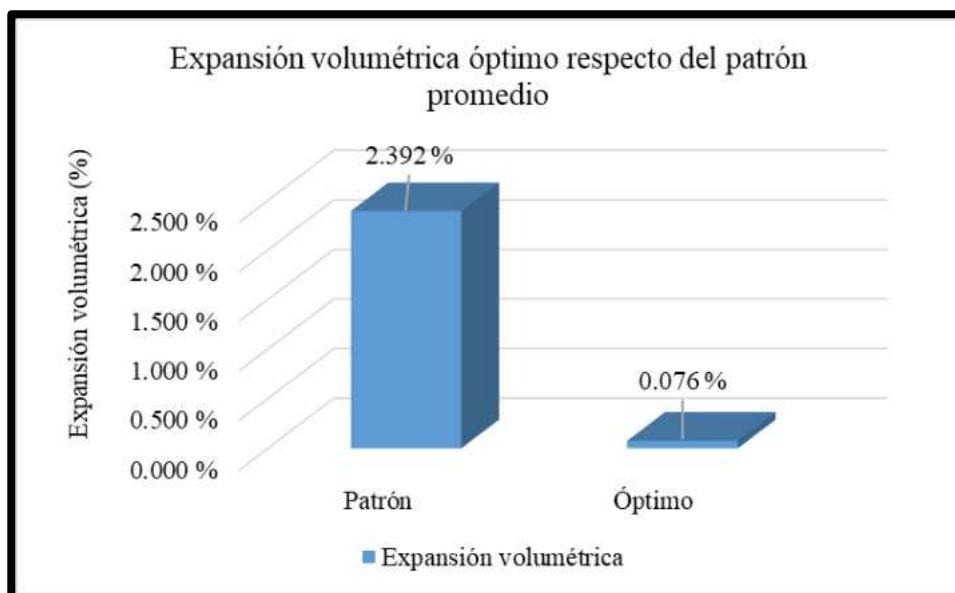
#### 5.1.3 Resultado del objetivo específico 2

El presente estudio tuvo como objetivo específico 2, analizar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

**Tabla 23 — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica del material de cantera Huaycha**

| Nº de orden | Combinaciones | Aceite sulfonado IONICSOIL (lt/m <sup>3</sup> ) | Cemento portland I (%) | Expansión volumétrica (%) |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| 1           | Patrón 01     | 0.00                                            | 0.00                   | 2.319                     |
| 2           | Patrón 02     | 0.00                                            | 0.00                   | 2.465                     |
| 3           | C – 1         | 0.15                                            | 1.50                   | 0.650                     |

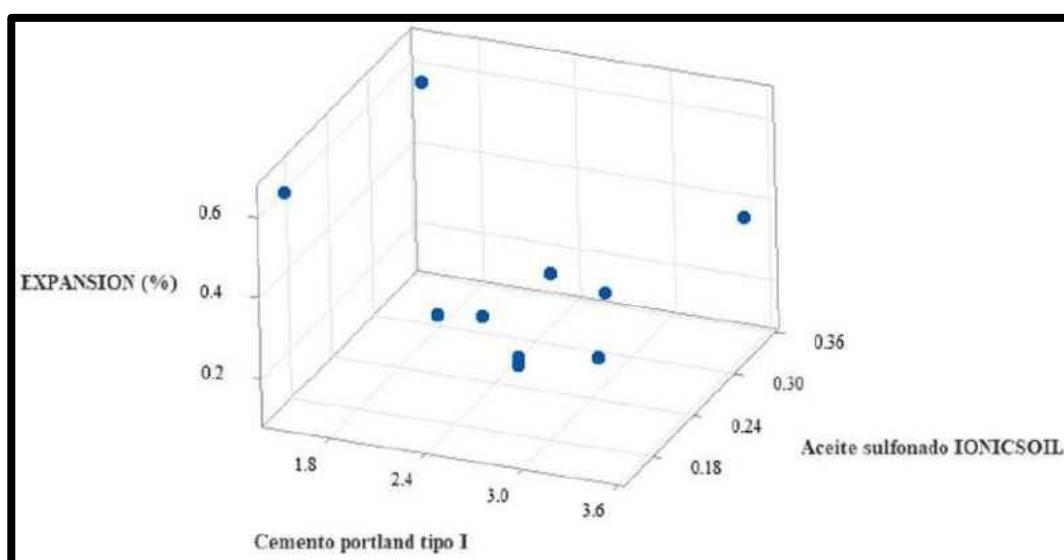
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |      |      |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------|-------|
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 2  | 0.15 | 3.50 | 0.580 |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 3  | 0.35 | 1.50 | 0.530 |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 4  | 0.35 | 3.50 | 0.370 |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 5  | 0.20 | 2.50 | 0.320 |
| 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 6  | 0.30 | 2.50 | 0.255 |
| 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 7  | 0.25 | 2.00 | 0.205 |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 8  | 0.25 | 3.00 | 0.165 |
| 11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 9  | 0.25 | 2.50 | 0.118 |
| 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 10 | 0.25 | 2.50 | 0.123 |
| 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 11 | 0.25 | 2.50 | 0.112 |
| 14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 12 | 0.25 | 2.50 | 0.132 |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 13 | 0.15 | 1.50 | 0.650 |
| 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 14 | 0.15 | 3.50 | 0.580 |
| 17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 15 | 0.35 | 1.50 | 0.530 |
| 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 16 | 0.35 | 3.50 | 0.370 |
| 19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 17 | 0.20 | 2.50 | 0.320 |
| 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 18 | 0.30 | 2.50 | 0.255 |
| 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 19 | 0.25 | 2.00 | 0.205 |
| 22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 20 | 0.25 | 3.00 | 0.165 |
| 23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 21 | 0.25 | 2.50 | 0.118 |
| 24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 22 | 0.25 | 2.50 | 0.123 |
| 25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 23 | 0.25 | 2.50 | 0.112 |
| 26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | C – 24 | 0.25 | 2.50 | 0.132 |
| Promedio de expansión volumétrica patrón                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |      |      | 2.392 |
| Expansión volumétrica óptimo (MSR)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |        |      |      | 0.076 |
| Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |      |      | 31.47 |
| <p>NOTA</p> <p>El análisis comparativo muestra que la expansión volumétrica óptimo (0.076 %) obtenido mediante la aplicación de la MSR respecto al promedio de la expansión volumétrica patrón (2.392 %), presenta un promedio de la influencia de 31.47 veces menor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento, lo cual confirma la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en reducir la expansión volumétrica.</p> |        |      |      |       |



#### NOTA

La representación gráfica permite visualizar la marcada diferencia entre la expansión volumétrica patrón promedio (2.392 %) y la expansión volumétrica óptimo (0.076 %). Esto indica que el suelo tratado presenta una expansión volumétrica de 31.47 veces menor respecto al material patrón. Lo que evidencia la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la reducción de la expansión volumétrica del material.

**Figura 26 — Influencia de la expansión volumétrica óptimo respecto del patrón**



#### NOTA

La comparación tridimensional de la expansión volumétrica patrón y tratamientos evidenciaron una reducción significativa del suelo tratado en comparación con la expansión volumétrica patrón promedio (2.392 %), alcanzando valores entre 0.076

% y 0.65 %; esta reducción representa una mejora de 21.36 veces en el valor mínimo y 3.68 veces en el valor máximo respecto al suelo natural. Estos resultados demuestran que la influencia de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I influye en la reducción de la expansión volumétrica del suelo de la cantera Huaycha.

**Figura 27 — Análisis tridimensional de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I de la expansión volumétrica**

#### 5.1.4 Resultado del objetivo específico 3

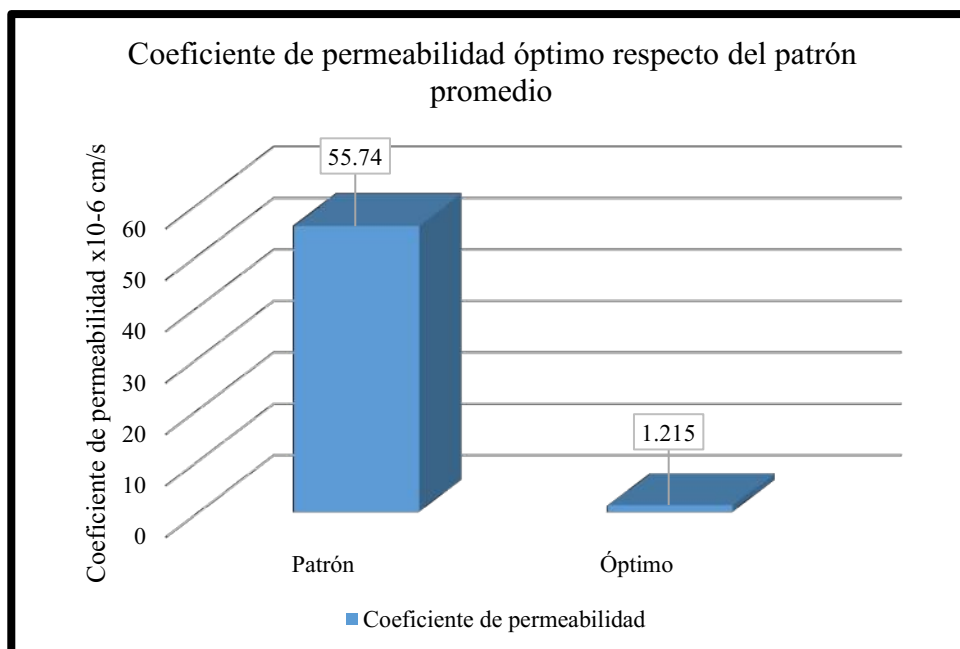
El presente estudio tuvo como objetivo específico 3, determinar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

**Tabla 24 — Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad del material de cantera Huaycha**

| Nº de orden | Combinaciones | Aceite sulfonado IONICSOIL (lt/m <sup>3</sup> ) | Cemento portland I (%) | Coeficiente de permeabilidad 1x10 <sup>-6</sup> (cm/s) |
|-------------|---------------|-------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1           | Patrón 01     | 0.00                                            | 0.00                   | 55.72                                                  |
| 2           | Patrón 02     | 0.00                                            | 0.00                   | 55.76                                                  |
| 3           | C – 1         | 0.15                                            | 1.50                   | 7.484                                                  |
| 4           | C – 2         | 0.15                                            | 3.50                   | 7.125                                                  |
| 5           | C – 3         | 0.35                                            | 1.50                   | 6.677                                                  |
| 6           | C – 4         | 0.35                                            | 3.50                   | 4.662                                                  |
| 7           | C – 5         | 0.20                                            | 2.50                   | 4.032                                                  |
| 8           | C – 6         | 0.30                                            | 2.50                   | 3.212                                                  |
| 9           | C – 7         | 0.25                                            | 2.00                   | 2.584                                                  |
| 10          | C – 8         | 0.25                                            | 3.00                   | 2.250                                                  |
| 11          | C – 9         | 0.25                                            | 2.50                   | 1.601                                                  |
| 12          | C – 10        | 0.25                                            | 2.50                   | 1.566                                                  |
| 13          | C – 1 1       | 0.25                                            | 2.50                   | 1.585                                                  |
| 14          | C – 1 2       | 0.25                                            | 2.50                   | 1.668                                                  |
| 15          | C – 13        | 0.15                                            | 1.50                   | 7.483                                                  |
| 16          | C – 14        | 0.15                                            | 3.50                   | 7.124                                                  |
| 17          | C – 15        | 0.35                                            | 1.50                   | 6.680                                                  |
| 18          | C – 16        | 0.35                                            | 3.50                   | 4.661                                                  |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |      |      |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------|-------|
| 19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 17 | 0.20 | 2.50 | 4.031 |
| 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 18 | 0.30 | 2.50 | 3.211 |
| 21                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 19 | 0.25 | 2.00 | 2.583 |
| 22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 20 | 0.25 | 3.00 | 2.249 |
| 23                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 21 | 0.25 | 2.50 | 1.600 |
| 24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 22 | 0.25 | 2.50 | 1.568 |
| 25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 23 | 0.25 | 2.50 | 1.586 |
| 26                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C – 24 | 0.25 | 2.50 | 1.665 |
| Promedio del coeficiente de permeabilidad patrón                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |      |      | 55.74 |
| Coeficiente de permeabilidad óptimo (MSR)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |      |      | 1.215 |
| Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |      |      | 45.48 |
| <p>NOTA</p> <p>El análisis comparativo muestra que el coeficiente de permeabilidad óptimo (<math>1.215 \times 10^{-6}</math> cm/s) obtenido mediante la aplicación de la MSR respecto al promedio del coeficiente de permeabilidad patrón (<math>55.74 \times 10^{-6}</math> cm/s), presenta un promedio de la influencia de 45.48 veces menor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento, lo cual confirma la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en reducir el coeficiente de permeabilidad.</p> |        |      |      |       |

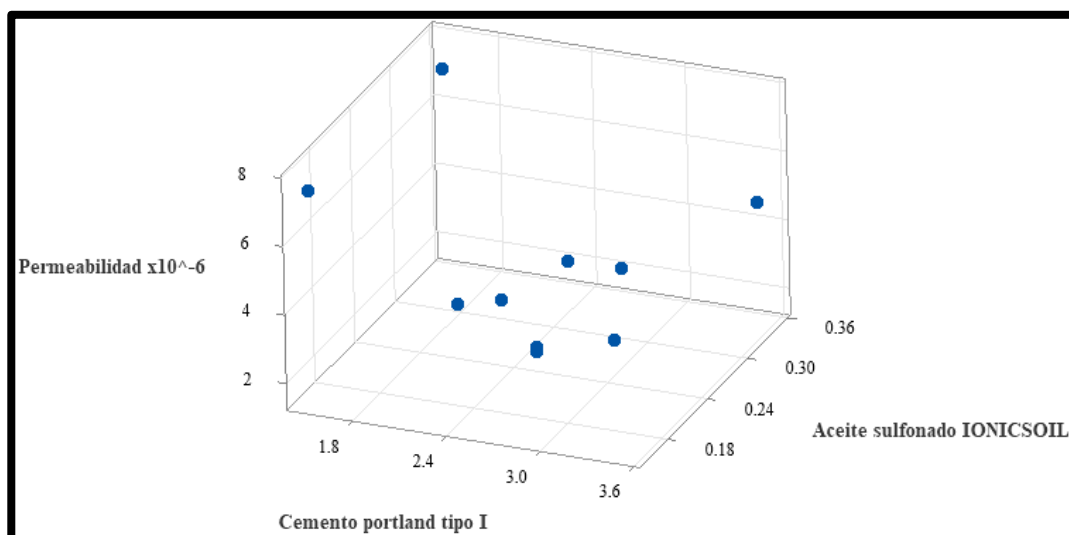


NOTA

La representación gráfica permite visualizar la marcada diferencia entre el coeficiente de permeabilidad patrón promedio ( $55.74 \times 10^{-6}$  cm/s) y el coeficiente de

permeabilidad ( $1.215 \times 10^{-6}$  cm/s). Esto indica que el suelo tratado presenta un coeficiente de permeabilidad de 45.48 veces menor respecto al material patrón. Lo que evidencia la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la reducción del coeficiente de permeabilidad.

**Figura 28 — Influencia del coeficiente de permeabilidad óptimo respecto del patrón**



**NOTA**

La comparación tridimensional del coeficiente de permeabilidad patrón y tratamientos evidenciaron una reducción significativa del suelo tratado en comparación con el coeficiente de permeabilidad patrón promedio  $55.74 \times 10^{-6}$  cm/s, alcanzando valores entre  $1.556 \times 10^{-6}$  cm/s y  $7.484 \times 10^{-6}$  cm/s; esta reducción representa una mejora de 35.82 veces en el valor mínimo y 7.45 veces en el valor máximo respecto al suelo natural. Estos resultados demuestran que la influencia de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I influye a la reducción del coeficiente de permeabilidad del suelo de la cantera Huaycha.

**Figura 29 — Análisis tridimensional de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I del coeficiente de permeabilidad**

## 5.2 Análisis estadístico inferencial

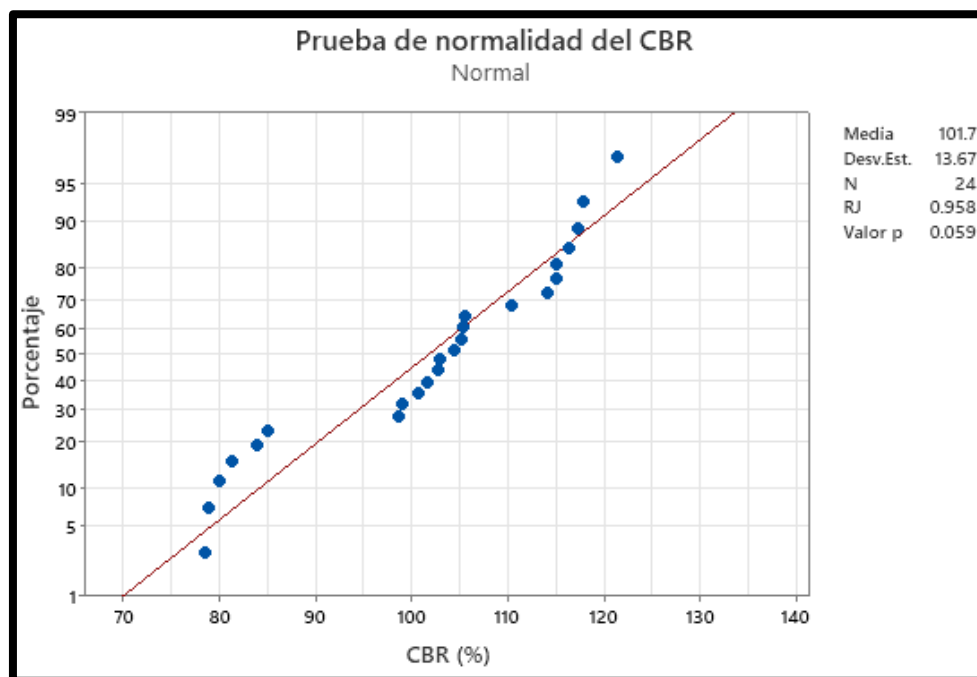
### 5.2.1 Análisis de variables dependientes

#### a) Análisis estadístico del CBR

Según Gutiérrez y De La Vara (2012), para evaluar el cumplimiento del supuesto de normalidad en muestras que contienen menos de 50 observaciones, se recurre a la prueba de Shapiro-Wilk.

Se realizó la prueba de normalidad con el fin de evaluar si los datos se ajustan a una distribución normal, lo cual nos permitió determinar el tipo de prueba estadística más pertinente para contrastar los resultados. A continuación, se muestra los criterios de evaluación del supuesto de normalidad del CBR, los cuales se describen a continuación.

- Hipótesis para probar la normalidad.
  - $H_0$  : El CBR sigue una distribución normal
  - $H_a$ : El CBR no sigue una distribución normal
- El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .
- Criterio de decisión.
  - Si  $P \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$  (se concluye que la distribución es normal)
  - Si  $P < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  (se concluye que la distribución es no normal)



#### NOTA

Según los resultados obtenidos de la figura 30, la prueba de normalidad para el CBR evidencia que los datos analizados presentan un ajuste aceptable a la distribución normal. Esto se corrobora con un valor  $p = 0.059$ , superior al nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, se concluye que los datos cumplen con el supuesto de normalidad requerido para la aplicación de pruebas estadísticas de tipo paramétrico.

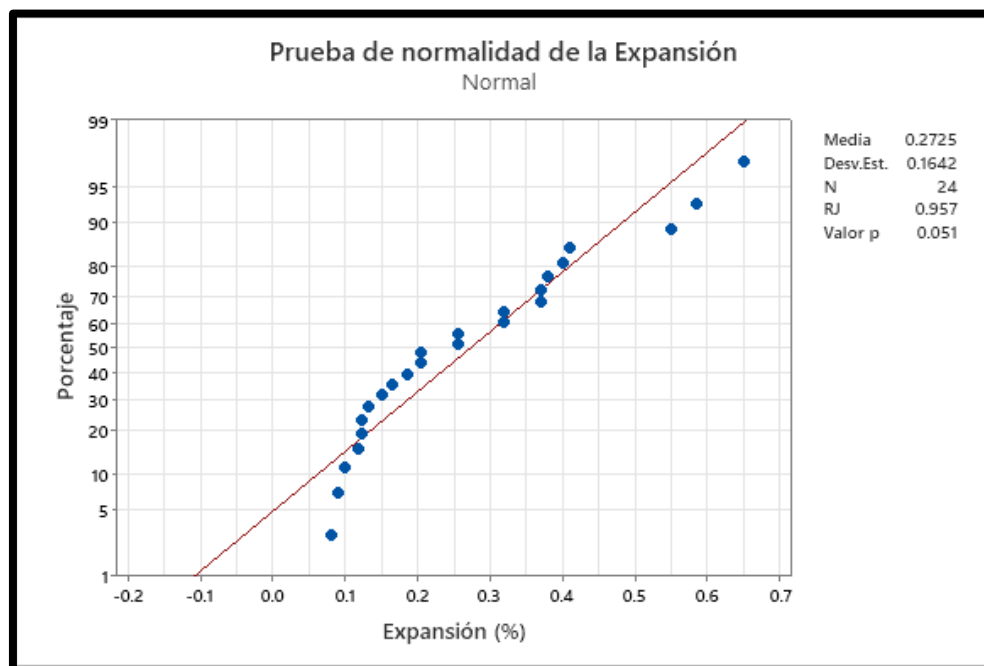
**Figura 30 — Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del CBR**

#### b) Análisis estadístico de la expansión volumétrica

Se realizó la prueba de normalidad con el fin de evaluar si los datos se ajustan a una distribución normal, lo cual nos permitió determinar el tipo de prueba estadística más pertinente para contrastar los resultados. Seguidamente, se muestra los criterios de evaluación del supuesto de normalidad de la expansión volumétrica, los cuales se describen a continuación.

- Hipótesis para probar la normalidad.
  - $H_0$  : La expansión volumétrica sigue una distribución normal
  - $H_a$  : La expansión volumétrica no sigue una distribución normal
- El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

- Criterio de decisión.
  - Si  $P \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$  (se concluye que la distribución es normal)
  - Si  $P < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  (se concluye que la distribución es no normal)



#### NOTA

Según los resultados obtenidos de la figura 31, la prueba de normalidad para la expansión volumétrica evidencia que los datos analizados presentan un ajuste aceptable a la distribución normal. Esto se corrobora con un valor  $p = 0.051$ , superior al nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, se concluye que los datos cumplen con el supuesto de normalidad requerido para la aplicación de pruebas estadísticas de tipo paramétrico.

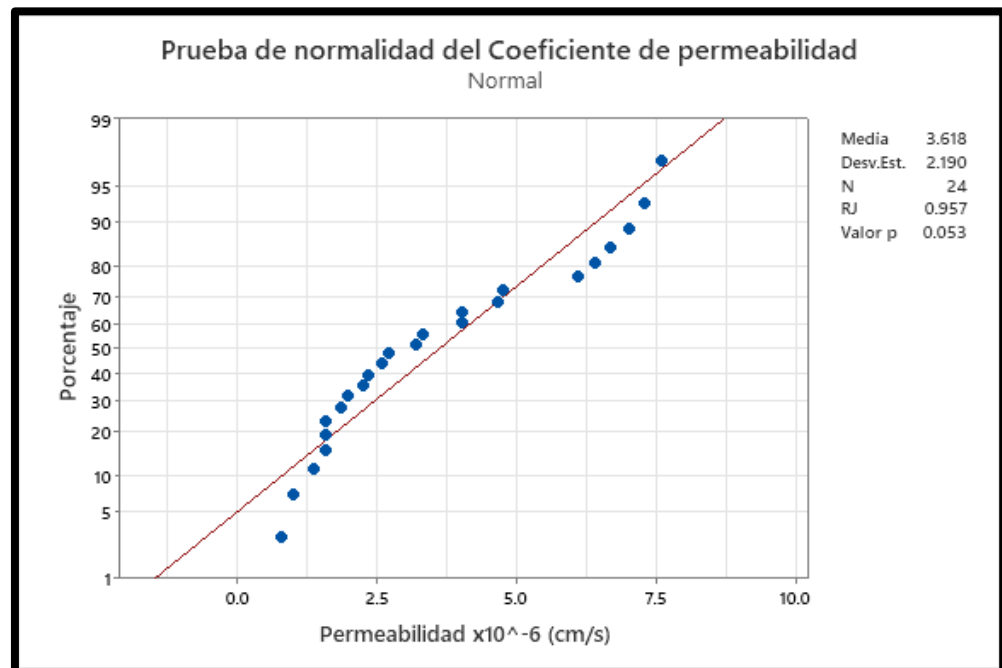
**Figura 31 — Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de la expansión volumétrica**

#### c) Análisis estadístico del coeficiente de permeabilidad

Se realizó la prueba de normalidad con el fin de evaluar si los datos se ajustan a una distribución normal, lo cual nos permitió determinar el tipo de prueba estadística más pertinente para contrastar los resultados. Seguidamente, se muestra los criterios de evaluación del supuesto de normalidad del coeficiente de permeabilidad, los cuales se describen a continuación.

- Hipótesis para probar la normalidad.
  - $H_0$  : El coeficiente de permeabilidad sigue una distribución normal

- $H_a$ : El coeficiente de permeabilidad no sigue una distribución normal
- El nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .
- Criterio de decisión.
  - Si  $P \geq \alpha$ , se acepta  $H_0$  (se concluye que la distribución es normal)
  - Si  $P < \alpha$ , se rechaza  $H_0$  (se concluye que la distribución es no normal)



#### NOTA

Según los resultados obtenidos de la figura 32, la prueba de normalidad para el coeficiente de permeabilidad evidencia que los datos analizados presentan un ajuste aceptable a la distribución normal. Esto se corrobora con un valor  $p = 0.053$ , superior al nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, se concluye que los datos cumplen con el supuesto de normalidad requerido para la aplicación de pruebas estadísticas de tipo paramétrico.

**Figura 32 — Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del coeficiente de permeabilidad**

En conclusión, los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a las variables CBR, expansión volumétrica y coeficiente de permeabilidad evidencian que los datos analizados presentan un ajuste aceptable a la distribución normal, dado que en los tres casos los valores  $p$  obtenidos son

superiores al nivel de significancia de 0.05. En tal sentido, se confirma el cumplimiento del supuesto de normalidad para todas las variables evaluadas, lo que valida metodológicamente la aplicación de pruebas estadísticas de tipo paramétrico.

## 5.2.2 Contrastación de hipótesis

En función de las hipótesis previamente establecidas, a continuación, se presenta la verificación de las mismas mediante el análisis de los datos obtenidos, con el propósito de evaluar su validez y sustentar los resultados de la investigación.

### 5.2.2.1 Contrastación de hipótesis general

#### a) Hipótesis general

- **Hipótesis estadística**

Para este análisis se plantean las siguientes hipótesis estadísticas, distinguiendo entre la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

- **$H_0$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I no influye significativamente en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- **$H_a$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

- **Tablas estadísticas**

**Tabla 25 — Factores de inter – sujetos de aceite sulfonado con cemento portland I**

| Factores inter-sujetos |      |    |
|------------------------|------|----|
|                        |      | N  |
| Aceite sulfonado       | 0.15 | 4  |
|                        | 0.20 | 2  |
|                        | 0.25 | 12 |
|                        | 0.30 | 2  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0.35 | 4  |
| Cemento portland I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1.50 | 4  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2.00 | 2  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2.50 | 12 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3.00 | 2  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3.50 | 4  |
| <p><b>NOTA</b></p> <p>La tabla 25 confirma que en el experimento se usaron dos factores cuantitativos con cinco niveles cada uno, y que el diseño experimental tuvo más repeticiones en el punto central. Esto garantiza mayor precisión en la estimación de la respuesta y permite analizar adecuadamente los efectos principales y la interacción en el MANOVA.</p> |      |    |

**Tabla 26 — Prueba de igualdad de Levene de varianzas de aceite sulfonado con cemento portland I**

| Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                         |                       |     |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----|------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                         | Estadístico de Levene | gl1 | gl2  | Sig.  |
| CBR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Se basa en la media                     | 1.150                 | 8   | 15   | 0.388 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la mediana                   | 1.129                 | 8   | 15   | 0.399 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 1.129                 | 8   | 7.00 | 0.443 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la media recortada           | 1.150                 | 8   | 15   | 0.388 |
| Expansión volumétrica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Se basa en la media                     | 2.499                 | 8   | 15   | 0.060 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la mediana                   | 1.666                 | 8   | 15   | 0.188 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 1.666                 | 8   | 7.00 | 0.258 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la media recortada           | 2.484                 | 8   | 15   | 0.061 |
| Coeficiente de permeabilidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Se basa en la media                     | 2.487                 | 8   | 15   | 0.061 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la mediana                   | 1.344                 | 8   | 15   | 0.296 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 1.344                 | 8   | 7.00 | 0.355 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Se basa en la media recortada           | 2.174                 | 8   | 15   | 0.093 |
| Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                         |                       |     |      |       |
| a. Diseño: intersección + aceite sulfonado + cemento portland I + aceite sulfonado*cemento portland I                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                         |                       |     |      |       |
| <p><b>NOTA</b></p> <p>La tabla 26 confirma que, para todas las variables dependientes (CBR, expansión volumétrica y coeficiente de permeabilidad), la prueba de Levene no es significativa (<math>p &gt; 0.05</math>). Esto significa que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo cual valida el uso de pruebas paramétricas como el ANOVA y MANOVA.</p> |                                         |                       |     |      |       |

**Tabla 27 — Prueba multivariante de aceite sulfonado con cemento portland I**

| Pruebas multivariante <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                    |           |                         |                 |             |        |                         |                             |                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|-----------------|-------------|--------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Efecto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                    | Valor     | F                       | gl de hipótesis | gl de error | Sig.   | Eta parcial al cuadrado | Parámetro de no centralidad | Potencia observada <sup>d</sup> |
| Intersección                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Traza de Pillai    | 1.000     | 132462.003 <sup>b</sup> | 3.000           | 13.000      | <0.001 | 1.000                   | 397386.008                  | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Lambda de Wilks    | 0.000     | 132462.003 <sup>b</sup> | 3.000           | 13.000      | <0.001 | 1.000                   | 397386.008                  | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Traza de Hotelling | 30568.154 | 132462.003 <sup>b</sup> | 3.000           | 13.000      | <0.001 | 1.000                   | 397386.008                  | 1.000                           |
| Aceite sulfonado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Traza de Pillai    | 1.538     | 5.257                   | 9.000           | 45.000      | <0.001 | 0.513                   | 47.311                      | 0.998                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Lambda de Wilks    | 0.000     | 102.113                 | 9.000           | 31.789      | <0.001 | 0.937                   | 468.852                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Traza de Hotelling | 1807.459  | 2343.003                | 9.000           | 35.000      | <0.001 | 0.998                   | 21087.026                   | 1.000                           |
| Cemento portland I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Traza de Pillai    | 1.689     | 6.445                   | 9.000           | 45.000      | <0.001 | 0.563                   | 58.001                      | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Lambda de Wilks    | 0.001     | 71.600                  | 9.000           | 31.789      | <0.001 | 0.916                   | 347.913                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Traza de Hotelling | 530.691   | 687.933                 | 9.000           | 35.000      | <0.001 | 0.994                   | 6191.394                    | 1.000                           |
| Aceite sulfonado * cemento portland I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Traza de Pillai    | 0.993     | 649.068 <sup>b</sup>    | 3.000           | 13.000      | <0.001 | 0.993                   | 1947.203                    | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Lambda de Wilks    | 0.007     | 649.068 <sup>b</sup>    | 3.000           | 13.000      | <0.001 | 0.993                   | 1947.203                    | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Traza de Hotelling | 149.785   | 649.068 <sup>b</sup>    | 3.000           | 13.000      | <0.001 | 0.993                   | 1947.203                    | 1.000                           |
| a. Diseño: intersección + aceite sulfonado + cemento portland I + aceite sulfonado * cemento portland I                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                    |           |                         |                 |             |        |                         |                             |                                 |
| b. Estadístico exacto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                    |           |                         |                 |             |        |                         |                             |                                 |
| c. El estadístico es un límite superior en F que genera un límite inferior en el nivel de significación.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                    |           |                         |                 |             |        |                         |                             |                                 |
| d. Se ha calculado utilizando alpha = 0.05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                    |           |                         |                 |             |        |                         |                             |                                 |
| <b>NOTA</b><br>En la tabla 27, El MANOVA demuestra que el aceite sulfonado con cemento portland I, así como su interacción, influyen de manera significativa en las propiedades mecánicas y permeabilidad (Sig. < 0.001). Considerando que se cumplieron los supuestos, se tomó como referencia principal la Lambda de Wilks, cuyos resultados coincidieron con los obtenidos mediante la Traza de Pillai. |                    |           |                         |                 |             |        |                         |                             |                                 |

**Tabla 28 — Prueba de efectos inter-sujetos de aceite sulfonado con cemento portland I**

| Pruebas de efectos inter-sujetos                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----|------------|--------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Origen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Variable dependiente | Tipo III de suma de cuadrados | gl | F          | Sig.   | Eta parcial al cuadrado | Parámetro de no centralidad | Potencia observada <sup>d</sup> |
| Modelo corregido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CBR                  | 4222.135 <sup>a</sup>         | 8  | 102.064    | <0.001 | 0.982                   | 816.516                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 0.769 <sup>b</sup>            | 8  | 538.128    | <0.001 | 0.997                   | 4305.020                    | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 114.190 <sup>c</sup>          | 8  | 18999.823  | <0.001 | 1.000                   | 151998.584                  | 1.000                           |
| Intersección                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | CBR                  | 143989.351                    | 1  | 27846.001  | <0.001 | 0.999                   | 27846.001                   | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 2.136                         | 1  | 11952.224  | <0.001 | 0.999                   | 11952.224                   | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 328.688                       | 1  | 437517.091 | <0.001 | 1.000                   | 437517.091                  | 1.000                           |
| Aceite sulfonado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CBR                  | 873.071                       | 3  | 56.281     | <0.001 | 0.918                   | 168.843                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 0.121                         | 3  | 225.597    | <0.001 | 0.978                   | 676.790                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 16.857                        | 3  | 7479.473   | <0.001 | 0.999                   | 22438.419                   | 1.000                           |
| Cemento portland I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CBR                  | 916.055                       | 3  | 59.052     | <0.001 | 0.922                   | 177.155                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 0.034                         | 3  | 62.601     | <0.001 | 0.926                   | 187.804                     | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 4.691                         | 3  | 2081.340   | <0.001 | 0.998                   | 6244.019                    | 1.000                           |
| Aceite * Cemento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CBR                  | 174.845                       | 1  | 33.813     | <0.001 | 0.693                   | 33.813                      | 1.000                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 0.005                         | 1  | 25.783     | <0.001 | 0.632                   | 25.783                      | 0.997                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 1.374                         | 1  | 1829.573   | <0.001 | 0.992                   | 1829.573                    | 1.000                           |
| Error                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CBR                  | 77.564                        | 15 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 0.003                         | 15 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 0.011                         | 15 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
| Total                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CBR                  | 252732.50                     | 24 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 2.941                         | 24 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 443.406                       | 24 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
| Total corregido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CBR                  | 4299.698                      | 23 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Expansión            | 0.772                         | 23 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Permeabilidad        | 114.201                       | 23 | -          | -      | -                       | -                           | -                               |
| a. R al cuadrado = 0.982 (R al cuadrado ajustada = 0.972)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |
| b. R al cuadrado = 0.997 (R al cuadrado ajustada = 0.995)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |
| c. R al cuadrado = 1.000 (R al cuadrado ajustada = 1.000)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |
| d. Se ha calculado utilizando alpha = 0.05                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |
| NOTA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |
| La tabla 28, evidencia que el aceite sulfonado, el cemento portland I y su interacción tienen influencia significativa ( $p < 0.001$ ) sobre el CBR, la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad. Confirmando que ambos aditivos mejoran la resistencia, reduce la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad. |                      |                               |    |            |        |                         |                             |                                 |

- **Nivel de significancia**

De acuerdo con los resultados obtenidos en el MANOVA (tablas 26, 27 y 28), se determinó que el modelo es muy significativo ( $p < 0.05$ ), lo que confirma que el aceite sulfonado IONICSOIL, el cemento portland I y su interacción generan efectos estadísticamente significativos sobre las variables de respuesta analizadas (CBR, expansión volumétrica y coeficiente de permeabilidad).

- **Decisión**

Los resultados demuestran que el aceite sulfonado, el cemento portland I y su interacción influyen significativamente sobre el CBR, la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad del suelo (Sig.  $< .001$ ). La magnitud de los efectos ( $\eta^2$  parcial  $> 0.60$ ) confirma que la influencia es muy fuerte, especialmente en permeabilidad. En conclusión, la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I incrementa el CBR y reduce la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad del material de cantera, lo que respalda su aplicabilidad.

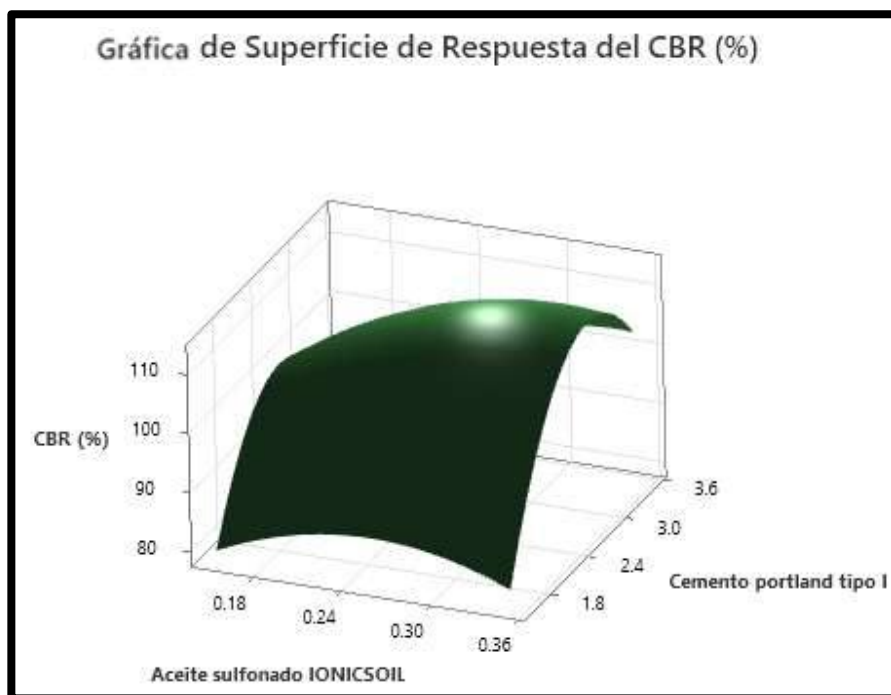
#### 5.2.2.2 Contrastación de hipótesis específicas

##### a) Hipótesis específica 1

- **Hipótesis estadística**

Para este análisis se plantean las siguientes hipótesis estadísticas, distinguiendo entre la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

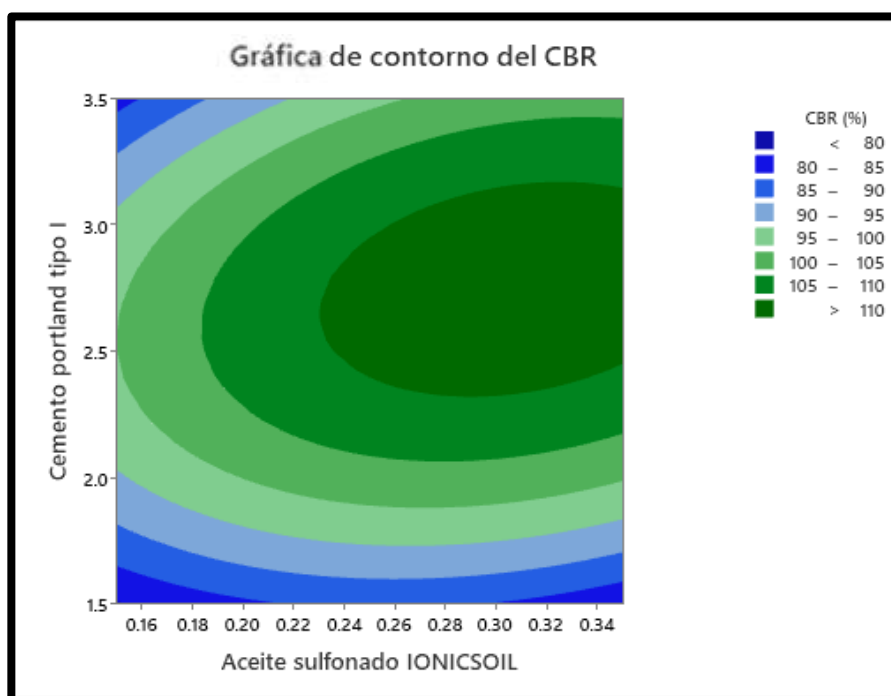
- **$H_0$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I no influye significativamente en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- **$H_a$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.



#### NOTA

De acuerdo con la Figura 33, la superficie de respuesta muestra una curvatura ascendente, lo que indica que la interacción entre el aceite sulfonado y el cemento portland I genera un incremento significativo en los valores de CBR.

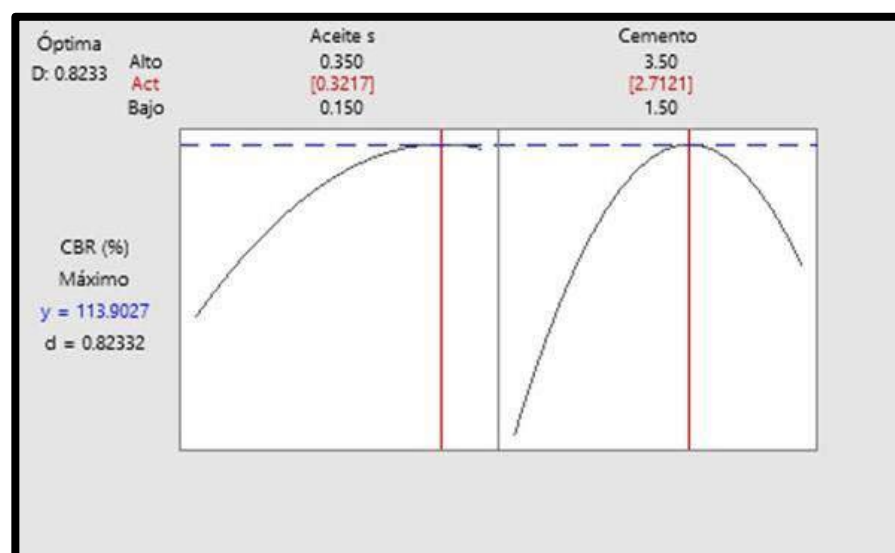
**Figura 33 — Gráfica de superficie de respuesta del CBR**



## NOTA

De acuerdo a la figura 34, la gráfica de contorno del CBR representa la variación de los valores en relación del aceite sulfonado con cemento portland I permitiendo distinguir áreas de baja y alta resistencia, además de señalar el punto óptimo.

**Figura 34 — Gráfica de contorno del CBR**



## NOTA

De acuerdo con la figura 35, El CBR óptimo alcanzó 113.90 %, empleado la MSR, correspondiendo a 0.3217 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado y 2.7121 % de cemento portland I. Dicho resultado evidencia que los agentes estabilizantes generan un incremento en el CBR y contribuyen a una subrasante más resistente.

**Figura 35 — Gráfica del punto óptimo del CBR**

**Tabla 29 — Análisis de varianza del aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR**

| Fuente de variación                                   | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F |
|-------------------------------------------------------|----|-----------|-----------|---------|
| Modelo                                                | 5  | 3632.76   | 726.55    | 19.61   |
| Lineal                                                | 2  | 628.59    | 314.30    | 8.48    |
| Aceite sulfonado IONICSOIL                            | 1  | 258.67    | 258.67    | 6.98    |
| Cemento portland I                                    | 1  | 369.92    | 369.92    | 9.98    |
| Cuadrado                                              | 2  | 2829.32   | 1414.66   | 38.18   |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Aceite sulfonado IONICSOIL | 1  | 15.31     | 15.31     | 0.41    |
| Cemento portland I*Cemento portland I                 | 1  | 170.48    | 170.48    | 4.60    |
| Interacción de 2 factores                             | 1  | 174.84    | 174.84    | 4.72    |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Cemento portland I         | 1  | 174.84    | 174.84    | 4.72    |

| Error                                                                                                                              | 18 | 666.94  | 37.05  | -     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------|--------|-------|
| Falta de ajuste                                                                                                                    | 3  | 589.38  | 196.46 | 37.99 |
| Error puro                                                                                                                         | 15 | 77.56   | 5.17   | -     |
| Total                                                                                                                              | 23 | 4299.70 | -      | -     |
| Fuente de variación                                                                                                                |    | Valor p |        |       |
| Modelo                                                                                                                             |    |         |        | 0.000 |
| Lineal                                                                                                                             |    |         |        | 0.003 |
| Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                                                         |    |         |        | 0.017 |
| Cemento portland I                                                                                                                 |    |         |        | 0.005 |
| Cuadrado                                                                                                                           |    |         |        | 0.000 |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                              |    |         |        | 0.528 |
| Cemento portland I*Cemento portland I                                                                                              |    |         |        | 0.046 |
| Interacción de 2 factores                                                                                                          |    |         |        | 0.043 |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Cemento portland I                                                                                      |    |         |        | 0.043 |
| Error                                                                                                                              |    |         |        | -     |
| Falta de ajuste                                                                                                                    |    |         |        | 0.000 |
| Error puro                                                                                                                         |    |         |        | -     |
| Total                                                                                                                              |    |         |        | -     |
| NOTA                                                                                                                               |    |         |        |       |
| La tabla 29, corresponde al ANOVA de un modelo cuadrático con interacción de dos factores (aceite sulfonado y cemento portland I). |    |         |        |       |

- **Nivel de significancia**

De acuerdo a la tabla 29, se verifica que el análisis de varianza ANOVA, evidenció que el modelo propuesto es altamente significativo ( $p < 0.05$ ), confirmando la influencia del aceite sulfonado con cemento portland I en la variable de respuesta CBR.

- **Decisión**

De acuerdo con los resultados obtenidos y considerando el nivel de significancia definido, se procede a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alterna ( $H_a$ ). En consecuencia; se puede afirmar con un nivel de confianza del 95 % que, el aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha.

Tabla 30 — Resumen de modelos de regresión del CBR

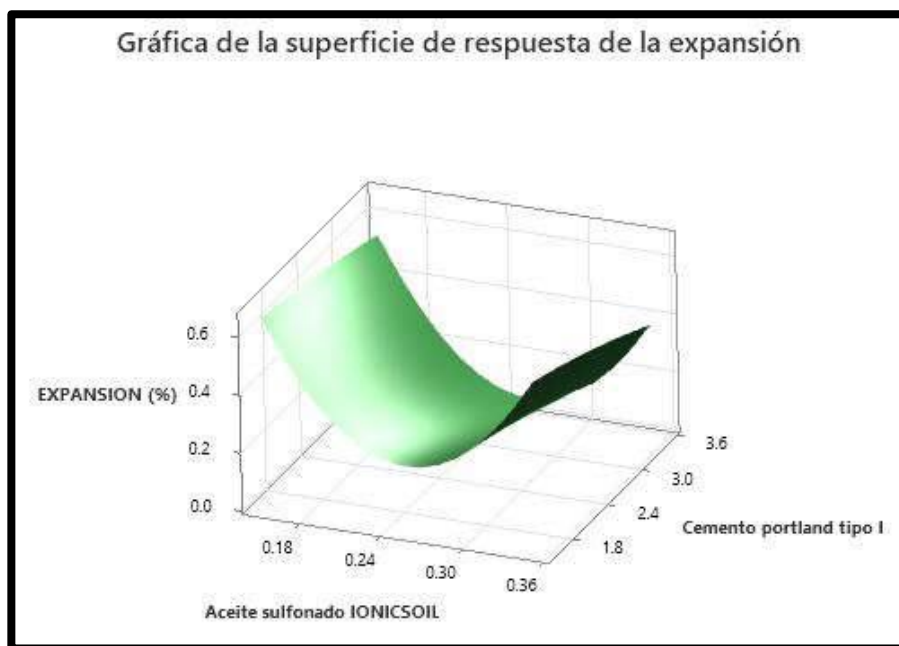
| S                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | R-cuadrado | R-cuadrado (ajustado) | R-cuadrado (pred.) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|
| 6.08706                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 84.49 %    | 80.18 %               | 77.31 %            |
| <p>NOTA</p> <p>En la tabla 30, el modelo de regresión obtenido presenta un ajuste sólido, de 84.49 % de la variabilidad de la respuesta, con un error estándar aceptable y una capacidad predictiva adecuada de 77.31 %. Esto sugiere que el modelo es confiable para interpretar la relación entre las variables como para realizar predicciones.</p> |            |                       |                    |

## b) Hipótesis específica 2

### • Hipótesis estadística

Para este análisis se plantean las siguientes hipótesis estadísticas, distinguiendo entre la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

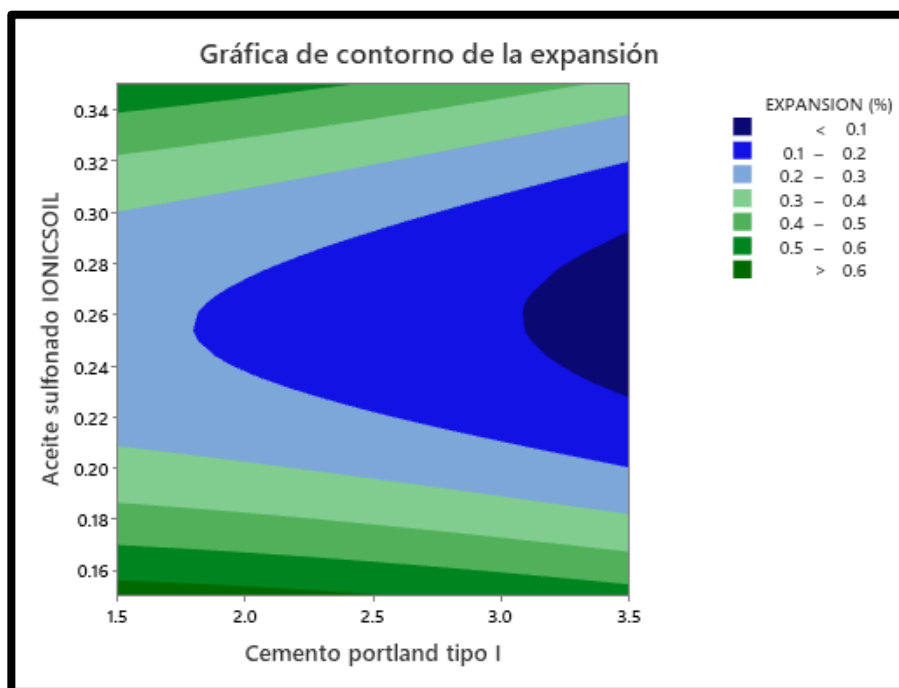
- **$H_0$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I no influye significativamente en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- **$H_a$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.



#### NOTA

De acuerdo a la figura 36, la superficie de respuesta presenta una curvatura descendente, lo que indica que la interacción entre el aceite sulfonado con cemento portland I genera una reducción significativa en la expansión volumétrica.

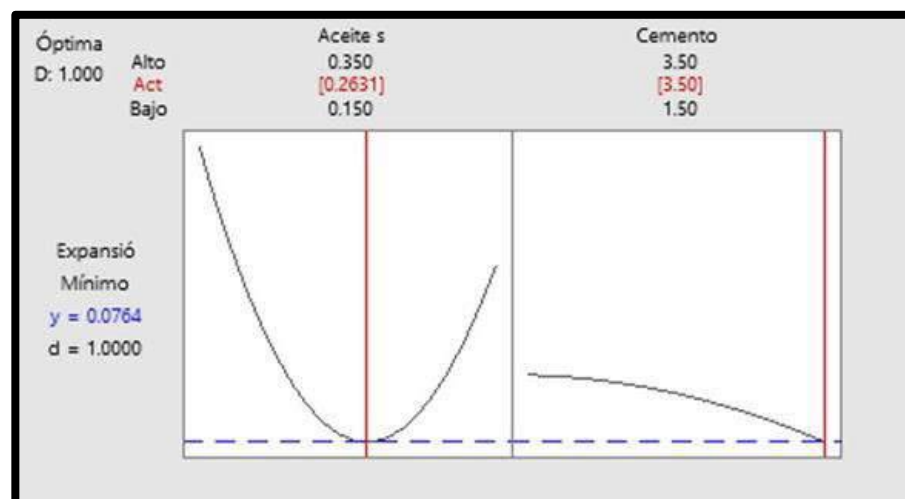
**Figura 36 — Gráfica de superficie de respuesta de la expansión volumétrica**



NOTA

De acuerdo a la figura 37, la gráfica de contorno de la expansión volumétrica representa la variación de los valores en relación del aceite sulfonado con cemento portland I permitiendo distinguir áreas de baja y alta expansión volumétrica, además de señalar el punto óptimo.

**Figura 37 — Gráfica de contorno de la expansión volumétrica**



NOTA

De acuerdo con la figura 38, la expansión volumétrica óptimo alcanzó 0.076 % empleando la MSR, correspondiendo a 0.2631 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado y 3.50 % de cemento portland I. Dicho resultado evidencia que los agentes estabilizantes generan una reducción de la expansión volumétrica y contribuyen a una subrasante más resistente.

**Figura 38 — Gráfica del punto óptimo de la expansión volumétrica**

**Tabla 31 — Análisis de varianza del aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica**

| Fuente de variación                                   | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F |
|-------------------------------------------------------|----|-----------|-----------|---------|
| Modelo                                                | 5  | 0.812277  | 0.162455  | 144.42  |
| Lineal                                                | 2  | 0.085069  | 0.042535  | 37.81   |
| Aceite sulfonado IONICSOIL                            | 1  | 0.030625  | 0.030625  | 27.22   |
| Cemento portland I                                    | 1  | 0.054444  | 0.054444  | 48.40   |
| Cuadrado                                              | 2  | 0.723158  | 0.361579  | 321.43  |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Aceite sulfonado IONICSOIL | 1  | 0.076876  | 0.076876  | 68.34   |
| Cemento portland I*Cemento portland I                 | 1  | 0.000079  | 0.000079  | 0.07    |

| Interacción de 2 factores                                                                                                          | 1  | 0.004050 | 0.004050 | 3.60   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------|----------|--------|
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Cemento portland I                                                                                      | 1  | 0.004050 | 0.004050 | 3.60   |
| Error                                                                                                                              | 18 | 0.020248 | 0.001125 | -      |
| Falta de ajuste                                                                                                                    | 3  | 0.019819 | 0.006606 | 230.72 |
| Error puro                                                                                                                         | 15 | 0.000430 | 0.000029 | -      |
| Total                                                                                                                              | 23 | 0.832525 | -        | -      |
| Fuente de variación                                                                                                                |    | Valor p  |          |        |
| Modelo                                                                                                                             |    |          |          | 0.000  |
| Lineal                                                                                                                             |    |          |          | 0.000  |
| Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                                                         |    |          |          | 0.000  |
| Cemento portland I                                                                                                                 |    |          |          | 0.000  |
| Cuadrado                                                                                                                           |    |          |          | 0.000  |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                              |    |          |          | 0.000  |
| Cemento portland I*Cemento portland I                                                                                              |    |          |          | 0.794  |
| Interacción de 2 factores                                                                                                          |    |          |          | 0.074  |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Cemento portland I                                                                                      |    |          |          | 0.074  |
| Error                                                                                                                              |    |          |          | -      |
| Falta de ajuste                                                                                                                    |    |          |          | 0.000  |
| Error puro                                                                                                                         |    |          |          | -      |
| Total                                                                                                                              |    |          |          | -      |
| NOTA                                                                                                                               |    |          |          |        |
| La tabla 31, corresponde al ANOVA de un modelo cuadrático con interacción de dos factores (aceite sulfonado y cemento portland I). |    |          |          |        |

- **Nivel de significancia**

De acuerdo a la tabla 31, se verifica que el análisis de varianza ANOVA, evidenció que el modelo propuesto es altamente significativo ( $p < 0.05$ ), confirmando la influencia de los factores evaluados en la variable de respuesta de expansión volumétrica.

- **Decisión**

De acuerdo con los resultados obtenidos y considerando el nivel de significancia definido, se procede a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alterna ( $H_a$ ). En consecuencia; se puede afirmar con un nivel de confianza del 95 % que, el aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha.

**Tabla 32 — Resumen de modelos de regresión de la expansión volumétrica**

| S         | R-cuadrado | R-cuadrado (ajustado) | R-cuadrado (pred.) |
|-----------|------------|-----------------------|--------------------|
| 0.0335396 | 97.57 %    | 96.89 %               | 96.47 %            |

NOTA

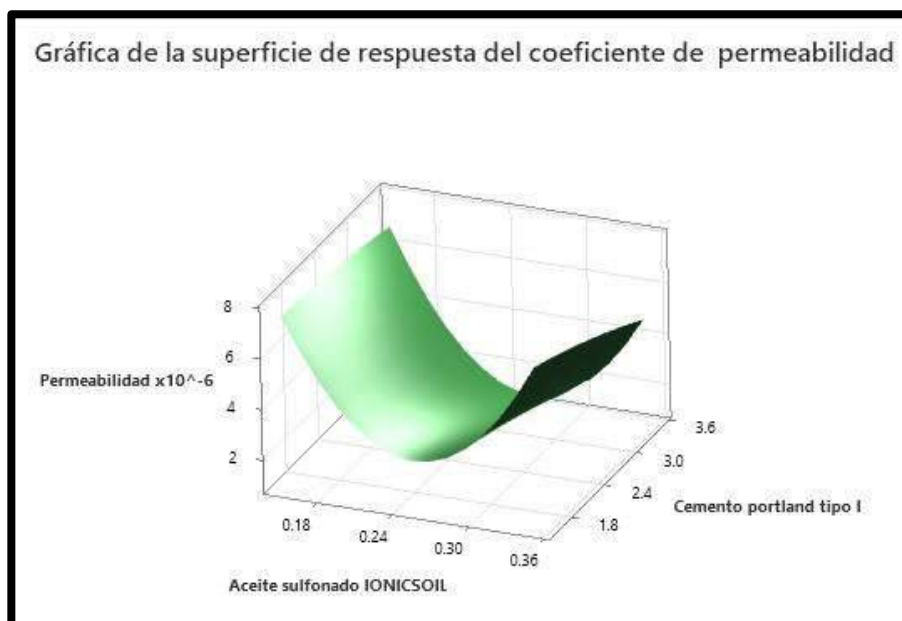
En la tabla 32, el modelo de regresión obtenido presenta un ajuste sobresaliente del 97.57 % de la variabilidad de la variable de respuesta, con un error muy reducido y un poder predictivo robusto de 96.47 %. Esto permite afirmar que el modelo es estadísticamente sólido, confiable y útil tanto para la interpretación como para la predicción de la variable dependiente.

### c) Hipótesis específica 3

#### • Hipótesis estadística

Para este análisis se plantean las siguientes hipótesis estadísticas, distinguiendo entre la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

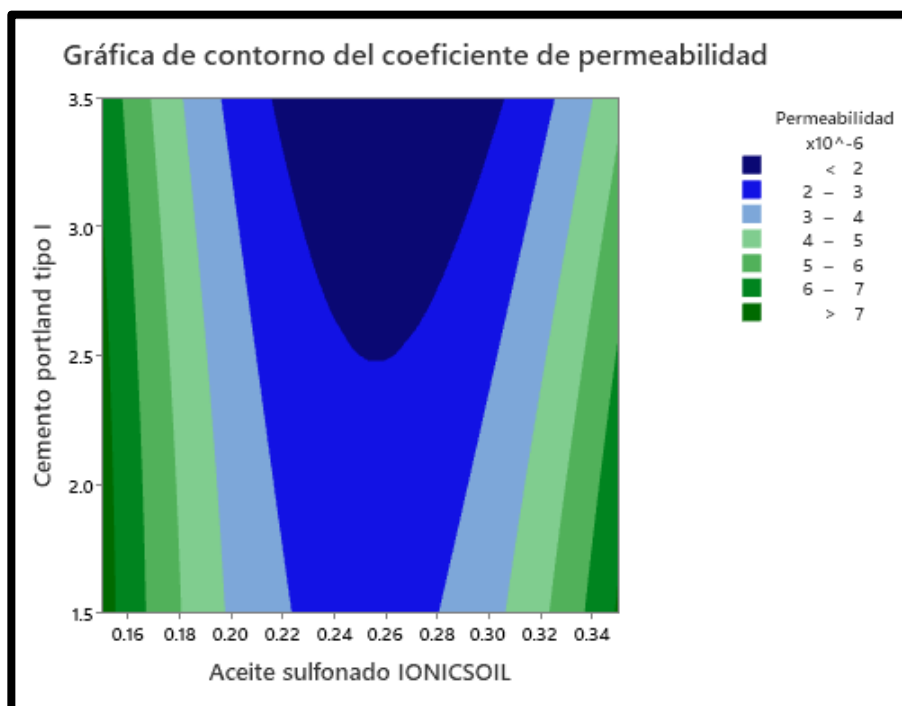
- **$H_0$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I no influye significativamente en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.
- **$H_a$ :** El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.



#### NOTA

De acuerdo a la figura 39, la superficie de respuesta presenta una curvatura descendente, lo que evidencia que la interacción entre el aceite sulfonado con cemento portland I genera una reducción significativa del coeficiente de permeabilidad.

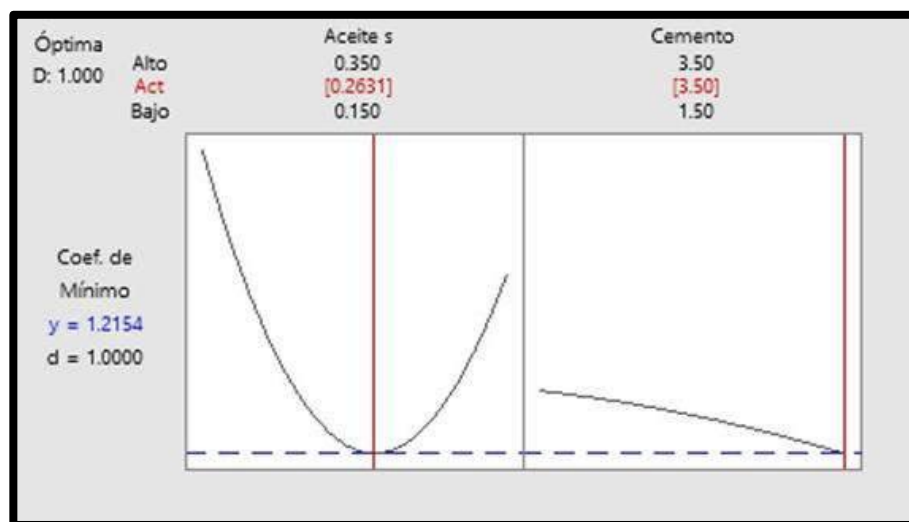
**Figura 39 — Gráfica de superficie de respuesta del coeficiente de permeabilidad**



NOTA

De acuerdo a la figura 40, La gráfica de contorno del coeficiente de permeabilidad representa la variación de los valores en relación del aceite sulfonado con cemento portland I permitiendo distinguir áreas de baja y alta permeabilidad, además de señalar el punto óptimo.

**Figura 40 — Gráfica de contorno del coeficiente de permeabilidad**



NOTA

De acuerdo con la figura 41, el coeficiente de permeabilidad óptimo alcanzó  $1.215 \times 10^{-6}$  cm/s empleando la MSR, correspondiendo a 0.26 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado y 3.50 % de cemento portland I. Dicho resultado evidencia que los agentes estabilizantes generan una reducción del coeficiente de permeabilidad y contribuyen a una subrasante más resistente.

**Figura 41 — Gráfica del punto óptimo del coeficiente de permeabilidad**

**Tabla 33 — Análisis de varianza del aceite sulfonado con cemento portland I del coeficiente de permeabilidad**

| Fuente de variación        | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F |
|----------------------------|----|-----------|-----------|---------|
| Modelo                     | 5  | 111.035   | 22.2070   | 126.25  |
| Lineal                     | 2  | 8.694     | 4.3469    | 24.71   |
| Aceite sulfonado IONICSOIL | 1  | 3.450     | 3.4497    | 19.61   |
| Cemento portland I         | 1  | 5.244     | 5.2441    | 29.81   |
| Cuadrado                   | 2  | 100.967   | 50.4835   | 287.00  |

|                                                                                                                                    |         |         |         |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                              | 1       | 10.679  | 10.6787 | 60.71   |
| Cemento portland I*Cemento portland I                                                                                              | 1       | 0.009   | 0.0093  | 0.05    |
| Interacción de 2 factores                                                                                                          | 1       | 1.374   | 1.3745  | 7.81    |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Cemento portland I                                                                                      | 1       | 1.374   | 1.3745  | 7.81    |
| Error                                                                                                                              | 18      | 3.166   | 0.1759  |         |
| Falta de ajuste                                                                                                                    | 3       | 3.155   | 1.0517  | 1399.85 |
| Error puro                                                                                                                         | 15      | 0.011   | 0.0008  |         |
| Total                                                                                                                              | 23      | 114.201 |         |         |
| Fuente de variación                                                                                                                | Valor p |         |         |         |
| Modelo                                                                                                                             | 0.000   |         |         |         |
| Lineal                                                                                                                             | 0.000   |         |         |         |
| Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                                                         | 0.000   |         |         |         |
| Cemento portland I                                                                                                                 | 0.000   |         |         |         |
| Cuadrado                                                                                                                           | 0.000   |         |         |         |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Aceite sulfonado IONICSOIL                                                                              | 0.000   |         |         |         |
| Cemento portland I*Cemento portland I                                                                                              | 0.821   |         |         |         |
| Interacción de 2 factores                                                                                                          | 0.012   |         |         |         |
| Aceite sulfonado IONICSOIL*Cemento portland I                                                                                      | 0.012   |         |         |         |
| Error                                                                                                                              |         |         |         |         |
| Falta de ajuste                                                                                                                    | 0.000   |         |         |         |
| Error puro                                                                                                                         |         |         |         |         |
| Total                                                                                                                              |         |         |         |         |
| NOTA                                                                                                                               |         |         |         |         |
| La tabla 33, corresponde al ANOVA de un modelo cuadrático con interacción de dos factores (aceite sulfonado y cemento portland I). |         |         |         |         |

- **Nivel de significancia**

De acuerdo a la tabla 33, se verifica que el análisis de varianza ANOVA, evidenció que el modelo propuesto es altamente significativo ( $p < 0.05$ ), confirmando la influencia de los factores evaluados en la variable de respuesta.

- **Decisión**

De acuerdo con los resultados obtenidos y considerando el nivel de significancia definido, se procede a rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alterna ( $H_a$ ). En consecuencia; se puede afirmar con un nivel de confianza del 95 % que, la adición de aceite sulfonado con



cemento portland I influye significativamente en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha.

**Tabla 34 — Resumen de modelos de regresión de coeficiente de permeabilidad**

| S                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | R-cuadrado | R-cuadrado (ajustado) | R-cuadrado (pred.) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|--------------------|
| 0.419406                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 97.23 %    | 96.46 %               | 95.97 %            |
| <p>NOTA</p> <p>En la tabla 34, el modelo de regresión obtenido presenta un ajuste sobresaliente de 97.23 % de la variabilidad de la respuesta, con un error estándar reducido y un elevado nivel de predicción 95.97 %. En consecuencia, puede considerarse un modelo estadísticamente confiable, robusto y útil tanto para el análisis como para la predicción de la variable dependiente.</p> |            |                       |                    |

### 5.3 Discusión de resultados

De acuerdo con Hernández et al. (2014), la discusión constituye una síntesis crítica de los hallazgos, derivando conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones. Asimismo, evalúa el cumplimiento de los objetivos y la respuesta a las preguntas planteadas, además de comparar los resultados con estudios previos para identificar coincidencias, diferencias y aportes novedosos. Para el desarrollo de la presente discusión resulta fundamental considerar el objetivo general de la investigación que consiste en, evaluar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 21, el valor óptimo calculado mediante la aplicación de la MSR en los tratamientos de CBR, expansión volumétrica y coeficiente de permeabilidad respecto al patrón, presenta un promedio de influencia total de 37.76 veces mayor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento; asimismo, se identificó que el aceite sulfonado con cemento portland I generó mejoras significativas en el comportamiento mecánico y permeable del suelo, expresado principalmente en el incremento del CBR, la reducción de la expansión volumétrica y el coeficiente de

permeabilidad. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones tanto regionales, nacionales e internacionales, lo cual fortalece la validez de la presente investigación.

En relación con el primer objetivo específico, se analizó la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR. Los resultados de los ensayos CBR con los tratamientos de aceite sulfonado con cemento portland I evidenciaron un incremento significativo en la resistencia del suelo, tal como se aprecia en la Tabla 22. El CBR óptimo (113.90 %) obtenido mediante la aplicación de la MSR respecto al promedio CBR patrón (3.05 %), presenta un promedio de influencia total de 36.34 veces mayor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento. Este resultado coincide con lo reportado por Gómez y Silva (2020) en la vía Huaylillas – Buldibuyo, quienes observaron que la adición de 5 % de cemento y 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado permitió elevar el CBR hasta en 100.2 %, quienes demostraron que la adición progresiva de cemento portland tipo I junto al aceite sulfonado eleva de manera directa la resistencia mecánica del suelo. Asimismo, Barreto y Taco (2021) también determinaron que la combinación de aceite sulfonado y cemento mejora la máxima densidad seca y el CBR en bases granulares. De manera complementaria a nivel regional, Manrique (2021) y Hurtado y Ortega (2021) encontraron incrementos superiores al 200 % en el CBR con combinaciones similares, lo cual respalda que el empleo conjunto de ambos aditivos es una estrategia eficaz para estabilizar subrasantes de carreteras en la región de Apurímac.

En relación con el segundo objetivo específico, se analizó la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en la expansión volumétrica del suelo, tal como se aprecia en la Tabla 23. Por otro lado, la expansión volumétrica óptimo (0.076 %) obtenido mediante la aplicación de la MSR respecto al promedio de la expansión volumétrica patrón (2.392 %), presenta un promedio de influencia total de 31.47 veces menor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento. Los resultados de expansión volumétrica mostraron que la dosificación óptima permitió controlar adecuadamente la susceptibilidad del suelo frente a la humedad. En este aspecto, los hallazgos de Ipanaque (2022), demostró que la combinación de aceite sulfonado y cemento no solo incrementa el CBR, sino que también otorga estabilidad en presencia de agua. En el ámbito local, los resultados coinciden con los obtenidos por Hurtado y Ortega (2021), quienes encontraron que la mezcla de aceite sulfonado y cemento incrementó el CBR en más de 200 % y redujo la expansión al 100 % de la M.D.S., confirmando que este tipo de estabilización incrementa la resistencia y



disminuye el deterioro por acción del agua. En síntesis, la investigación evidencia que la interacción de los agentes estabilizantes estudiados no solo incrementa la resistencia, sino que también mitiga el riesgo de expansión volumétrica.

Respecto al tercer objetivo específico, se determinó la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en el coeficiente de permeabilidad del suelo, tal como se aprecia en la Tabla 24. Por otro lado, el coeficiente de permeabilidad óptimo ( $1.215 \times 10^{-6}$  cm/s) obtenido mediante la aplicación de la MSR respecto al promedio del coeficiente de permeabilidad patrón ( $55.74 \times 10^{-6}$  cm/s), presenta un promedio de influencia total de 45.48 veces menor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento. Lo que implica una mayor impermeabilidad y resistencia al flujo de agua a través del suelo estabilizado. Este resultado es respaldado por los hallazgos de Camacho et al. (2020), quienes determinaron el coeficiente de permeabilidad mediante 30 muestras de 0.90 m de profundidad aplicando la ley de Darcy bajo la norma ASTM D 5084. Los resultados mostraron conductividades hidráulicas entre 0.0033 y 0.0412 cm/s, concluyendo que el suelo presenta baja permeabilidad y baja saturación, condiciones asociadas a problemas de suelos expansivos. Asimismo, estudios nacionales como el de Romero (2022) destacan que la aplicación del aceite sulfonado muestra un coeficiente de permeabilidad de  $6.15 \times 10^{-6}$  cm/s lo que representa una disminución de 83.82% con respecto al coeficiente de permeabilidad del suelo natural y en el caso del cemento el coeficiente de permeabilidad reduce a  $1.12 \times 10^{-5}$  cm/s lo que representa una disminución del 70%. Esta disminución en la permeabilidad es fundamental, ya que limita la acción negativa del agua en la subrasante y mejora la vida útil.

En general, los resultados obtenidos confirman las hipótesis de aceite sulfonado con cemento portland I, empleando la metodología de superficie de respuesta, influye de manera significativa en las propiedades mecánicas y permeabilidad del suelo de la cantera Huaycha. Al compararse con los antecedentes internacionales, nacionales y regionales, se observa una clara consistencia en cuanto al incremento del CBR, la reducción de la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad. Por tanto, la investigación valida la aplicación de la MSR para determinar la óptima dosificación, así como también aporta evidencia empírica regional que fortalece la viabilidad técnica de emplear aceite sulfonado con cemento portland I como agentes estabilizadores en proyectos viales.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Respecto al objetivo general, se evaluó la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024. Los resultados obtenidos permitieron identificar el valor óptimo calculado mediante la aplicación de la MSR en los tratamientos de CBR, expansión volumétrica y coeficiente de permeabilidad respecto al patrón. El aporte científico de la presente investigación radica en demostrar, con sustento experimental y estadístico, la eficacia de la combinación de aceite sulfonado IONICSOIL y cemento portland I como un agente de estabilización química para suelos finos, evidenciando mejoras significativas en el CBR, la expansión volumétrica y el coeficiente de permeabilidad. A través de la MSR, se obtuvo un valor óptimo de tratamiento, permitiendo el incremento mecánico y permeable del suelo tratado hasta 37.76 veces respecto al material sin estabilizar con un  $p < 0.01$  de acuerdo a la tabla 28.

Respecto al primer objetivo específico, en la figura 35 el CBR óptimo (113.90 %) obtenido mediante la MSR respecto al promedio CBR patrón (3.05 %), presenta un promedio de influencia de 36.34 veces mayor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento. En consecuencia; podemos afirmar con un nivel de confianza del 95 % y un p-valor del modelo ( $p = 0.000 < 0.05$ ), que la combinación de aceite sulfonado con cemento portland I representa una alternativa efectiva para la estabilización química para suelos con finos, ya que no solo incrementa de manera significativa la capacidad de soporte del material, sino que también garantiza un comportamiento óptimo y confiable.

Respecto al segundo objetivo específico, en la figura 38 la expansión volumétrica óptimo (0.076 %) obtenido mediante la MSR respecto al promedio de expansión volumétrica patrón (2.392 %), presenta un promedio de influencia de 31.47 veces menor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento. En consecuencia; se puede afirmar con un nivel de confianza del 95 % y un p-valor del modelo ( $p = 0.000 < 0.05$ ), que la combinación de aceite sulfonado con cemento portland I influye de manera significativa en la disminución



de la expansión volumétrica del suelo, ofreciendo una alternativa efectiva para mejorar la estabilidad volumétrica y el desempeño geotécnico frente a variaciones de humedad.

Respecto al tercer objetivo específico, en la figura 41 el coeficiente de permeabilidad óptimo ( $1.215 \times 10^{-6}$  cm/s) obtenido mediante la MSR respecto al promedio del coeficiente de permeabilidad patrón ( $55.74 \times 10^{-6}$  cm/s), presenta un promedio de influencia de 45.48 veces menor al del suelo de la cantera Huaycha sin tratamiento. En consecuencia; se puede afirmar con un nivel de confianza del 95 % y un p-valor del modelo ( $p = 0.000 < 0.05$ ), que la combinación de aceite sulfonado con cemento portland I influye de manera significativa en el coeficiente de permeabilidad del suelo. Este hallazgo amplía el conocimiento existente sobre estabilización química para suelos finos, proponiendo una alternativa eficiente para mejorar la durabilidad y resistencia hidráulica.

## 6.2 Recomendaciones

Se recomienda a entidades responsables del diseño y ejecución de obras viales, ingenieros y laboratorios geotécnicos considerar e incorporar metodologías experimentales basadas en técnicas de optimización como la MSR durante la evaluación de alternativas de estabilización de suelos. La aplicación del tratamiento de aceite sulfonado IONICSOIL y cemento portland I como una alternativa viable para la estabilización de subrasantes con suelos finos, particularmente en zonas con elevada presencia de humedad. Los resultados demostraron incrementos significativos en el CBR, expansión volumétrica y permeabilidad, por lo que su implementación contribuiría a mejorar la durabilidad y desempeño estructural de las vías no pavimentadas. Así como también representa una alternativa económicamente sostenible, disminuye los costos de mantenimiento y mejora la eficiencia del gasto público en infraestructura vial.

Se recomienda a los ingenieros proyectistas, laboratorios especializados y entidades encargadas del diseño y elaboración de expedientes técnicos consideren la combinación de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I como una alternativa de estabilización para suelos finos, debido al incremento significativo del CBR observado (36.34 veces respecto al suelo sin tratamiento). Para fortalecer y ampliar estos resultados, se sugiere que futuras investigaciones evalúen distintas dosificaciones del tratamiento y desarrollen ensayos mecánicos complementarios, con el fin de determinar el comportamiento del suelo tratado frente a esfuerzos más representativos de condiciones reales de carga.

Se recomienda considerar la aplicación del tratamiento combinado de aceite sulfonado con cemento portland I en zonas donde los suelos presenten cambios volumétricos significativos debido a la presencia de humedad. La reducción obtenida en la expansión volumétrica (31.47 veces menor al del suelo sin tratamiento) indica que este procedimiento contribuye a minimizar deformaciones en subrasantes. Asimismo, para ampliar esta investigación se recomienda que estudios futuros incorporen distintas dosificaciones, con la finalidad de verificar y asegurar su desempeño en condiciones reales de servicio.

Se recomienda a tesistas e investigadores orientados al análisis hidráulico de suelos evalúen la aplicación del tratamiento de aceite sulfonado con cemento portland I en proyectos donde se requiera limitar y controlar la permeabilidad del agua en subrasante. La notable disminución del coeficiente de permeabilidad obtenida en la investigación (45.48 veces menor al del suelo sin tratamiento) indica que reduce procesos de saturación y deterioro asociado a la acumulación de humedad. Para fortalecer el conocimiento, se plantea que futuras investigaciones incorporen ensayos de infiltración a largo plazo, estudios de comportamiento bajo diferentes gradientes hidráulicos y evaluaciones en condiciones de campo, con el fin de contrastar el desempeño del suelo tratado frente a situaciones reales.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ACOSTA, Salomón, LAINES, Blanca y PIÑA, Gilber. 2014.** Estadística inferencial. *Repositorio académico UPC.* [En línea] 2014. [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/316022/ma148\\_manual\\_2014\\_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/316022/ma148_manual_2014_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**ÁLVARES, Brian y ROJAS, Luis. 2020.** Comparación de las alternativas de estabilización con cal, cemento, silicato de sodio y aceite sulfonado para vías terciarias con presencia de arcilla en la región de Orinoquia. *Repositorio Institucional Universidad Santo Tomas de Colombia.* [En línea] 2020. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/32040>.

**ARIAS, José y COVINOS, Mitsuo. 2021.** *Diseño y metodología de la investigación.* 1 ed. Arequipa : Enfoques Consulting EIRL, 2021. ISBN: 978-612-48444-2-3.

**BARRETO, Jhon y TACO, Jhon. 2021.** Estabilización de base granular con aceite sulfonado y cemento portland tipo I del camino vecinal Huasahuasi - Hacienda Calla, Tarma - Junín, Km 3+000 Km 4+000. *Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma.* [En línea] 2021. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4934>.

**BERNAL, Cesar. 2016.** *Metodología de la investigación.* 4 ed. Colombia : PEARSON EDUCACIÓN, Colombia, 2016. ISBN: 978-958-699-309-8.

**CAMACHO, Christian, ZABALA, Nancy y FLORES, Yetzabel. 2020.** Estimación del coeficiente de permeabilidad del suelo en la ciudad de Macas - Ecuador utilizando permeámetro de carga variable. *Dialnet.* [En línea] 2020. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539689>. ISSN-e: 2477-8818.

**CARRASCO, Sergio. 2019.** *Metodología de la investigación científica.* 2 ed. Lima : San Marcos, 2019. ISBN: 978-9972-38-344-1.

**COLLANTES, Ronald y ORBEGOSO, Luis. 2024.** *Técnicas actuales y tendencias para la mejora de la capacidad portante de suelos con aditivos.* CHOTA : Universidad Nacional Autónoma de Chota, 2024. p-ISSN: 2707-9848.



**CRESPO, Carlos. 2015.** *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 6 ed. Mexico : LIMUSA, S.A., 2015. ISBN: 9789681869632.

**DAS, Braja. 2015.** *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Mexico : Cengage Larning, 2015. ISBN: 978-607-519-372-4.

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). 2023.** Inversión de recursos públicos en infraestructura de vías terciarias. [En línea] 2023. <https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/inversion-de-recursos-publicos-en-infraestructura-de-vias-terciarias.aspx>.

**DOMINGO, Agustín. 2018.** *Ética de la investigación*. Barcelona : Herder Editorial, 2018. ISBN: 978-84-254-4095-3.

**DOMÍNGUEZ, Jorge y CASTAÑO, Eduardo. 2016.** *Diseño de experimentos. Estrategias y análisis en ciencias e ingeniería*. 1 ed. México : Alfaomega Grupo Editor, 2016. ISBN: 978-607-622-693-2.

**FICHA TÉCNICA IONICSOIL. 2017.** Aditivo para estabilización de suelos. *IONICSOIL*. [En línea] 2017. <https://ionicsoil.com/>.

**GALLARDO, Eliana. 2017.** *Metodología de la investigación*. 1 ed. Huancayo : Universidad Continental, 2017. ISBN: 978-612-4196-.

**GEOTECNIA. 2020.** Límites de Atterberg. Definición e interpretación. [En línea] 2020. <https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>.

**GIL, Cristina. 2019.** Metodología de superficie de respuesta (RSM). *Pubs RStudio*. [En línea] Setiembre de 2019. [Citado el: 25 de Abril de 2023.] [https://rpubs.com/Cristina\\_Gil/RSM](https://rpubs.com/Cristina_Gil/RSM).

**GÓMEZ, Andersen y SILVA, Elias. 2020.** Influencia del aceite sulfonado y cemento portland tipo I en la estabilización de la vía Huaylillas-Buldibuyo en la provincia de Pataz, 2020. *Repositorio Institucional Universidad Privada del Norte*. [En línea] 2020. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25225>.



**GONZÁLEZ, Constanza. 2020.** Estudios de infiltración y determinación de la constante de permeabilidad en suelos de la facultad de ingeniería de la universidad de Talca. *Repositorio Universidad de Talca*. [En línea] 2020. <https://repositorio.utalca.cl/>.

**GUTIÉRREZ, Humberto y DE LA VARA, Román. 2012.** *Análisis y diseño de experimentos*. 3 ed. México : McGrall-Hill Interamericana, 2012. ISBN: 978-607-15-0725-9.

**HERNÁNDEZ, Juan. 2008.** Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. *Biblioteca Universidad de San Carlos de Guatemala*. [En línea] 2008. [Citado el: 6 de Enero de 2024.] [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2861\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2861_C.pdf).

**HERNÁNDEZ, Rafael. 2011.** *Instrumentos de recopilación de datos en ciencias sociales y ciencias biomédicas*. Mérida : Createspace Independent, 2011. ISBN: 9781456444877.

**HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria Del Pilar. 2014.** *Metodología de la investigación*. 6 ed. Mexico : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

**HURTADO, Alexander y ORTEGA, Aldo. 2021.** Estabilización del Afirmado con Aceite Sulfonado y Cemento para el Diseño Vial en Soccos, Ocobamba Chincheros, Apurímac - 2021. *Repositorio Institucional Universidad Cesar Vallejo*. [En línea] 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84320>.

**IPANAQUE, Elmy. 2022.** Influencia del aditivo aceite sulfonado para estabilización de subrasante en los accesos del puente santa rosa, ubicado en el distrito y provincia de Huanta, Huancavelica, Perú, 2021. *Repositorio Universidad Nacional de Piura*. [En línea] 2022. <https://repositorio.unp.edu.pe/items/9a03a197-3018-47c0-b5a5-2a77fd9c97cd>.

**JUÁREZ, Eulalio y RICO, Alfonso. 2012.** *Mecánica de suelos I : Fundamentos de la mecánica de suelos*. Mexico : LIMUSA S.A., 2012. ISBN: 9789681800697.

**JURADO, Sergio. 2017.** Estadística inferencial. *Repositorio Universidad Continental*. [En línea] Mayo de 2017. <http://repositorio.continental.edu.pe/>.



**KRAEMER, Carlos, y otros. 2003.** *Ingeniería de carreteras*. Madrid : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 2003. Vol. I. ISBN: 84-481-3988-7.

**LESSO, Julio. 2012.** Aplicación de diseño experimental de experimentos para la mejora del proceso de moldeo. *Repositorio institucional de UAQ*. [En línea] Noviembre de 2012. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/6960>.

**LLANO, Eliana. 2021.** *Efecto del intemperismo sobre las propiedades fisicoquímicas, el desempeño y la durabilidad de suelos viales aditivados con estabilizantes químicos*. 2021.

**LLANO, Eliana, RÍOS, Diana y RESTREPO, Gloria. 2020.** *Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad*. Medellín : Universidad de Antioquia, 2020. Vol. 23. ISSN-e 2256-5337.

**MANRIQUE, Josmell. 2021.** Aplicación de aceite sulfonado para mejorar la subrasante en la Avenida La Cultura distrito de Pacucha, Andahuaylas, Apurímac - 2020. *Repositorio Institucional Universidad Cesar Vallejo*. [En línea] 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59612>.

**MARTÍNEZ, Laura y OLAYA, Yris. 2018.** *Estimación de costos del ciclo de vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales*. Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2018.

**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. 2018.** *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Lima : s.n., 2018.

—. **2014.** *Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima : s.n., 2014.

—. **2016.** *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima : s.n., 2016.

**MONTEJO, Alfonso. 2014.** *Ingeniería de pavimentos I. Fundamentos, estudios básicos y diseño*. 3 ed. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 2014. Vol. I. ISBN: 978-958-97617-9-3.

**MONTEJO, Alfonso, MONTEJO, Alejandro y MONTEJO, Alberto. 2018.** *Estabilización de suelos*. 1 ed. Bogota : Ediciones de la U, 2018. ISBN: 978-958-762-878-4.



**MONTGOMERY, Douglas. 2016.** *Diseño y análisis de experimentos*. 2 ed. México : LIMUSA S.A., 2016. ISBN: 968-18-6156-6.

**NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO-RESISTENTE. 2023.** *Reglamento de construcciones sismo-resistentes*. Bogotá : s.n., 2023.

**NTP 334.001. 2022.** CEMENTO. Terminología relacionada al cemento hidráulico y otros cementos inorgánicos. *INACAL*. [En línea] 2022. <https://www.gob.pe/inacal>.

**NTP 334.009. 2023.** CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos. *INACAL*. [En línea] 2023. <https://www.gob.pe/inacal>.

**NÚÑEZ, Xavier. 2015.** Análisis de la estabilización del material de cantera Km 02+700 de la ruta CU-123 San Jerónimo Mayumbamba, con la adición de estabilizante iónico. *Repositorio Digital Universidad Andina del Cusco*. [En línea] 2015. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/346>.

**ÑAUPAS, Humberto et al. 2018.** *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*. 5 ed. Bogotá : Ediciones de la U, 2018. ISBN: 978-958-762-876-0.

**PÁEZ, John y DÍAZ, Luis. 2019.** Influencia de la adición de aceite sulfonado en la respuesta dinámica a pequeñas deformaciones de un material granular arcilloso. *Repositorio de la Universidad Santo Tomás*. [En línea] 2019. <https://repository.usta.edu.co/items/aa50c123-de9f-440d-91ed-eac3c5f30a38>.

**PALELLA, Santa y MARTINS, Feliberto. 2012.** *Metodología de la investigación cuantitativa*. 3 ed. Caracas : Fondo editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2012. ISBN: 980-273-445-4.

**PINTO, Carlos, ULLOA, Johan y OROZCO, Mike. 2025.** *Estudio de las propiedades físico y mecánicas de los suelos de las zonas urbanas y rurales de la provincia de Tungurahua y Chimborazo*. Ambato : Universidad tecnológica Indoamérica, 2025. Vol. 6. ISSN: 2806-5905.

**PRO-ROAD. 2020.** Estabilización de suelos. *PRO-ROAD GLOBAL*. [En línea] 2020. <https://www.proroadglobal.com/estabilizantes-de-suelos/>.



**PUERTA, Lizbeth y MARÍN, Enselmina. 2015.** Analisis de validez de contenido de un instrumento de transferencia de tecnología. [En línea] 2015. <https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2015/2.02.pdf>.

**REY, Carla y RAMIL, María. 2007.** *Introducción a la estadística descriptiva*. La Coruña : Netbiblo, 2007. ISBN: 978-84-9745-167-3.

**REYES, Reynaldo, SÁENZ, Kelly y MONTEAGUDO, Vilma. 2023.** *Productos químicos en la estabilización de suelos : Evaluación del impacto ambiental y prácticas sostenibles*. Santa Maria : ARCO, 2023. ISBN: 978-65-5417-149-6.

**RICO, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilo. 2011.** *La ingeniería de suelos en las vías terrestres : carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. 2 ed. Mexico : Limusa S.A., 2011. Vol. I.

**RIVERA, Jhonathan et al. 2020.** Estabilización química de suelos - materiales convencionales y activados alcalinamente. *Sistema de bibliotecas*. [En línea] 2020. [https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/2530](https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530).

**ROMERO, Issa. 2022.** Estabilización de suelos con aditivos químicos para disminuir la infiltración del agua en la capa granular de un pavimento económico. *Repositorio Universidad Nacional Federico Villareal*. [En línea] 2022.

**RUSTOM, Antonio. 2012.** *Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia*. Santiago : Universidad de Chile, 2012. ISBN: 978-956-19-0790-4.

**SALDAÑA, Marcela, y otros. 2024.** *Principios de la estadística descriptiva*. Cajamarca : Universidad Nacional de Jaen, 2024. ISBN: 978-612-48908-5-7.

**SALGÁDO, Veronica, CARRILLO, Margarita y LLANOS, Rubén. 2023.** Persiste el mal estado de los caminos rurales por falta de mantención. s.l. : El Austral de Osorno, 22 de Abril de 2023.

**SANCHEZ, Francisco. 2019.** *Guía de tesis y proyectos de investigación*. Arequipa : Biblioteca Nacional del Perú, 2019. ISBN: 978-612-00-4519-0.



**SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. 2018.** *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Lima : Universidad Ricardo Palma, 2018. ISBN: 978-612-47351-4-1.

**TASILLA, Edson. 2023.** Influencia de cemento y aceite sulfonado, como agentes estabilizadores de afirmado en el camino vecinal Emp. CA-1459 (La Colpa) - Agopampa Huacariz, Huacariz - Agocucho. *Repositorio Institucional Universidad Nacional de Cajamarca*. [En línea] 2023. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5998>.

**UNAMBA. 2018.** Código de ética para la investigación. *Vice rectorado de investigación*. [En línea] 2018. <https://drive.google.com/file/d/1qUXgawJyA5BK3vg6UY1YKln0DNAehTI/view>.



## ANEXOS



Anexo A

Tabla 35 — Matriz de consistencia de la investigación

| Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                      |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Problema                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Hipótesis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Variables                                                                            | Dimensiones                                               | Indicadores                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Metodología                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>PG</b></p> <p>¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?</p> <p><b>PE-1:</b></p> <p>¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?</p> | <p><b>OG</b></p> <p>Evaluar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> <p><b>OE-1:</b></p> <p>Analizar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> | <p><b>HG</b></p> <p>El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> <p><b>HE-1:</b></p> <p>El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el CBR empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> | <p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Aceite sulfonado con cemento portland I</p> | <p>Adición de aceite sulfonado con cemento portland I</p> | <p>Cantidad de aceite sulfonado</p> <p>a) 0.15 lt/m<sup>3</sup></p> <p>b) 0.20 lt/m<sup>3</sup></p> <p>c) 0.25 lt/m<sup>3</sup></p> <p>d) 0.30 lt/m<sup>3</sup></p> <p>e) 0.35 lt/m<sup>3</sup></p> <p>Porcentaje de cemento portland I</p> <p>a) 1.50 %</p> <p>b) 2.00 %</p> <p>c) 2.50 %</p> <p>d) 3.00 %</p> <p>e) 3.50 %</p> | <p><b>Enfoque de investigación</b></p> <p>Cuantitativo</p> <p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación</b></p> <p>Explicativo</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>Experimental - experimento puro</p> <p>Metodología de superficie de respuesta - punto óptimo</p> <p><b>Técnica de investigación</b></p> <p>La observación</p> <p><b>Instrumento de investigación</b></p> <p>Fichas y formatos:</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                            |                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>PE-2:</b><br/>¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?</p> <p><b>PE-3:</b><br/>¿Cuál es la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024?</p> | <p><b>OE-2:</b><br/>Analizar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> <p><b>OE-3:</b><br/>Determinar la influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> | <p><b>HE-2:</b><br/>El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en la expansión volumétrica empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> <p><b>HE-3:</b><br/>El aceite sulfonado con cemento portland I influye significativamente en el coeficiente de permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024</p> | <p><b>Variable dependiente – 1:</b><br/>Propiedades mecánicas</p> <p><b>Variable dependiente- 2:</b><br/>Permeabilidad</p> | <p>Capacidad de soporte (CBR)</p> <p>Expansión volumétrica</p> <p>Coeficiente de permeabilidad</p> | <p>Grado de compactación</p> <p>Índice del CBR</p> <p>Deformación bajo carga</p> <p>Porcentaje de expansión</p> <p>Tiempo de expansión</p> <p>Conductividad hidráulica del suelo</p> <p>Tiempo de drenaje</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formato para registrar el CBR y expansión volumétrica.</li> <li>• Formato para registrar el coeficiente de permeabilidad.</li> <li>• Ficha de dosificación de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I.</li> </ul> <p><b>Población</b><br/>Constituida por 24 combinaciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I, obtenidas mediante el diseño central compuesto.</p> <p><b>Muestra</b><br/>Constituida por 24 combinaciones de aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland I, obtenidas mediante el diseño central compuesto.</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## Anexo B

### Instrumentos de recolección de datos de la investigación

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>DOSIFICACIÓN DE ACEITE SULFONADO IONICSOIL CON CEMENTO PORTLAND TIPO I</b> |  |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------|--------|--------------------------------------------|--|-------------------|------------------------------|--|----|----------------------------------------------|--|-------------------|--------------------------------------|--|----|-------------------------------------------------|--|----|----------------|--|----|---------------------------------------------------------------|--|---------|
| <b>TESISTAS:</b> Bach. Jaime Jose Morales Tello / Bach. Russell Quicaña Huaccharaqui<br><b>TESIS:</b> Influencia de aceite sulfonado con cemento portland en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, carretera AP-768, Aymaraes – 2024<br><b>MUESTRA:</b> Cantera Huaycha, Carretera AP-768<br><b>TIPO DE SUELO:</b> Arena mal gradada con arcilla con grava SP SC de mediana plasticidad<br><b>DOSIFICACION:</b> Aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland tipo I<br><b>FECHA:</b> 18/09/2024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                               |                                                                                     |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 40%;">DOSIFICACIÓN DE ACEITE SULFONADO IONICSOIL</th> <th style="width: 10%;">UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dosificación de aceite sulfonado IONICSOIL</td> <td></td> <td style="text-align: center;">lt/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Peso del material de cantera</td> <td></td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario suelto del material de cantera</td> <td></td> <td style="text-align: center;">kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Húmedad natural</td> <td></td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td>Húmedad óptima de compactación</td> <td></td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td>Agua requerida</td> <td></td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Cantidad de aceite sulfonado IONICSOIL para adicionar al agua</td> <td></td> <td style="text-align: center;">gr o ml</td> </tr> </tbody> </table> |                                                                               |                                                                                     | DESCRIPCIÓN | DOSIFICACIÓN DE ACEITE SULFONADO IONICSOIL | UNIDAD | Dosificación de aceite sulfonado IONICSOIL |  | lt/m <sup>3</sup> | Peso del material de cantera |  | gr | Peso unitario suelto del material de cantera |  | kg/m <sup>3</sup> | Húmedad natural                      |  | %  | Húmedad óptima de compactación                  |  | %  | Agua requerida |  | gr | Cantidad de aceite sulfonado IONICSOIL para adicionar al agua |  | gr o ml |
| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | DOSIFICACIÓN DE ACEITE SULFONADO IONICSOIL                                    | UNIDAD                                                                              |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Dosificación de aceite sulfonado IONICSOIL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                               | lt/m <sup>3</sup>                                                                   |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Peso del material de cantera                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                               | gr                                                                                  |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Peso unitario suelto del material de cantera                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                               | kg/m <sup>3</sup>                                                                   |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Húmedad natural                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                               | %                                                                                   |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Húmedad óptima de compactación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                               | %                                                                                   |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Agua requerida                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                               | gr                                                                                  |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Cantidad de aceite sulfonado IONICSOIL para adicionar al agua                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                               | gr o ml                                                                             |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 40%;">DOSIFICACIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO I</th> <th style="width: 10%;">UNIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dosificación de cemento portland tipo I</td> <td></td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td>Peso del material de cantera</td> <td></td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Húmedad natural</td> <td></td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td>Cantidad de material seco de cantera</td> <td></td> <td style="text-align: center;">kg</td> </tr> <tr> <td>Cantidad de cemento portland necesaria a añadir</td> <td></td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> </tbody> </table>                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                               |                                                                                     | DESCRIPCIÓN | DOSIFICACIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO I    | UNIDAD | Dosificación de cemento portland tipo I    |  | %                 | Peso del material de cantera |  | gr | Húmedad natural                              |  | %                 | Cantidad de material seco de cantera |  | kg | Cantidad de cemento portland necesaria a añadir |  | gr |                |  |    |                                                               |  |         |
| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | DOSIFICACIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO I                                       | UNIDAD                                                                              |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Dosificación de cemento portland tipo I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                               | %                                                                                   |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Peso del material de cantera                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                               | gr                                                                                  |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Húmedad natural                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                               | %                                                                                   |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Cantidad de material seco de cantera                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                               | kg                                                                                  |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Cantidad de cemento portland necesaria a añadir                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                               | gr                                                                                  |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| Observación: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                               |                                                                                     |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <div style="margin-top: 10px;"> <br/> <b>JOSE AUGUSTO QUISPE MUNARES</b><br/>           ING. CIVIL<br/>           CIP. N° 300569         </div> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                               |                                                                                     |             |                                            |        |                                            |  |                   |                              |  |    |                                              |  |                   |                                      |  |    |                                                 |  |    |                |  |    |                                                               |  |         |

**Figura 42 — Ficha de dosificación de aceite sulfonado con cemento portland I**

## NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883

CEB-2024

SUBRASANTE

18/09/2024

BACH JAIME JOSE MORALES TELLO / RUSSELL QUICANA HUACCHARAQUI

AP.768 CHALHUANCA

INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-76E, AYMARAE - 2024

HUAYCHA KM 04 + 121

PINCAHUACHO - CHALHUANCA - PROVINCIA DE AYMARAES - DEPARTAMENTO DE APURIMAC

M-1

ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA 5C-3M DE BAJA PLASTICIDAD

1.91 g/cm<sup>3</sup>

COLOR CAFÉ CLARO

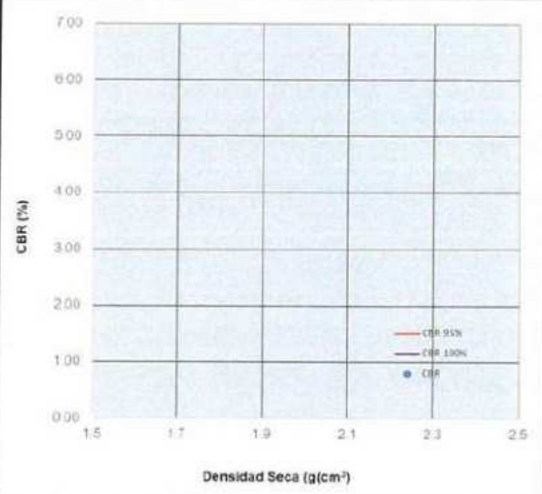
0.15Itm<sup>3</sup> A.S. + 1.50% C.P.P.

| Cálculo de humedad                   |             |          |             |          |             |          |
|--------------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| Molde N°                             | 1           |          | 2           |          | 3           |          |
| Capas N°                             | 5           |          | 5           |          | 5           |          |
| Golpes por Capa N°                   | 56          |          | 25          |          | 12          |          |
| Condición de la muestra              | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)     |             |          |             |          |             |          |
| Peso de molde (g)                    |             |          |             |          |             |          |
| Peso del Suelo húmedo (g)            |             |          |             |          |             |          |
| Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ) |             |          |             |          |             |          |
| Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> ) |             |          |             |          |             |          |
| Tara (N°)                            |             |          |             |          |             |          |
| Peso suelo húmedo + tara (g)         |             |          |             |          |             |          |
| Peso suelo seco + tara (g)           |             |          |             |          |             |          |
| Peso tara (g)                        |             |          |             |          |             |          |
| Peso de agua (g)                     |             |          |             |          |             |          |
| Peso de suelo seco (g)               |             |          |             |          |             |          |
| Contenido de humedad (%)             |             |          |             |          |             |          |
| Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )   |             |          |             |          |             |          |

[illegible][illegible]**OBSERVACIONES:**

|  <b>MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO</b><br>NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883 |                                                                                                                                                                                                       | <b>ENSAYO N°:</b> CBR-2024<br><b>DENOMINACIÓN:</b> SUBRASANTE<br><b>Fecha:</b> 10/09/2024 |                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>TESISTAS:</b>                                                                                                                                                                                                                        | BACH. JAIME JOSE MORALES TELLO / RUSSELL QUICANA HUACCHARAQUI                                                                                                                                         | <b>CARRETERA:</b>                                                                         | AP-768 CHALHUANCA - PINCAHUACHO          |
| <b>TEGÍS:</b>                                                                                                                                                                                                                           | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP. 768, AYMARAE - 2024 | <b>CANTERA:</b>                                                                           | HUAYCHA KM 04 + 420                      |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b>                                                                                                                                                                                                                    | PINCAHUACHO - CHALHUANCA - PROVINCIA DE AYMARAE - DEPARTAMENTO DE APURÍMAC                                                                                                                            | <b>MUESTRA:</b>                                                                           | M-1                                      |
| <b>TIPO DE MATERIAL:</b>                                                                                                                                                                                                                | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SG-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                            | <b>MÁXIMA DENSIDAD SECA:</b>                                                              | 1.91 g/cm <sup>3</sup>                   |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b>                                                                                                                                                                                                                     | COLOUR CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                     | <b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>                                                                    | 8.70%                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                       | <b>DOSIFICACIÓN:</b>                                                                      | 0.15 l/m <sup>3</sup> A.S. + 1.50% C.P.P |



**Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>)**

**MÉTODO DE COMPACTACIÓN:** NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557

MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>):

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):

95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm<sup>3</sup>): 100%

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| C.B.R. al 100% de M.D.S (0.1") : | 0.0 |
| C.B.R. al 95% de M.D.S (0.1") :  | 0.0 |

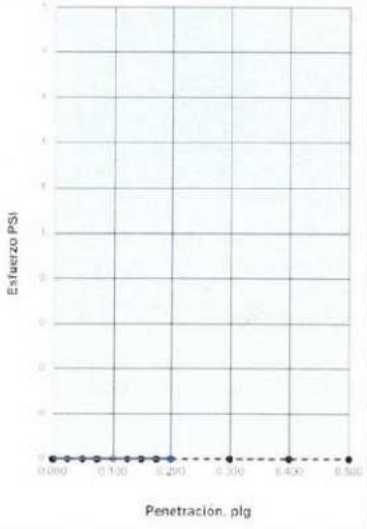
**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 0.0 %

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 0.0 %

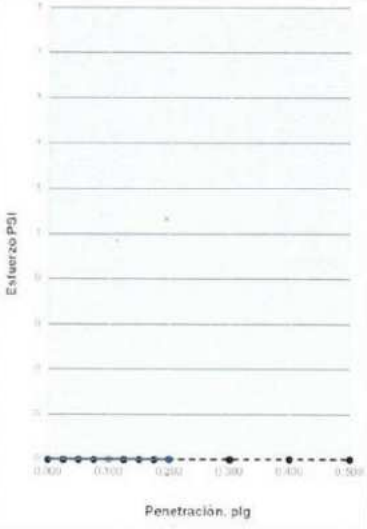
  

**56 GOLPES**



**Penetración, plg**

**25 GOLPES**



**Penetración, plg**

**12 GOLPES**



**Penetración, plg**

**OBSERVACIONES:**



APROBÓ



**JOSÉ AUGUSTO QUEREQUENARES**  
ING. CIVIL  
CIP. N° 300569

Figura 44 — Formato de obtención del CBR

|                                                                                                                                                                                                                     |  |                                            |  |  |  |                                                                                        |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                                                                    |  | <b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD ASTM D 5084</b> |  |  |  | <b>ENSAYO No:</b> 001-2024                                                             |  |
|                                                                                                                                                                                                                     |  |                                            |  |  |  | <b>DENOMINACION:</b> SUBRASANTE                                                        |  |
|                                                                                                                                                                                                                     |  |                                            |  |  |  | <b>FECHA:</b> 18/09/2024                                                               |  |
| <b>TESISTAS:</b> BACH. JAIME JOSE MORALES TELLO / RUSSELL QUICANA HUACCHARAQUI                                                                                                                                      |  |                                            |  |  |  | <b>CARRETERA:</b> AP-768 CHALHUANGA - PINCAHUACHO                                      |  |
| <b>TESIS:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-768, AYMARAES - 2024 |  |                                            |  |  |  | <b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 04+420                                                      |  |
|                                                                                                                                                                                                                     |  |                                            |  |  |  | <b>MUESTRA:</b> M-1                                                                    |  |
| <b>TIPO:</b> ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |  |                                            |  |  |  | <b>DOSIFICACIÓN:</b> 0.00 lt/m <sup>3</sup> Aceite sulfonado + 0.00 % cemento portland |  |
| <b>COLOR:</b> COLOR CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                      |  |                                            |  |  |  |                                                                                        |  |

| N° | Código de muestra                                        | Longitud de la muestra (cm) | Diámetro de la muestra (cm) | Área de la muestra (cm <sup>2</sup> ) | Área de la tubería de carga (cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de descarga (s) | h1 (cm)         | h2 (cm) | k (cm/s) |
|----|----------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|-----------------|---------|----------|
| 1  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 2  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 3  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 4  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 5  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 6  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 7  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 8  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 9  | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
| 10 | 0.00 lt/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 % CEMENTO |                             |                             |                                       |                                                |                        |                 |         |          |
|    |                                                          |                             |                             |                                       |                                                |                        | PROMEDIO (cm/s) |         |          |

ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

$$k = 2.30 \times \frac{L \times A_e}{t \times A_m} \times \log_{10} \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

k: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 L: Longitud de la muestra (cm)  
 t: tiempo de descarga (s)  
 Am: Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)  
 Ae: Área de la tubería de carga (cm<sup>2</sup>)  
 h1: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)  
 h2: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)

| LABORATORIO                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  <div style="text-align: right;"> <br/> <b>JOSE AUGUSTO QUISPE MUÑARES</b><br/>             INGENIERO CIVIL<br/>             CIP. N° 300569           </div> |

Figura 45 — Formato de obtención del coeficiente de permeabilidad

Anexo C

Validación de instrumentos de juicio de expertos

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS**

**I. DATOS GENERALES**

Tesis titulada: Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

Presentado por: Bach. Jaime Jose Morales Tello

Bach. Russell Quicaña Huaccharaqui

**II. DATOS DEL EXPERTO**

Nombres y apellidos: Wilson Mollocondo Flores

Especialidad: Ing. Estadístico

Cargo e institución donde labora: Docente UNBMO

**III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la valoración del instrumento, eligiendo solo una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

|               |            |          |              |              |
|---------------|------------|----------|--------------|--------------|
| 1. Deficiente | 2. Regular | 3. Buena | 4. Muy buena | 5. Excelente |
|---------------|------------|----------|--------------|--------------|

| Componentes | Indicadores        | Valoración cuantitativa                                          | Valoración |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|
|             |                    |                                                                  | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Forma       | 1. Redacción       | Está redactado considerando elementos necesarios                 |            |   |   |   | X |
|             | 2. Claridad        | Esta formulado con el lenguaje correcto                          |            |   |   |   | X |
|             | 3. Objetividad     | Esta expresada en conducta observable                            |            |   |   | X |   |
| Contenido   | 4. Actualidad      | Esta con el avance de la ciencia y tecnología                    |            |   |   | X |   |
|             | 5. Suficiencia     | Evalúa las dimensiones de la variable en cantidad y calidad      |            |   |   | X |   |
|             | 6. Intencionalidad | Es adecuado para alcanzar los objetivos de la investigación      |            |   |   |   | X |
| Estructura  | 7. Organización    | Existe una expresión lógica y secuencial                         |            |   |   |   | X |
|             | 8. Consistencia    | Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación     |            |   |   | X |   |
|             | 9. Coherencia      | Existe coherencia entre las variables, indicadores y dimensiones |            |   |   | X |   |
|             | 10. Metodología    | La estrategia responde a la finalidad del diagnostico            |            |   |   | X |   |

**IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

Procede su aplicación

**V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO**

Procede su aplicación (X) Debe corregirse ( )

Abancay, 18 de setiembre del 2024



Firma y sello del experto  
DNI: 01322722

Figura 46 — Validación del experto Dr. Wilson Mollocondo Flores

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Tesis titulada: Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

Presentado por: Bach. Jaime José Morales Tello

Bach. Russell Quicaña Huaccharaqui

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos: José Abdón Sotomayor Chahuaylla

Especialidad: Gestión pública

Cargo e institución donde labora: VNA-Mesa - Director Adm.

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la valoración del instrumento, eligiendo solo una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente    2. Regular    3. Buena    4. Muy buena    5. Excelente

| Componentes | Indicadores        | Valoración cuantitativa                                          | Valoración |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|
|             |                    |                                                                  | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Forma       | 1. Redacción       | Está redactado considerando elementos necesarios                 |            |   |   |   | X |
|             | 2. Claridad        | Esta formulado con el lenguaje correcto                          |            |   |   |   | X |
|             | 3. Objetividad     | Esta expresada en conducta observable                            |            |   |   |   | X |
| Contenido   | 4. Actualidad      | Esta con el avance de la ciencia y tecnología                    |            |   |   |   | X |
|             | 5. Suficiencia     | Evalúa las dimensiones de la variable en cantidad y calidad      |            |   |   |   | X |
|             | 6. Intencionalidad | Es adecuado para alcanzar los objetivos de la investigación      |            |   |   |   | X |
| Estructura  | 7. Organización    | Existe una expresión lógica y secuencial                         |            |   |   |   | X |
|             | 8. Consistencia    | Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación     |            |   |   |   | X |
|             | 9. Coherencia      | Existe coherencia entre las variables, indicadores y dimensiones |            |   |   |   | X |
|             | 10. Metodología    | La estrategia responde a la finalidad del diagnostico            |            |   |   |   | X |

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Procede su aplicación

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede su aplicación (X)      Debe corregirse ( )

Abancay, 18 de setiembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL  
MICAEL ANTONIO DE LA CRUZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
D. José A. Sotomayor Chahuaylla  
INGENIERO DE PROFESIÓN

Firma y sello del experto  
DNI: 31551681

Figura 47 — Validación del experto Dr. José Abdón Sotomayor Chahuaylla

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

## I. DATOS GENERALES

**Tesis titulada:** Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

Presentado por: Bach. Jaime Jose Morales Tello

Bach, Russell Quicaña Huaccharaqui

## II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos: Mg. Romulo Gomez Nobrega

Especialidad: Ing. civil

Cargo e institución donde labora: Especialista en Inversiones Gob. Dto. AP.

### III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la valoración del instrumento, eligiendo solo una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente    2. Regular    3. Buena    4. Muy buena    5. Excelente

| Componentes | Indicadores        | Valoración cuantitativa                                          | Valoración |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|
|             |                    |                                                                  | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Forma       | 1. Redacción       | Está redactado considerando elementos necesarios                 |            |   |   | X |   |
|             | 2. Claridad        | Esta formulado con el lenguaje correcto                          |            |   |   | X |   |
|             | 3. Objetividad     | Esta expresada en conducta observable                            |            |   |   | X |   |
| Contenido   | 4. Actualidad      | Esta con el avance de la ciencia y tecnología                    |            |   | X |   |   |
|             | 5. Suficiencia     | Evalúa las dimensiones de la variable en cantidad y calidad      |            |   |   | X |   |
|             | 6. Intencionalidad | Es adecuado para alcanzar los objetivos de la investigación      |            |   |   | X |   |
| Estructura  | 7. Organización    | Existe una expresión lógica y secuencial                         |            |   |   | X |   |
|             | 8. Consistencia    | Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación     |            |   | X |   |   |
|             | 9. Coherencia      | Existe coherencia entre las variables, indicadores y dimensiones |            |   |   | X |   |
|             | 10. Metodología    | La estrategia responde a la finalidad del diagnóstico            |            |   |   | X |   |

#### IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Procede su aplicación

## V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede su aplicación 

Debe corregirse ( )

Abancay, 18 de setiembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL RICARDO BASTIDA  
DE INGENIERIA  
*[Signature]*  
MAYOR ROBERTO GARCIA NOBLEGA  
ESTUDIANTE

Firma y sello del experto

DNI: 31 00 95 66

**Figura 48 — Validación del experto Mag. Rómulo Gómez Noblega**

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Tesis titulada: Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

Presentado por: Bach. Jaime Jose Morales Tello

Bach. Russell Quicaña Huaccharaqui

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos: Danilo Saavedra Ore

Especialidad: Estructuras

Cargo e institución donde labora: Universidad Tecnológica de los Andes

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la valoración del instrumento, eligiendo solo una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

1. Deficiente 2. Regular 3. Buena 4. Muy buena 5. Excelente

| Componentes | Indicadores        | Valoración cuantitativa                                          | Valoración |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|
|             |                    |                                                                  | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Forma       | 1. Redacción       | Está redactado considerando elementos necesarios                 |            |   |   | X |   |
|             | 2. Claridad        | Esta formulado con el lenguaje correcto                          |            |   |   | X |   |
|             | 3. Objetividad     | Esta expresada en conducta observable                            |            |   | X |   |   |
| Contenido   | 4. Actualidad      | Esta con el avance de la ciencia y tecnología                    |            |   |   |   | X |
|             | 5. Suficiencia     | Evalúa las dimensiones de la variable en cantidad y calidad      |            |   |   | X |   |
|             | 6. Intencionalidad | Es adecuado para alcanzar los objetivos de la investigación      |            |   |   | X |   |
| Estructura  | 7. Organización    | Existe una expresión lógica y secuencial                         |            |   | X |   |   |
|             | 8. Consistencia    | Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación     |            |   |   |   | X |
|             | 9. Coherencia      | Existe coherencia entre las variables, indicadores y dimensiones |            |   |   | X |   |
|             | 10. Metodología    | La estrategia responde a la finalidad del diagnostico            |            |   |   | X |   |

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Es aplicable para la especialidad de los Tesis

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede su aplicación ☒

Debe corregirse ( )

Abancay, 18 de setiembre del 2024

Donilo Saavedra Ore

ING. CIVIL

CIR. 204411

Firma y sello del experto

DNI: 910 10838

Figura 49 — Validación del experto Mag. Danilo Saavedra Ore

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

**I. DATOS GENERALES**

Tesis titulada: Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024.

Presentado por: Bach. Jaime Jose Morales Tello

Bach. Russell Quicaña Huaccharaqui

**II. DATOS DEL EXPERTO**

Nombres y apellidos: Mtro. Noel Molina Navarrete

Especialidad: Ing. Civil

Cargo e institución donde labora: CINAMBA

**III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

Marque con una (X) en el recuadro correspondiente a la valoración del instrumento, eligiendo solo una opción por cada criterio, según lo que considere apropiado sobre el cuestionario.

|               |            |          |              |              |
|---------------|------------|----------|--------------|--------------|
| 1. Deficiente | 2. Regular | 3. Buena | 4. Muy buena | 5. Excelente |
|---------------|------------|----------|--------------|--------------|

| Componentes | Indicadores        | Valoración cuantitativa                                          | Valoración |   |   |   |   |
|-------------|--------------------|------------------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|
|             |                    |                                                                  | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Forma       | 1. Redacción       | Está redactado considerando elementos necesarios                 |            |   | X |   |   |
|             | 2. Claridad        | Esta formulado con el lenguaje correcto                          |            |   |   | X |   |
|             | 3. Objetividad     | Esta expresada en conducta observable                            |            |   | X |   |   |
| Contenido   | 4. Actualidad      | Esta con el avance de la ciencia y tecnología                    |            |   |   | X |   |
|             | 5. Suficiencia     | Evalúa las dimensiones de la variable en cantidad y calidad      |            |   | X |   |   |
|             | 6. Intencionalidad | Es adecuado para alcanzar los objetivos de la investigación      |            |   |   | X |   |
| Estructura  | 7. Organización    | Existe una expresión lógica y secuencial                         |            |   |   | X |   |
|             | 8. Consistencia    | Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación     |            |   |   | X |   |
|             | 9. Coherencia      | Existe coherencia entre las variables, indicadores y dimensiones |            |   | X |   |   |
|             | 10. Metodología    | La estrategia responde a la finalidad del diagnóstico            |            |   | X |   |   |

**IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

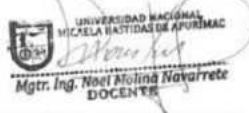
RECOMIENDO PROCEDER CON SU APLICACIÓN

---

**V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO**

Procede su aplicación ☒ Debe corregirse ( )

Abancay, 18 de setiembre del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL  
VICELASIA INSTITUTO DE APURIMAC  
Mgtr. Ing. Noel Molina Navarrete  
DOCENTE

Firma y sello del experto

DNI: 46621451

Figura 50 — Validación del experto Mag. Noel Molina Navarrete

## Anexo D

### Panel fotográfico



Figura 51 — Identificación del tramo AP-768 Baños Termales de Pincahuacho



Figura 52 — Inspección y registro de datos técnicos en la carretera vecinal AP-768



Figura 53 — Contenido de humedad de la muestra de cantera Huaycha



Figura 54 — Clasificación de suelo mediante análisis granulométrico por tamizado



Figura 55 — Ensayo de límite plástico



Figura 56 — Secado en el horno muestras límite líquido y límite plástico



Figura 57 — Preparación de muestras para Proctor modificado

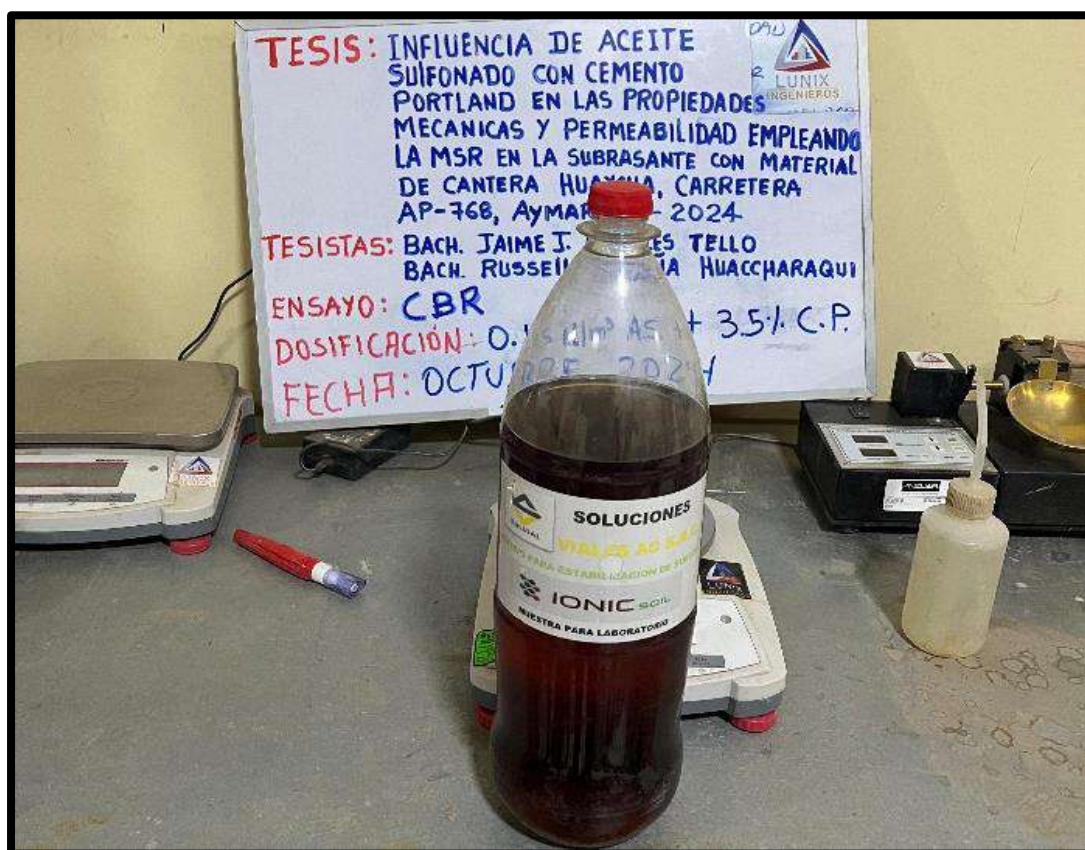


Figura 58 — Aceite sulfonado IONICSOIL

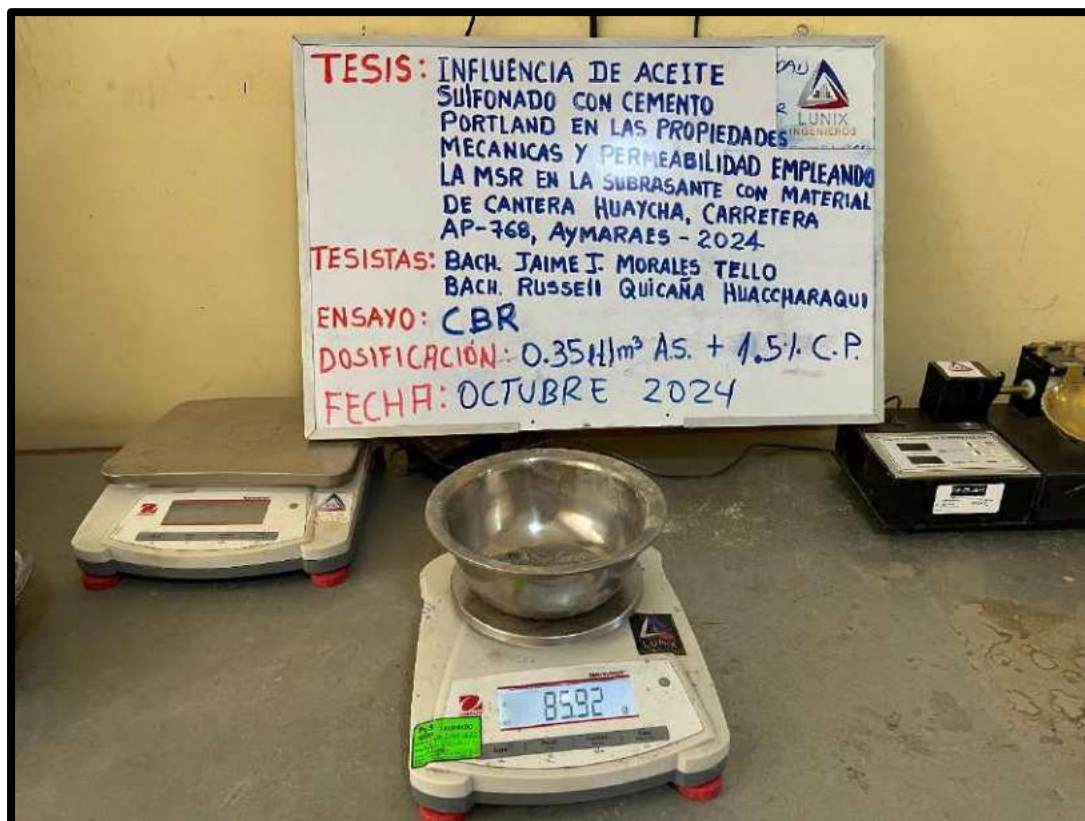


Figura 59 — Peso del cemento portland I – dosificación 1.50 %



Figura 60 — Combinación del agua con el aceite sulfonado IONICSOIL



Figura 61 — Combinación del cemento portland I con el material de cantera Huaycha



Figura 62 — Inmersión de moldes CBR para el ensayo de expansión volumétrica



Figura 63 — Medición de la expansión volumétrica en especímenes de CBR



Figura 64 — Ensayo de rotura en la prueba CBR



Figura 65 — Moldes de las muestras después del ensayo CBR

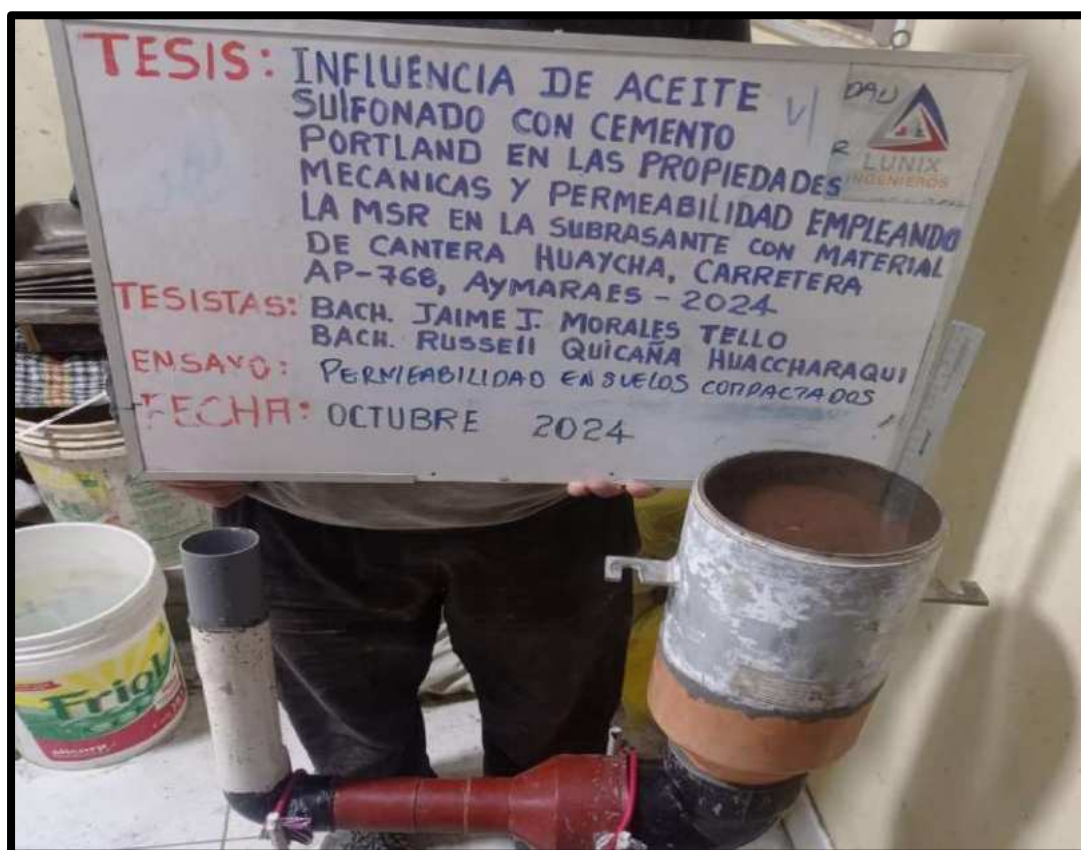


Figura 66 — Ensayo de permeabilidad en suelos mediante carga variable

## Anexo E

### Resultados de laboratorio

|                                                                                                                                    | <b>DOSIFICACIÓN DE ACEITE SULFONADO IONICSOIL CON CEMENTO PORTLAND TIPO I</b> |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TESISTAS:</b> Bach. Jaime Jose Morales Tello / Bach. Russell Quicaña Huaccharaqui                                                                                                                                |                                                                               |                                                                                     |
| <b>TESIS:</b> Influencia de aceite sulfonado con cemento portland en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, carretera AP-768, Aymaraes – 2024 |                                                                               |                                                                                     |
| <b>MUESTRA:</b> Cantera Huaycha, Carretera AP-768                                                                                                                                                                   |                                                                               |                                                                                     |
| <b>TIPO DE SUELO:</b> Arena mal gradada con arcilla con grava SP SC de mediana plasticidad                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                     |
| <b>DOSIFICACION:</b> Aceite sulfonado IONICSOIL con cemento portland tipo I                                                                                                                                         |                                                                               |                                                                                     |
| <b>FECHA:</b> 18/09/2024                                                                                                                                                                                            |                                                                               |                                                                                     |

| DESCRIPCIÓN                                                   | DOSIFICACIÓN DE ACEITE SULFONADO IONICSOIL |         |         |         |         | UNIDAD            |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------------|
| Dosificación de aceite sulfonado IONICSOIL                    | 0.15                                       | 0.20    | 0.25    | 0.30    | 0.35    | lt/m <sup>3</sup> |
| Peso del material de cantera                                  | 6000                                       | 6000    | 6000    | 6000    | 6000    | gr                |
| Peso unitario suelto del material de cantera                  | 1614.75                                    | 1614.75 | 1614.75 | 1614.75 | 1614.75 | kg/m <sup>3</sup> |
| Húmedad natural                                               | 6.67                                       | 6.67    | 6.67    | 6.67    | 6.67    | %                 |
| Húmedad óptima de compactación                                | 8.70                                       | 8.70    | 8.70    | 8.70    | 8.70    | %                 |
| Agua requerida                                                | 121.80                                     | 121.80  | 121.80  | 121.80  | 121.80  | gr                |
| Cantidad de aceite sulfonado IONICSOIL para adicionar al agua | 0.56                                       | 0.74    | 0.93    | 1.11    | 1.30    | gr o ml           |

| DESCRIPCIÓN                                     | DOSIFICACIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO I |        |        |        |        | UNIDAD |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Dosificación de cemento portland tipo I         | 1.50                                    | 2.00   | 2.50   | 3.00   | 3.50   | %      |
| Peso del material de cantera                    | 6000                                    | 6000   | 6000   | 6000   | 6000   | gr     |
| Húmedad natural                                 | 4.53                                    | 4.53   | 4.53   | 4.53   | 4.53   | %      |
| Cantidad de material seco de cantera            | 5728                                    | 5728   | 5728   | 5728   | 5728   | kg     |
| Cantidad de cemento portland necesaria a añadir | 85.92                                   | 114.56 | 143.21 | 171.85 | 200.49 | gr     |

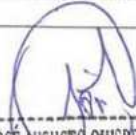
  

Observación: \_\_\_\_\_





  
**JOSE AUGUSTO QUISPE MUNARES**  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569

**Figura 67 — Dosificación de aceite sulfonado con cemento portland I**

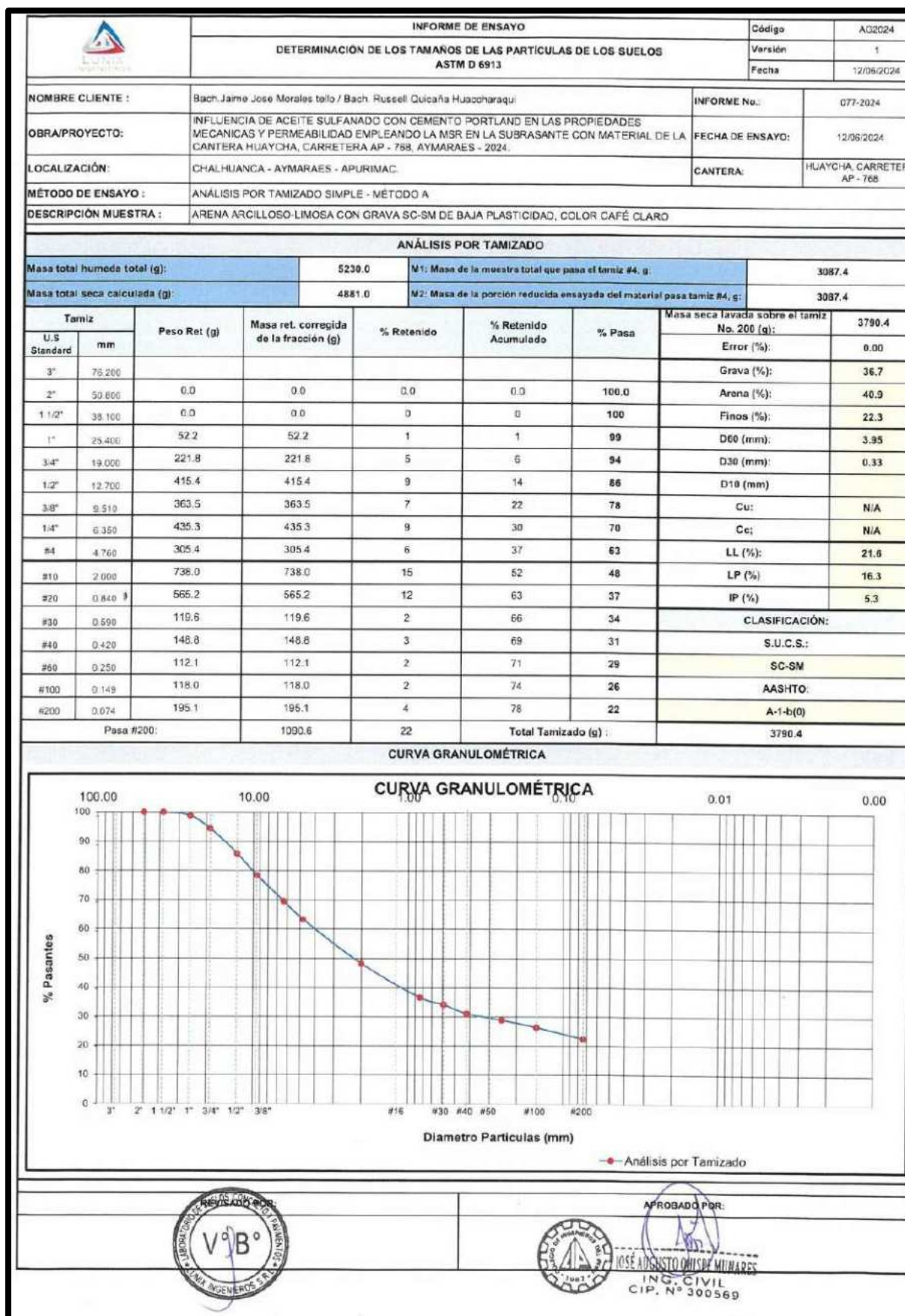


Figura 68 — Ensayo de análisis granulométrico por tamizado de la cantera Huaycha

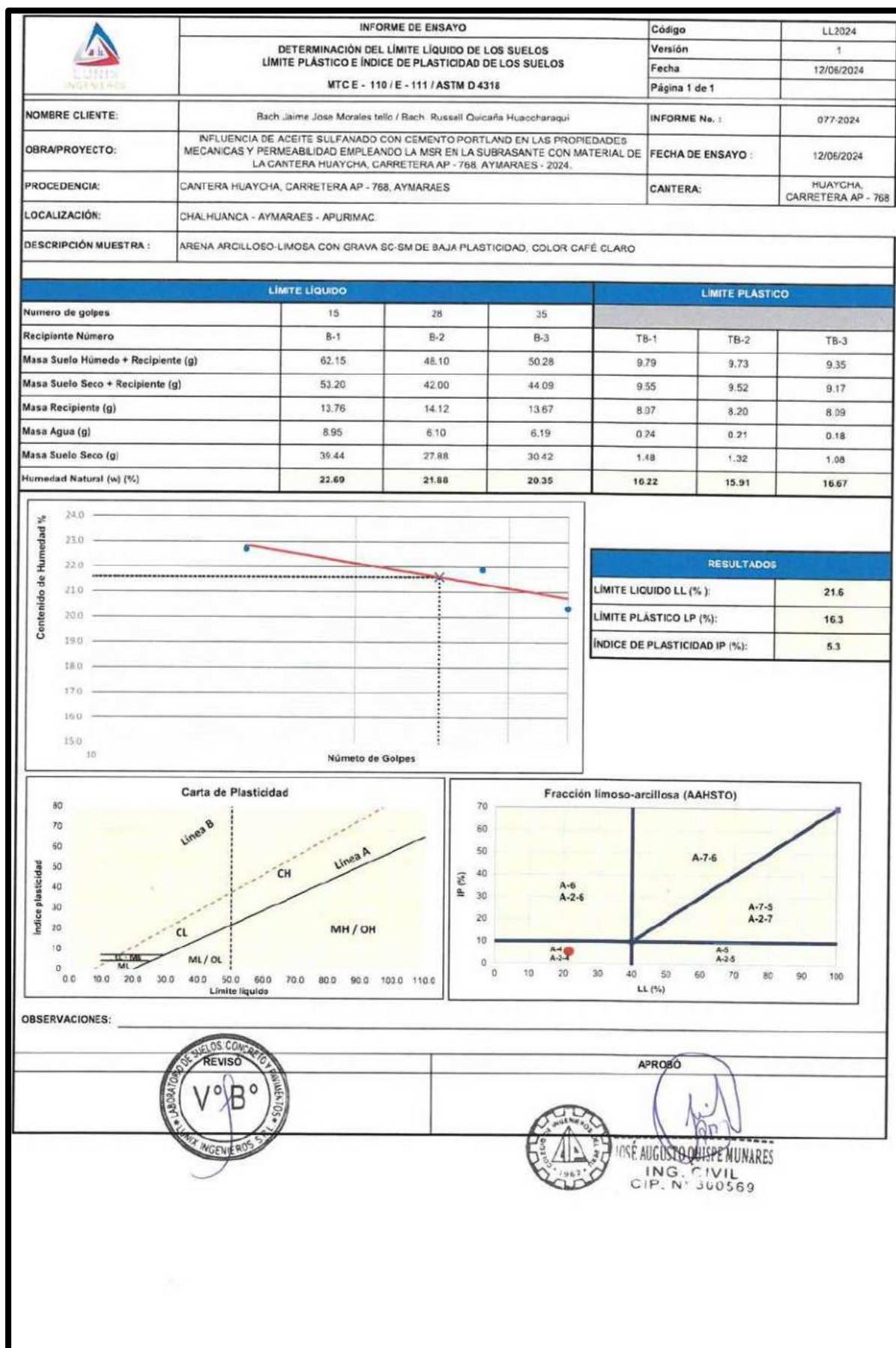


Figura 69 — Ensayo de límite líquido y límite plástico del material de cantera Huaycha

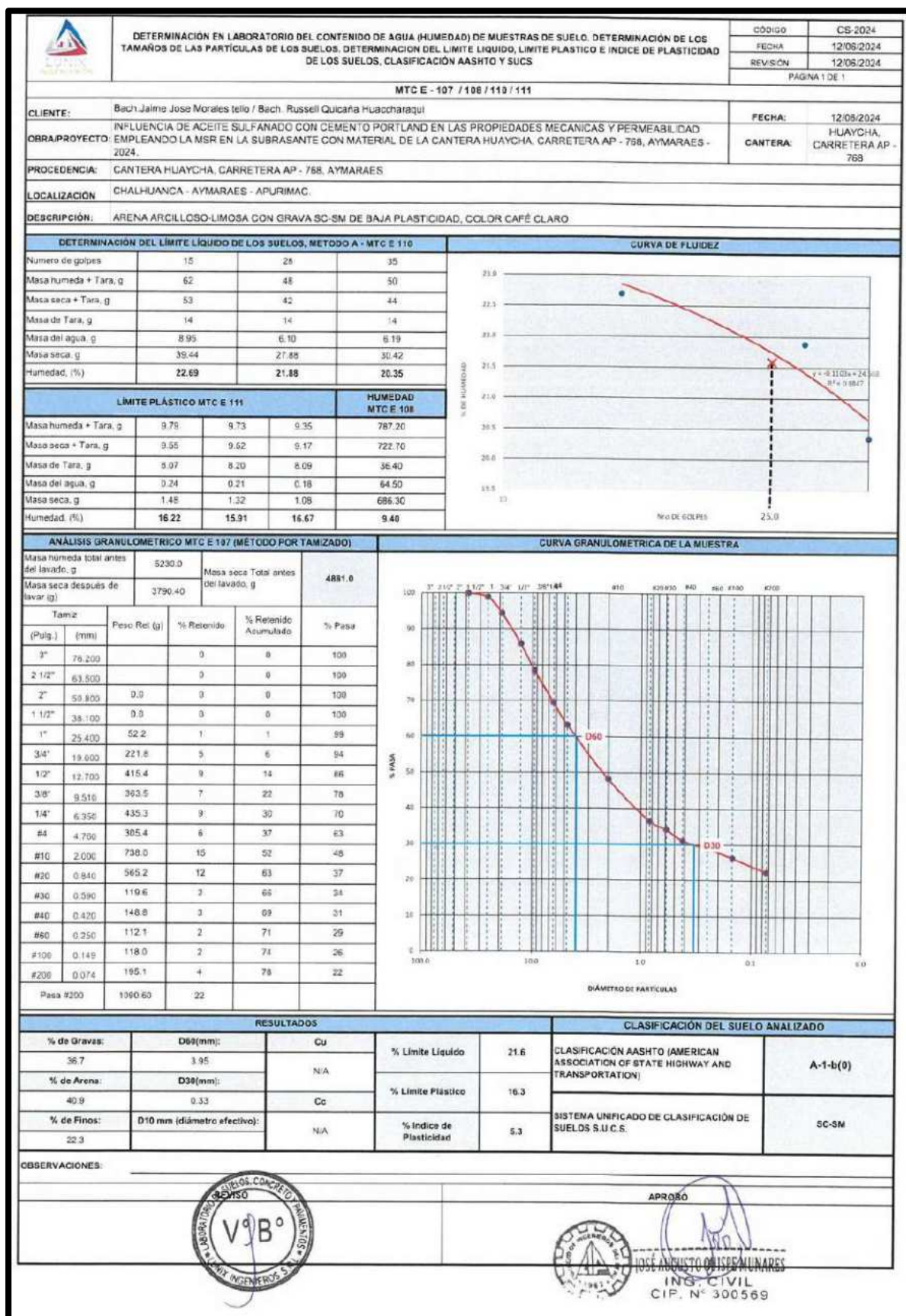


Figura 70 — Clasificación de suelo SUCS y AASHTO del material de la cantera Huaycha

|                              |                                                                                                                                                                                                            | INFORME DE ENSAYO                                                                            |                                                                                       | Código                              | P-2023                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            | RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN) |                                                                                       | Versión                             | 1                                                        |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            | NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557                                                      |                                                                                       | Fecha                               | 12/06/2024                                               |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | Página 1 de 1                       |                                                          |
| NOMBRE CLIENTE:                                                                                               | Bach. Jaime José Meneses Ielo / Bach. Russell Quispe Huaccharaqui                                                                                                                                          |                                                                                              |                                                                                       | INFORME No.                         | 077-2024                                                 |
| OBRA/PROYECTO:                                                                                                | INFLUENCIA DE ACEITE SULFANADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 768, AYMARAES - 2024 |                                                                                              |                                                                                       | FECHA DE ENSAYO:                    | 12/06/2024                                               |
| PROCEDENCIA:                                                                                                  | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 768, AYMARAES                                                                                                                                                              |                                                                                              |                                                                                       | CANTERA:                            | HUAYCHA, CARRETERA AP - 768                              |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                                 | CHALHUANCA - AYMARAES - APURIMAC                                                                                                                                                                           |                                                                                              |                                                                                       | MUESTRA:                            | 0.00 1/m <sup>3</sup> ACEITE SULFONADO + 0.00 1% CEMENTO |
| DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:                                                                                    | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO                                                                                                                               |                                                                                              |                                                                                       |                                     |                                                          |
| COMPACTACIÓN DE LAS MUESTRAS                                                                                  |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | MÉTODO DE ENSAYO:                   |                                                          |
| PRUEBA                                                                                                        | Und                                                                                                                                                                                                        | 1                                                                                            | 2                                                                                     | 3                                   | 4                                                        |
| MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ 3/4"                                                                            | g                                                                                                                                                                                                          | 6000                                                                                         | 6000                                                                                  | 6000                                | 6000                                                     |
| NÚMERO DE GOLPES POR CAPA                                                                                     | No                                                                                                                                                                                                         | 56                                                                                           | 56                                                                                    | 56                                  | 56                                                       |
| NÚMERO DE MOLDE                                                                                               | No                                                                                                                                                                                                         | 1                                                                                            | 1                                                                                     | 1                                   | 1                                                        |
| VOLUMEN MOLDE                                                                                                 | cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                            | 2127                                                                                         | 2127                                                                                  | 2127                                | 2127                                                     |
| MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE                                                                                   | g                                                                                                                                                                                                          | 10330                                                                                        | 10190                                                                                 | 10250                               | 10310                                                    |
| MASA DEL MOLDE                                                                                                | g                                                                                                                                                                                                          | 5920                                                                                         | 5920                                                                                  | 5920                                | 5920                                                     |
| MASA MUESTRA HUMEDA                                                                                           | g                                                                                                                                                                                                          | 4410                                                                                         | 4180                                                                                  | 4330                                | 4390                                                     |
| HUMEDAD DE COMPACTACIÓN                                                                                       |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       |                                     |                                                          |
| NÚMERO DE RECIPIENTE                                                                                          | No                                                                                                                                                                                                         | R-1                                                                                          | R-2                                                                                   | R-6                                 | G-1                                                      |
| MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE                                                                                   | g                                                                                                                                                                                                          | 354.20                                                                                       | 488.20                                                                                | 310.90                              | 312.70                                                   |
| MASA MUESTRA SECA Y MOLDE                                                                                     | g                                                                                                                                                                                                          | 370.80                                                                                       | 460.50                                                                                | 289.70                              | 288.60                                                   |
| MASA DEL MOLDE                                                                                                | g                                                                                                                                                                                                          | 71.90                                                                                        | 85.20                                                                                 | 37.00                               | 35.50                                                    |
| MASA DEL AGUA                                                                                                 | g                                                                                                                                                                                                          | 23.40                                                                                        | 27.60                                                                                 | 21.20                               | 24.10                                                    |
| MASA DE LA MUESTRA SECA                                                                                       | g                                                                                                                                                                                                          | 258.90                                                                                       | 375.40                                                                                | 252.70                              | 253.10                                                   |
| % de HUMEDAD                                                                                                  | %                                                                                                                                                                                                          | 7.8                                                                                          | 7.4                                                                                   | 8.4                                 | 9.5                                                      |
| DETERMINACIÓN DEL PESOS UNITARIOS DE LOS ESPECÍMENES                                                          |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       |                                     |                                                          |
| DENSIDAD HUMEDA                                                                                               | g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                          | 2.07                                                                                         | 1.97                                                                                  | 2.04                                | 2.06                                                     |
| DENSIDAD SECA                                                                                                 | g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                          | 1.92                                                                                         | 1.83                                                                                  | 1.88                                | 1.88                                                     |
| PESO UNITARIO SECO                                                                                            | kN/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                          | 18.86                                                                                        | 17.85                                                                                 | 18.42                               | 18.48                                                    |
|                                                                                                               | lb/ft <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                         | 120.04                                                                                       | 114.28                                                                                | 117.25                              | 117.65                                                   |
| CURVA DE COMPACTACIÓN                                                                                         |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | PESO UNITARIO SECO MÁXIMO           |                                                          |
|                           |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | 1.91 g/cm <sup>3</sup>              |                                                          |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | 18.7 kN/m <sup>3</sup>              |                                                          |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | HUMEDAD ÓPTIMA (%)                  |                                                          |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | 9.7                                 |                                                          |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO |                                                          |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | NO REQUIERE kN/m <sup>3</sup>       |                                                          |
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       | NO REQUIERE kg/m <sup>3</sup>       |                                                          |
| OBSERVACIONES:                                                                                                |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       |                                     |                                                          |
| Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo. |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                       |                                     |                                                          |
|                            |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |   |                                     |                                                          |
|                            |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |  |                                     |                                                          |
| <p>V. B. O.</p>                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              | <p>JOSÉ AUGUSTO QUISPE MUNARES</p> <p>ING. CIVIL</p> <p>CIP. N° 300569</p>            |                                     |                                                          |

Figura 71 — Ensayo de Proctor modificado del material de cantera Huaycha

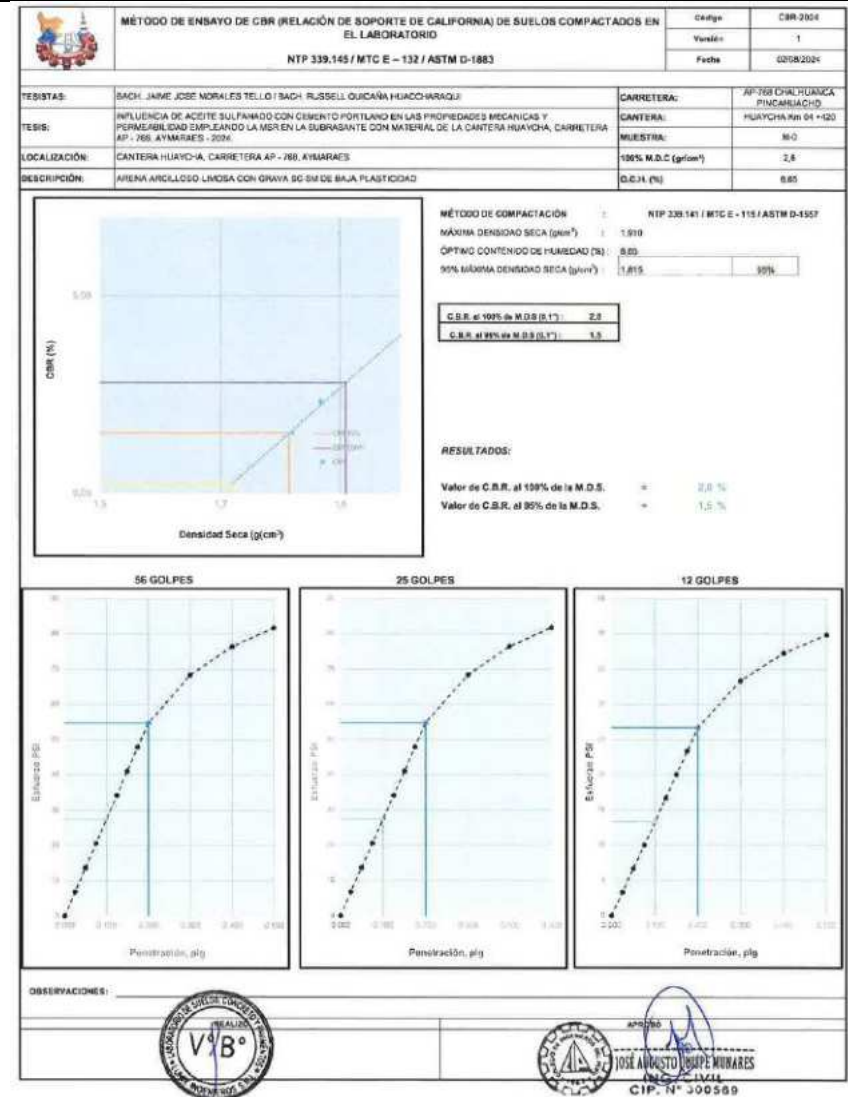
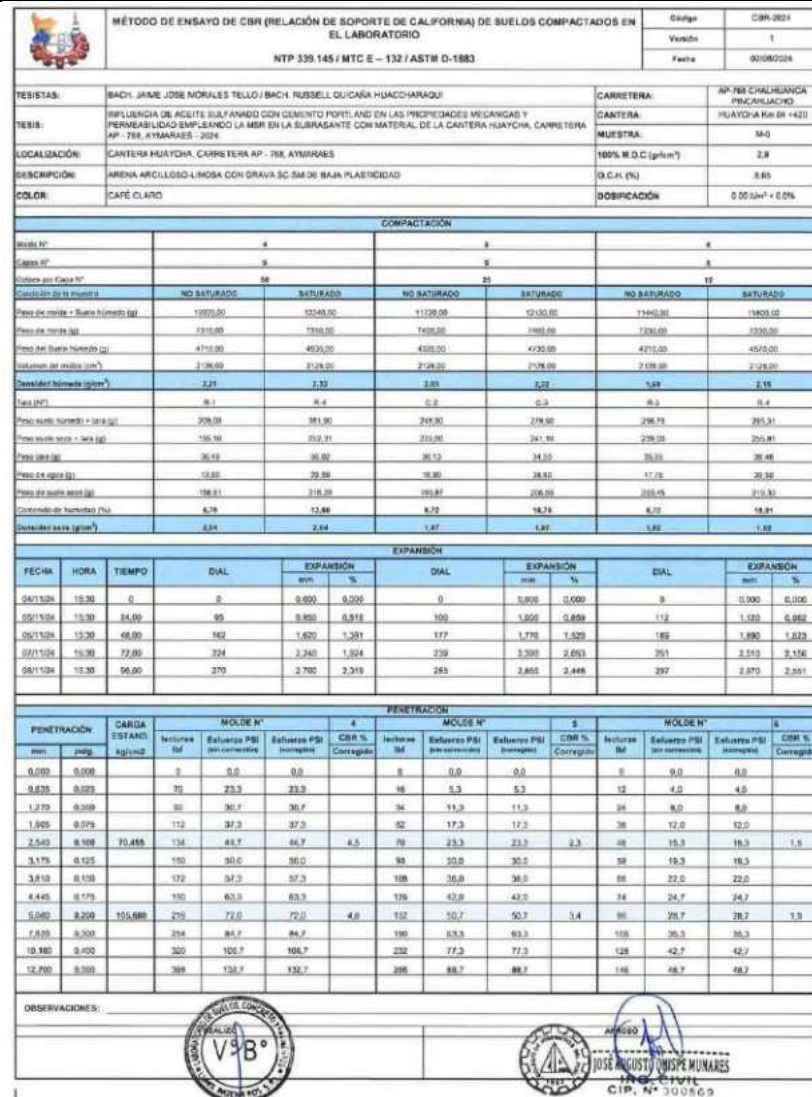


Figura 72 — CBR combinación 0.00 lt/m³ de aceite sulfonado con 0.00 % de cemento portland I

MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO

NTP 338.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883

Código CBR-2024

Versión 1

Fecha 02/05/2024

|               |                                                                                                                                                                                                          |                  |                               |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| TESTISTAS:    | BACH, JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH, RUSSELL QUITICAÑI HUACONAGUA                                                                                                                                      | CARRETERA:       | AP 768 CHAYACHA PISCACHAYACHA |
| TESTES:       | INFLUENCIA DE ACEITE SULFADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD DEL PAVIMENTO LA M3R EN LA SUBGRANADA CON MATERIAL DE LA CANTERA YLACHA, CARRETERA AP 768 AYMARALE - 2024 | CANTERA:         | HUACACHA EN BA + 400          |
| LOCALIZACIÓN: | CANTERA YLACHA, CARRETERA AP 768 AYMARALE                                                                                                                                                                | MUESTRA:         | M-0                           |
| DESCRIPCIÓN:  | ARENA ATOLICOLLOMOSA CON GRANK 90-99 DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                 | 16% M.C.C (g/m³) | 3.3                           |
| COLOR:        | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                               | O.C.H. (%)       | 6.65                          |
|               |                                                                                                                                                                                                          | DENSIFICACIÓN    | 0.00 (m³) = 0.00              |

COMPACTACIÓN

| Probete N°                       | 1           | 2        | 3        |
|----------------------------------|-------------|----------|----------|
| Gravim N°                        | 5           | 6        | 7        |
| Gravim por Carga N°              | 26          | 28       | 12       |
| Condiciones de la muestra        | NO SATURADO | SATURADO | SATURADO |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g) | 1870.00     | 1636.08  | 11788.09 |
| Peso de molde (g)                | 7350.00     | 7350.00  | 7370.00  |
| Peso de Suelo (g)                | 4700.00     | 4990.00  | 4308.00  |
| Volumen del molde (m³)           | 0.1250      | 0.1250   | 0.1250   |
| Densidad húmeda (g/cm³)          | 3.20        | 3.94     | 3.44     |
| U <sub>max</sub> (%)             | 8.1         | 8.1      | 8.1      |
| Peso suelo húmedo + base (g)     | 3718.00     | 3877.00  | 2763.00  |
| Peso suelo seco + base (g)       | 305.15      | 295.33   | 232.00   |
| Peso seco (g)                    | 36.48       | 36.60    | 34.50    |
| Peso de agua (g)                 | 14.70       | 30.60    | 37.20    |
| Peso de suelo seco (g)           | 188.81      | 219.20   | 208.10   |
| Densidad de humedad (%)          | 8.72        | 14.86    | 8.72     |
| Densidad seca (g/m³)             | 0.04        | 0.04     | 0.04     |

EXPANSIÓN

| FECHA    | HORA  | TIEMPO | DIAL | EXPANSIÓN | DIAL  | EXPANSIÓN | DIAL  | EXPANSIÓN |
|----------|-------|--------|------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|          |       |        | mm   | %         |       | mm        | %     |           |
| 08/12/24 | 18:30 | 0      | 0    | 0.000     | 0.000 | 0         | 0.000 | 0.000     |
| 08/12/24 | 18:30 | 34.00  | 112  | 1.120     | 0.860 | 128       | 1.280 | 1.191     |
| 08/12/24 | 18:30 | 48.00  | 179  | 1.790     | 1.520 | 200       | 2.000 | 1.812     |
| 08/12/24 | 18:30 | 73.00  | 241  | 2.410     | 2.070 | 262       | 2.620 | 2.345     |
| 08/12/24 | 18:30 | 96.00  | 287  | 2.870     | 2.460 | 308       | 3.080 | 2.740     |

PENETRACIÓN

| PENETRACIÓN | CARGA ESTÁNDAR | MOLDE N°     | 1                             | MOLDE N°        | 2            | MOLDE N°                      | 3               |
|-------------|----------------|--------------|-------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|-----------------|
| mm          | kg/cm²         | Indicador RF | Esfuerzo PSI (sin corrección) | CBR % Corregido | Indicador RF | Esfuerzo PSI (sin corrección) | CBR % Corregido |
| 0.000       | 0.000          | 0            | 0.0                           | 0.0             | 0            | 0.0                           | 0.0             |
| 0.030       | 0.003          | 0            | 26.0                          | 26.0            | 10           | 6.0                           | 6.0             |
| 1.270       | 0.080          | 110          | 36.7                          | 36.7            | 38           | 12.7                          | 12.7            |
| 1.900       | 0.075          | 134          | 44.7                          | 44.7            | 58           | 19.3                          | 19.3            |
| 2.540       | 0.089          | 160          | 53.3                          | 53.3            | 76           | 26.0                          | 26.0            |
| 3.175       | 0.125          | 178          | 58.3                          | 58.3            | 100          | 33.3                          | 33.3            |
| 3.810       | 0.150          | 204          | 66.0                          | 66.0            | 118          | 36.3                          | 36.3            |
| 4.445       | 0.175          | 230          | 75.3                          | 75.3            | 138          | 40.0                          | 40.0            |
| 5.080       | 0.200          | 258          | 83.3                          | 83.3            | 158          | 45.3                          | 45.3            |
| 5.715       | 0.200          | 280          | 100.0                         | 100.0           | 178          | 50.3                          | 50.3            |
| 6.350       | 0.400          | 376          | 120.0                         | 120.0           | 254          | 64.7                          | 64.7            |
| 7.000       | 0.500          | 470          | 150.7                         | 150.7           | 320          | 80.7                          | 80.7            |

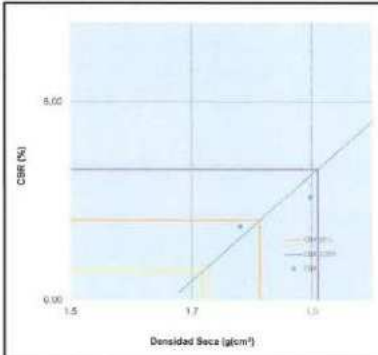
OBSERVACIONES:

|                                                                                     |                                                                                              |  |                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------|
|  | <b>MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO)</b> |  | Código: CBR-2024<br>Versión: 1<br>Fecha: 02/06/2024 |
|                                                                                     | NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                      |  |                                                     |
|                                                                                     |                                                                                              |  |                                                     |

|                      |                                                                                                                                                                                                          |                            |                                   |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>TESTISTAS:</b>    | BACH: JAIME JOSE MORALES TELLO / BACH: RUSSELL QUICARA HUACHARANGA                                                                                                                                       | <b>CARRETERA:</b>          | AP-708 CHALVAYANDA PISCAC HUAYCHO |
| <b>TEBIS:</b>        | INFLUENCIA DE ACEITE SULFANADO CON CEMENTO PORTLANDO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MBR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-708 AYMARAES - 2024 | <b>CANTERA:</b>            | HUAYCHA KM 08 +020                |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b> | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 708, AYMARAES                                                                                                                                                            | <b>MUESTRA:</b>            | M-0                               |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b>  | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA-SO-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                               | <b>100% M.D.C (g/cm³):</b> | 3.3                               |
|                      |                                                                                                                                                                                                          | <b>G.C.H. (%)</b>          | 6.65                              |



Densidad Seca (g/cm³)

**MÉTODO DE COMPACTACIÓN:** NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1587

MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³): 1.919  
 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%): 8.65  
 90% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³): 1.815

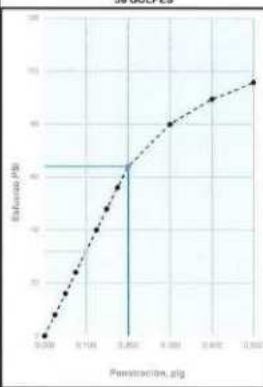
|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| C.B.R. al 100% de M.D.S (g/cm³): | 3.3 |
| C.B.R. al 95% de M.D.S (g/cm³):  | 2.6 |

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 3.3 %  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 2.6 %

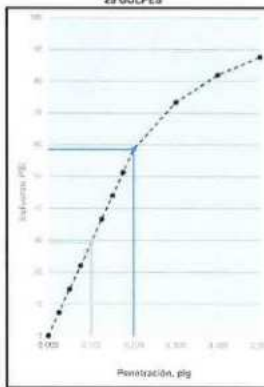
  

**56 GOLPES**



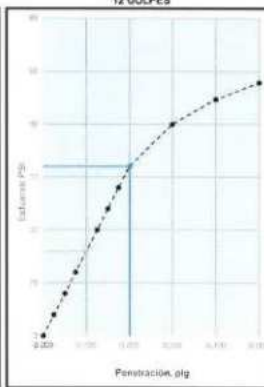
Penetración, plg

**25 GOLPES**



Penetración, plg

**12 GOLPES**



Penetración, plg

**OBSERVACIONES:**





CIP. N° 300559

**Figura 73 — Réplica de CBR combinación 0.00 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 0.00 % de cemento portland I**

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Código: CBR-2024   |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------|---------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Versión: 1         |                                 |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Fecha: 18/10/2024  |                                 |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAMIE JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL SUCAÑA HUACCHARAGUI                                                                                                                                       |  |  | CARRTERA:          | AP-788 CHACABANDA - PINGACHUAYO |
| TESTIS:                                                                                             | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYOYA. CARRTERA AP-788, AYMARAES - 2024. |  |  | CANTERA:           | HUAYOYA RM-58 + 409             |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYOYA, CARRTERA AP-788, AYMARAES                                                                                                                                                               |  |  | MUESTRA:           | M-1                             |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO LINDA CON GRAVA SC-5M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                |  |  | 100% M.D.C (g/cm³) | 78.50                           |
| COLOR:                                                                                              | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                               |  |  | O.C.R. (%)         | 8.68                            |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  | DOSIFICACIÓN       | 0.13 lit/m³ + 1.5%              |

| COMPACTACIÓN                     |             |          |             |          |             |          |
|----------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|                                  | 21          |          | 28          |          | 18          |          |
|                                  | 9           |          | 8           |          | 8           |          |
|                                  | 88          |          | 85          |          | 18          |          |
| Coeficiente de la relación       | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g) | 1240.20     | 1240.20  | 1240.20     | 1240.20  | 1240.20     | 1240.20  |
| Peso de molde (g)                | 788.00      | 788.00   | 788.00      | 788.00   | 788.00      | 788.00   |
| Peso del Suelo húmedo (g)        | 452.20      | 452.20   | 452.20      | 452.20   | 452.20      | 452.20   |
| Volumen del molde (cm³)          | 212.40      | 212.40   | 212.40      | 212.40   | 212.40      | 212.40   |
| Densidad húmeda (g/cm³)          | 2.13        | 2.13     | 2.13        | 2.13     | 2.13        | 2.13     |
| Tem (°C)                         | 20.5        | 20.5     | 20.5        | 20.5     | 20.5        | 20.5     |
| Peso agua húmedo + Mol (g)       | 352.20      | 352.20   | 352.20      | 352.20   | 352.20      | 352.20   |
| Peso agua seco + Mol (g)         | 286.12      | 286.12   | 286.12      | 286.12   | 286.12      | 286.12   |
| Peso agua (g)                    | 66.08       | 66.08    | 66.08       | 66.08    | 66.08       | 66.08    |
| Peso de agua (g)                 | 25.18       | 25.18    | 25.18       | 25.18    | 25.18       | 25.18    |
| Peso de agua seco (g)            | 260.94      | 260.94   | 260.94      | 260.94   | 260.94      | 260.94   |
| Coeficiente de humedad (%)       | 8.72        | 8.72     | 8.72        | 8.72     | 8.72        | 8.72     |
| Densidad seca (g/cm³)            | 1.91        | 1.91     | 1.91        | 1.91     | 1.91        | 1.91     |

| EXPANSIÓN  |       |        |      |           |       |      |           |       |
|------------|-------|--------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|
| FECHA      | HORA  | TIEMPO | DIAL | EXPANSIÓN |       | DIAL | EXPANSIÓN |       |
|            |       |        |      | mm        | %     |      | mm        | %     |
| 11/11/2024 | 15:30 | 0      | 0    | 0.000     | 0.000 | 0    | 0.000     | 0.000 |
| 11/11/2024 | 15:30 | 34.00  | 36.8 | 0.203     | 0.208 | 37.8 | 0.278     | 0.236 |
| 13/11/2024 | 15:30 | 45.00  | 45.4 | 0.454     | 0.424 | 50.8 | 0.509     | 0.437 |
| 14/11/2024 | 15:30 | 72.00  | 62.5 | 0.625     | 0.537 | 64.0 | 0.640     | 0.559 |
| 15/11/2024 | 15:30 | 96.00  | 75.7 | 0.757     | 0.650 | 77.2 | 0.772     | 0.663 |

| PENETRACIÓN |               |          |               |                               |                 |               |                               |                 |               |                               |                 |
|-------------|---------------|----------|---------------|-------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|-----------------|
| PENETRACIÓN | CARGA ESTAND. | MOLDE N° | 21            |                               |                 | 28            |                               |                 | 18            |                               |                 |
|             |               |          | lecturas Ref. | Esfuerzo PSI (sin corrección) | CBR % Corregido | lecturas Ref. | Esfuerzo PSI (sin corrección) | CBR % Corregido | lecturas Ref. | Esfuerzo PSI (sin corrección) | CBR % Corregido |
| 3.000       | 0.200         | 8        | 0.0           | 0.0                           | 0.0             | 0.0           | 0.0                           | 0.0             | 0.0           | 0.0                           |                 |
| 3.035       | 0.225         | 285      | 95.3          | 95.3                          | 77.9            | 278           | 79.3                          | 79.3            | 198           | 66.0                          | 66.0            |
| 1.220       | 0.250         | 532      | 177.3         | 177.3                         | 144.0           | 440           | 146.7                         | 146.7           | 368           | 122.7                         | 122.7           |
| 1.905       | 0.275         | 1028     | 340.9         | 340.9                         | 286.0           | 868           | 286.0                         | 286.0           | 718           | 239.3                         | 239.3           |
| 2.540       | 0.300         | 1848     | 529.9         | 529.9                         | 440.0           | 1340          | 440.0                         | 440.0           | 1108          | 342.7                         | 342.7           |
| 3.175       | 0.325         | 3428     | 948.0         | 948.0                         | 784.0           | 2464          | 784.0                         | 784.0           | 1968          | 592.0                         | 592.0           |
| 3.810       | 0.350         | 4882     | 1384.0        | 1384.0                        | 1144.0          | 3508          | 1144.0                        | 1144.0          | 2878          | 868.0                         | 868.0           |
| 4.445       | 0.375         | 6180     | 1716.7        | 1716.7                        | 1416.0          | 4394          | 1416.0                        | 1416.0          | 3584          | 1186.7                        | 1186.7          |
| 5.080       | 0.400         | 7358     | 2057.3        | 2057.3                        | 1687.3          | 5224          | 1687.3                        | 1687.3          | 4288          | 1429.3                        | 1429.3          |
| 5.715       | 0.425         | 8588     | 2398.3        | 2398.3                        | 1958.3          | 5952          | 1958.3                        | 1958.3          | 4984          | 1628.0                        | 1628.0          |
| 6.350       | 0.450         | 9840     | 2740.0        | 2740.0                        | 2240.0          | 6680          | 2240.0                        | 2240.0          | 5680          | 1826.7                        | 1826.7          |
| 6.985       | 0.475         | 11020    | 3080.0        | 3080.0                        | 2540.0          | 7408          | 2540.0                        | 2540.0          | 6384          | 2025.0                        | 2025.0          |

| OBSERVACIONES: |  |
|----------------|--|
| V°B°           |  |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Código: CBR-2024   |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------|---------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Versión: 1         |                                 |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Fecha: 18/10/2024  |                                 |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAMIE JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL SUCAÑA HUACCHARAGUI                                                                                                                                       |  |  | CARRTERA:          | AP-788 CHACABANDA - PINGACHUAYO |
| TESTIS:                                                                                             | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYOYA. CARRTERA AP-788, AYMARAES - 2024. |  |  | CANTERA:           | HUAYOYA RM-58 + 409             |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYOYA, CARRTERA AP-788, AYMARAES                                                                                                                                                               |  |  | MUESTRA:           | M-1                             |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO LINDA CON GRAVA SC-5M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                |  |  | 100% M.D.C (g/cm³) | 78.50                           |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  | O.C.R. (%)         | 8.68                            |

MÉTODO DE COMPACTACIÓN: NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³): 1.910

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%): 8.85

95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³): 1.810

95% MAXIMA DENSIDAD SECA (%): 95%

C.B.R. a 100% de M.D.S (g/cm³): 78.5

C.B.R. a 95% de M.D.S (g/cm³): 85.2

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. a 100% de la M.D.S: 78.5 %

Valor de C.B.R. a 95% de la M.D.S: 85.2 %

56 GOLPES

25 GOLPES

12 GOLPES

| OBSERVACIONES: |  |
|----------------|--|
| V°B°           |  |

Figura 74 — CBR combinación 0.15 lt/m³ de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I

|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------|--|-----------------------------------------------------|--|
|  |  | MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO                                                                                                      |  |          |  | Código<br>Versión<br>Fecha                          |  |
|                                                                                   |  | NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1553                                                                                                                                                                  |  |          |  | CIRV-2024<br>1<br>18/04/2024                        |  |
| TESTISTAS:                                                                        |  | BACH, JAMÉ JOSÉ MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICARÁ HUACCHARAQUI                                                                                                                                       |  |          |  | CARRITERA:                                          |  |
| TESIS:                                                                            |  | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRITERA AP-788, AYMARAE - 2024. |  |          |  | AP-788 CALIFICACIÓN PMSAHUACCHO HUAYCHA KM 04 + 430 |  |
| LOCALIZACIÓN:                                                                     |  | CANTERA HUAYCHA, CARRITERA AP-788, AYMARAE                                                                                                                                                               |  |          |  | MUESTRA:                                            |  |
| DESCRIPCIÓN:                                                                      |  | ARENA ARCILLOSO, MOZA CON GRAVA SO-5M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                |  |          |  | 100% M.D.C (g/cm³)                                  |  |
| COLOR:                                                                            |  | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                               |  |          |  | O.C.H. (%)                                          |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  | DENSIFICACIÓN                                       |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  | 0.15 tamp + 1.5%                                    |  |
| COMPACTACIÓN                                                                      |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
| Muestra N°                                                                        |  | 31                                                                                                                                                                                                       |  | 32       |  | 33                                                  |  |
| Corte M°                                                                          |  | S                                                                                                                                                                                                        |  | S        |  | S                                                   |  |
| Corte por Capa N°                                                                 |  | 36                                                                                                                                                                                                       |  | 20       |  | 38                                                  |  |
| Condiciones de la muestra                                                         |  | NO SATURADO                                                                                                                                                                                              |  | SATURADO |  | NO SATURADO                                         |  |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)                                                  |  | 12940.00                                                                                                                                                                                                 |  | 12940.00 |  | 12940.00                                            |  |
| Peso de molde (g)                                                                 |  | 8128.00                                                                                                                                                                                                  |  | 8128.00  |  | 8128.00                                             |  |
| Peso del Suelo húmedo (g)                                                         |  | 4812.00                                                                                                                                                                                                  |  | 4812.00  |  | 4812.00                                             |  |
| Volumen del molde (m³)                                                            |  | 2128.00                                                                                                                                                                                                  |  | 2128.00  |  | 2128.00                                             |  |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                           |  | 2.26                                                                                                                                                                                                     |  | 2.26     |  | 2.26                                                |  |
| Tasa (M°)                                                                         |  | 8.1                                                                                                                                                                                                      |  | 8.1      |  | 8.1                                                 |  |
| Peso suelo húmedo + tara (g)                                                      |  | 295.10                                                                                                                                                                                                   |  | 295.10   |  | 295.10                                              |  |
| Peso suelo seco + tara (g)                                                        |  | 295.22                                                                                                                                                                                                   |  | 295.22   |  | 295.22                                              |  |
| Peso (M°) (g)                                                                     |  | 36.48                                                                                                                                                                                                    |  | 36.13    |  | 36.13                                               |  |
| Peso de agua (g)                                                                  |  | 12.80                                                                                                                                                                                                    |  | 16.10    |  | 23.20                                               |  |
| Peso del suelo seco (g)                                                           |  | 282.71                                                                                                                                                                                                   |  | 279.12   |  | 272.02                                              |  |
| Contenido de humedad (%)                                                          |  | 4.54                                                                                                                                                                                                     |  | 5.76     |  | 8.53                                                |  |
| Densidad seca (g/cm³)                                                             |  | 1.31                                                                                                                                                                                                     |  | 1.31     |  | 1.31                                                |  |
| EXPANSIÓN                                                                         |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
| FECHA                                                                             |  | HORA                                                                                                                                                                                                     |  | TIEMPO   |  | DIAL                                                |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  | EXPANSIÓN                                           |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  | mm                                                  |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  | %                                                   |  |
| 1/11/2024                                                                         |  | 15:30                                                                                                                                                                                                    |  | 0        |  | 0                                                   |  |
| 1/11/2024                                                                         |  | 15:30                                                                                                                                                                                                    |  | 24:00    |  | 33.7                                                |  |
| 1/11/2024                                                                         |  | 15:30                                                                                                                                                                                                    |  | 48:00    |  | 46.8                                                |  |
| 1/11/2024                                                                         |  | 15:30                                                                                                                                                                                                    |  | 72:00    |  | 39.9                                                |  |
| 1/11/2024                                                                         |  | 15:30                                                                                                                                                                                                    |  | 96:00    |  | 79.1                                                |  |
| PENETRACIÓN                                                                       |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
| PENETRACIÓN                                                                       |  | CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                            |  | MÓLDE N° |  | 24                                                  |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  |          |  |                                                     |  |
|                                                                                   |  |                                                                                                                                                                                                          |  | </       |  |                                                     |  |

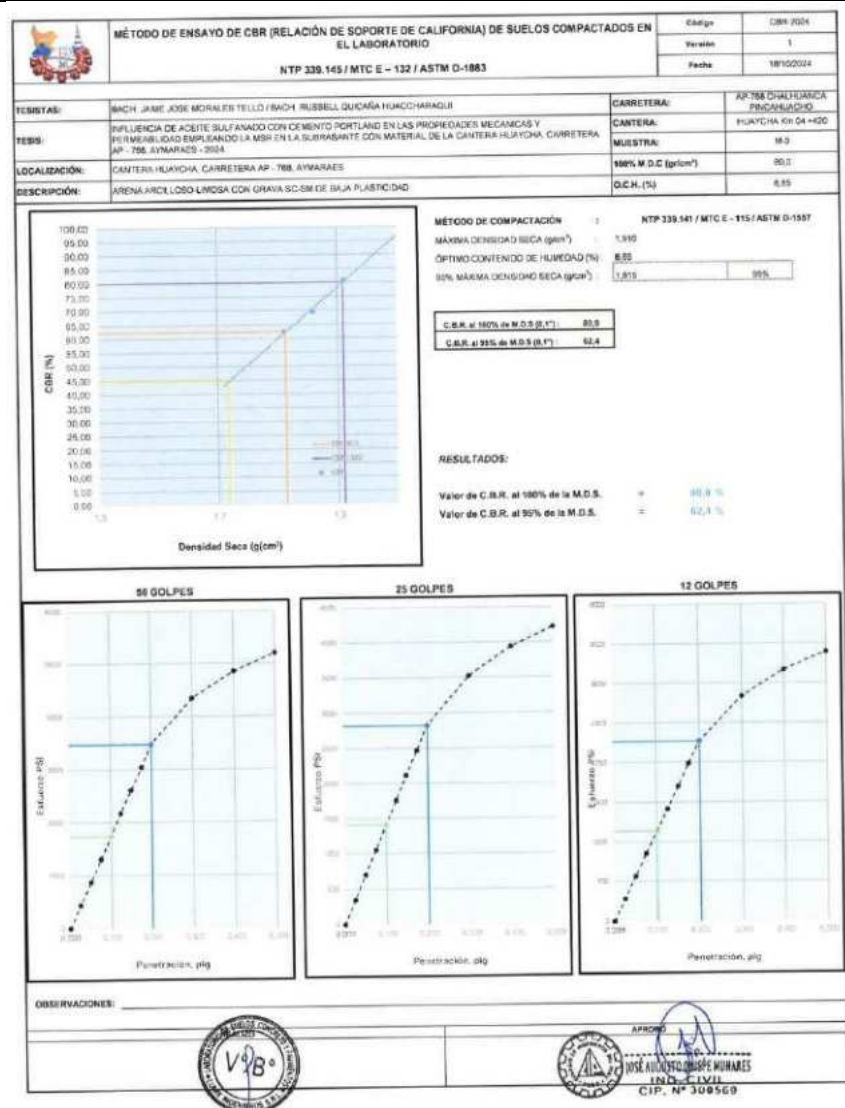
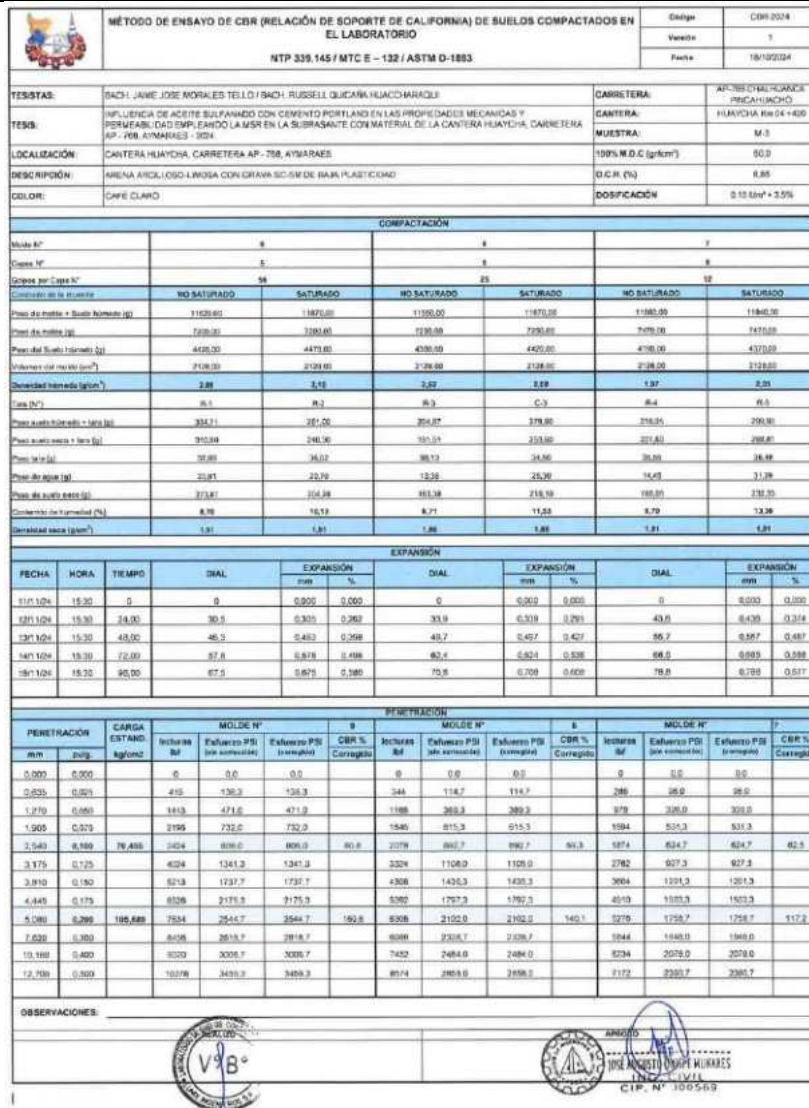


Figura 76 — CBR combinación 0.15 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

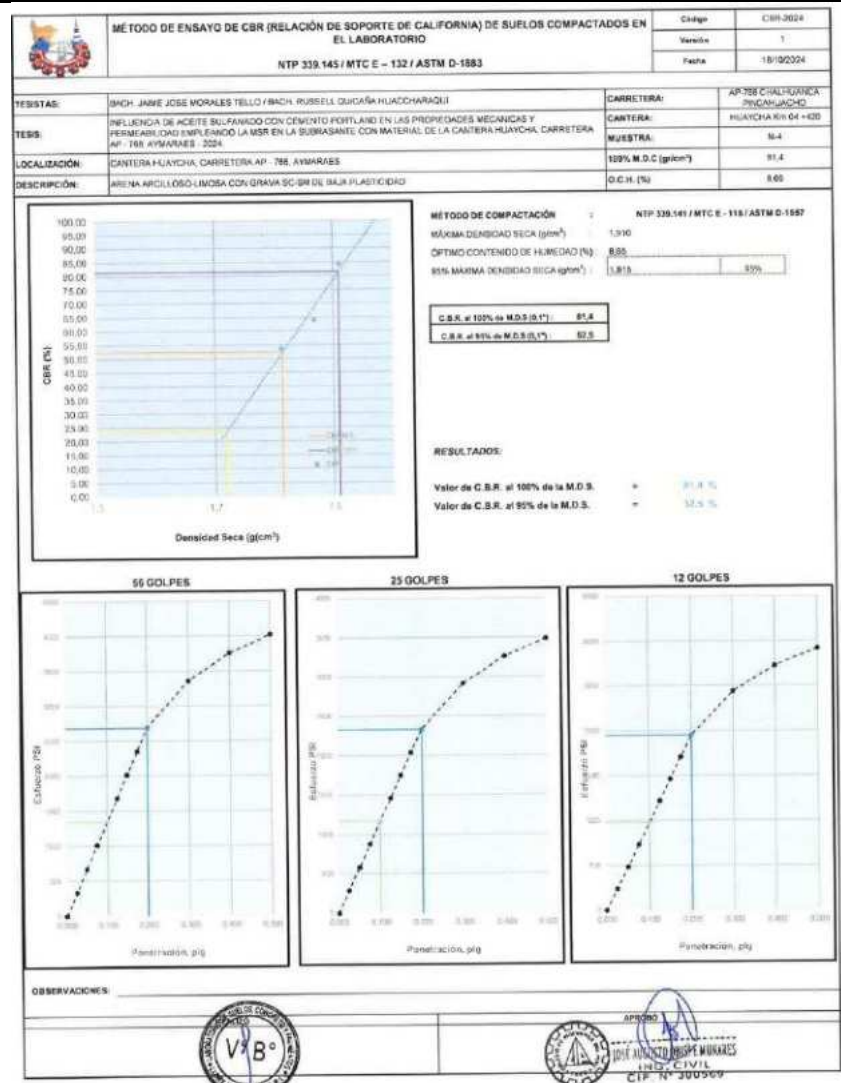
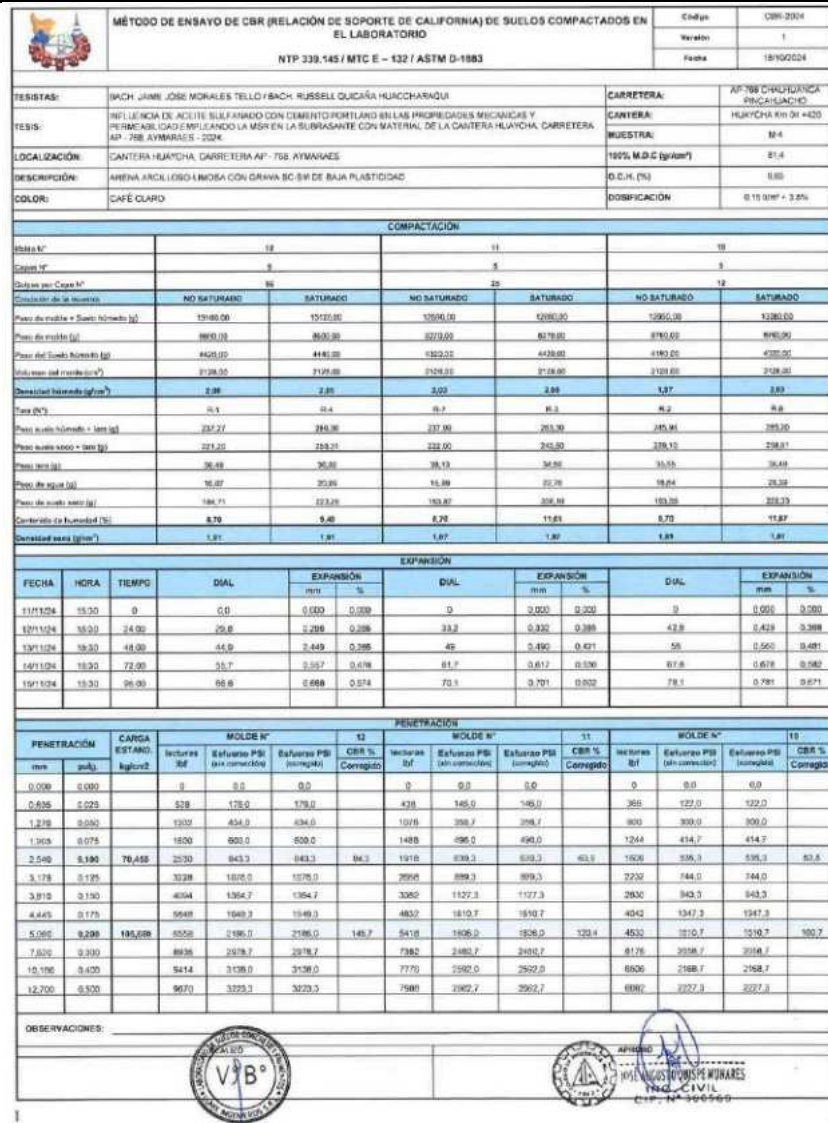


Figura 77 — Réplica de CBR combinación 0.15 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

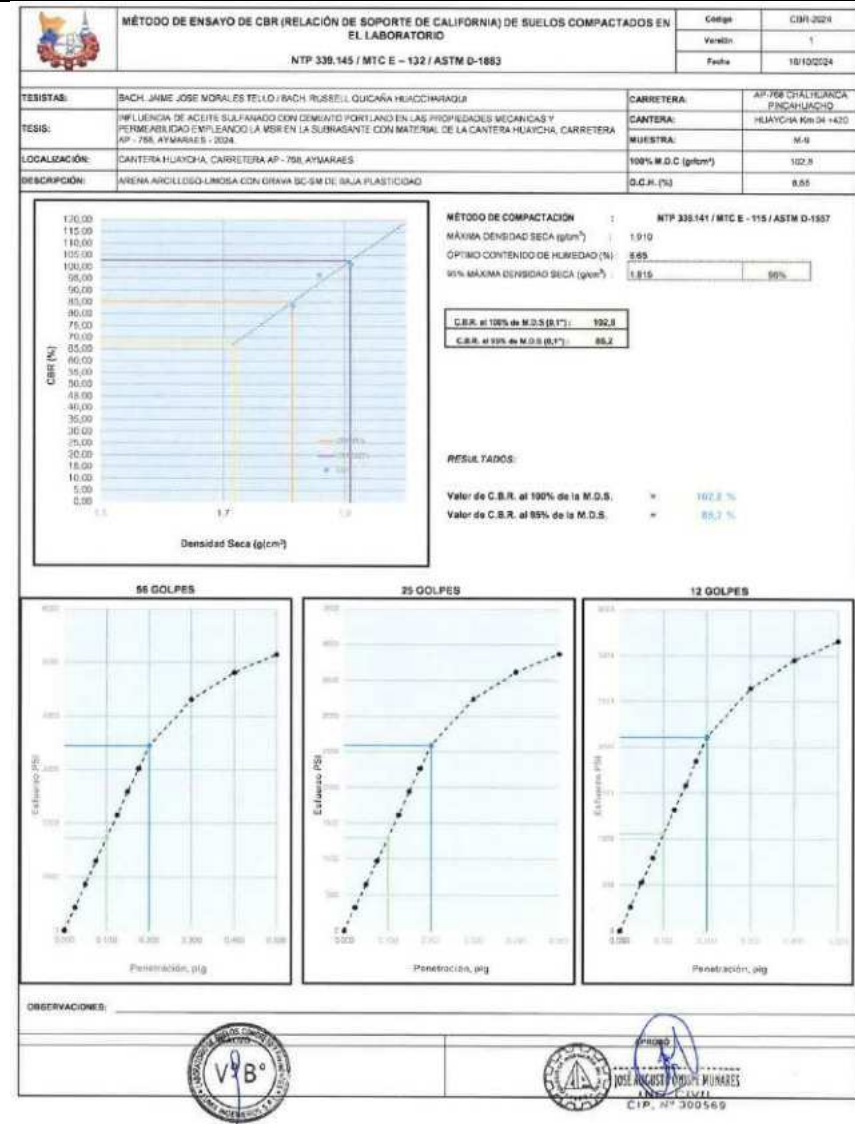
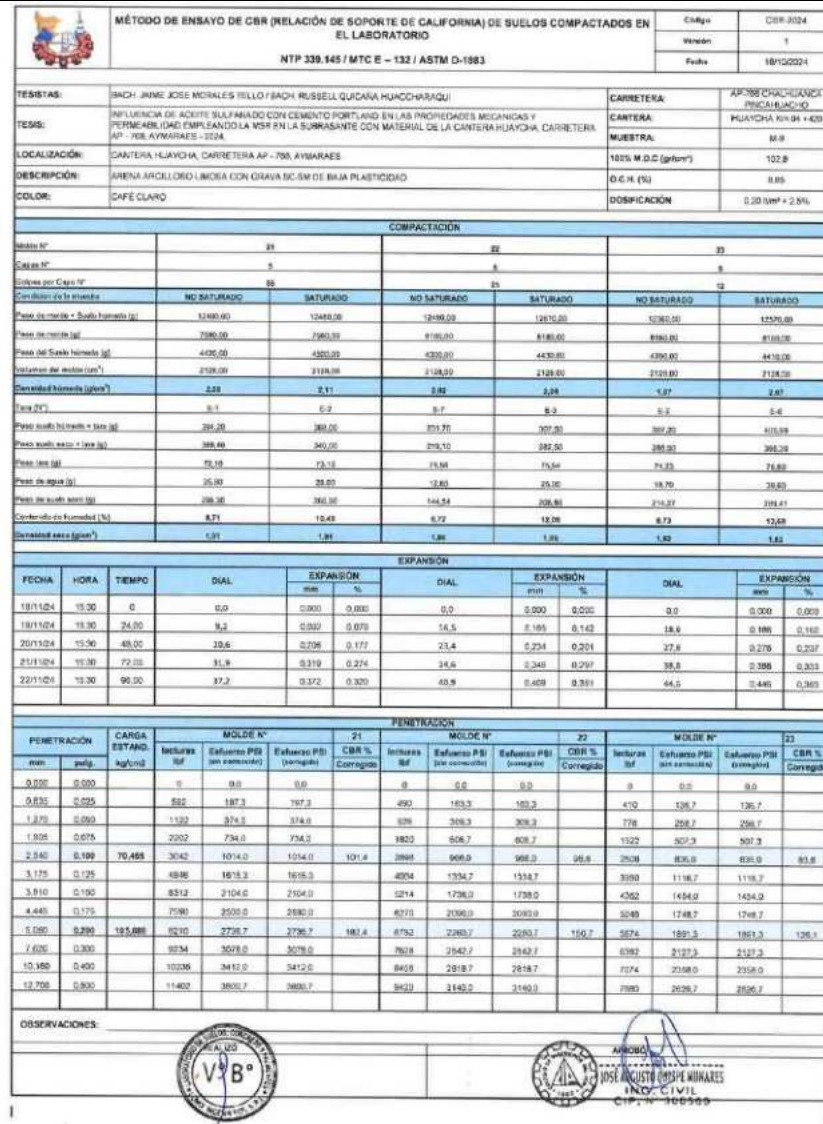


Figura 78 — CBR combinación 0.20 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % con cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |             |                                                                                                                                                                                                                              | Código: CBR-2024  |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1653                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |             |                                                                                                                                                                                                                              | Versión: 1        |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |             |                                                                                                                                                                                                                              | Fecha: 18/10/2024 |                |
| <b>TESTISTAS:</b> BACH, JAVIER JOSE MORALES TELLO / BACH, RUSSELL QUICANA HUACCHARAQUI<br><b>TESTIS:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MIER EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 708, AYMARAS - 2024.<br><b>LOCALIZACIÓN:</b> CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 708, AYMARAS<br><b>DESCRIPCIÓN:</b> ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRAVA SC-5M DE BAJA PLASTICIDAD<br><b>COLOR:</b> CAFÉ CLARO |       |             | <b>CARRETERA:</b> AP-708 CHALCABANCA (PUNTA HUAYCHA)<br><b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 04 + 420<br><b>MUESTRA:</b> M-10<br><b>100% M.D.C (g/cm³):</b> 101.5<br><b>O.C.H. (%):</b> 8.65<br><b>DENSIFICACIÓN:</b> 0.20 t/m³ + 2.5% |                   |                |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |             |                                                                                                                                                                                                                              |                   |                |
| Módulo N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       | 15          |                                                                                                                                                                                                                              | 25                |                |
| Capas N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       | 5           |                                                                                                                                                                                                                              | 5                 |                |
| Grosor por Capa N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       | 25          |                                                                                                                                                                                                                              | 12                |                |
| Densidad de la muestra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       | NO SATURADO |                                                                                                                                                                                                                              | SATURADO          |                |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       | 1290.00     | 1285.00                                                                                                                                                                                                                      | 1213.00           | 1220.00        |
| Peso de molde (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       | 810.00      | 810.00                                                                                                                                                                                                                       | 810.00            | 810.00         |
| Peso del Suelo húmedo (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       | 480.00      | 475.00                                                                                                                                                                                                                       | 403.00            | 410.00         |
| Volumen del molde (cm³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       | 2128.00     | 2128.00                                                                                                                                                                                                                      | 2128.00           | 2128.00        |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       | 0.23        | 0.22                                                                                                                                                                                                                         | 0.19              | 0.19           |
| Tara (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       | 0.5         | 0.5                                                                                                                                                                                                                          | 0.5               | 0.5            |
| Peso agua húmeda + tara (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       | 384.50      | 395.50                                                                                                                                                                                                                       | 398.50            | 409.50         |
| Peso agua seco + tara (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       | 237.85      | 267.35                                                                                                                                                                                                                       | 154.50            | 264.80         |
| Peso agua (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       | 146.65      | 128.15                                                                                                                                                                                                                       | 244.00            | 144.70         |
| Peso de agua (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       | 38.35       | 31.45                                                                                                                                                                                                                        | 18.70             | 36.80          |
| Peso de agua seco (g)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       | 295.50      | 235.90                                                                                                                                                                                                                       | 135.80            | 228.00         |
| Gravidad de humedad (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       | 8.74        | 15.63                                                                                                                                                                                                                        | 8.73              | 15.64          |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       | 1.51        | 1.54                                                                                                                                                                                                                         | 1.87              | 1.75           |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |             |                                                                                                                                                                                                                              |                   |                |
| FECHA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | HORA  | TIEMPO      | DIAL                                                                                                                                                                                                                         | EXPANSIÓN         | DIAL           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |             |                                                                                                                                                                                                                              | mm                | %              |
| 18/11/24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15:30 | 0           | 0.0                                                                                                                                                                                                                          | 0.200             | 0.000          |
| 18/11/24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15:30 | 24.00       | 0.0                                                                                                                                                                                                                          | 0.200             | 0.000          |
| 20/11/24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15:30 | 48.00       | 30.4                                                                                                                                                                                                                         | 0.304             | 0.175          |
| 21/11/24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15:30 | 72.00       | 31.7                                                                                                                                                                                                                         | 0.317             | 0.272          |
| 22/11/24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15:30 | 96.00       | 37.0                                                                                                                                                                                                                         | 0.370             | 0.318          |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |             |                                                                                                                                                                                                                              |                   |                |
| CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       | MOLDE N°    |                                                                                                                                                                                                                              | MOLDE N°          |                |
| mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | psig  | lectura     | Esfuerzo PSI                                                                                                                                                                                                                 | lectura           | Esfuerzo PSI   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |             | sin corrección                                                                                                                                                                                                               |                   | sin corrección |
| 0.300                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.000 | 0           | 0.0                                                                                                                                                                                                                          | 0                 | 0.0            |
| 0.635                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.025 | 880         | 226.7                                                                                                                                                                                                                        | 882               | 197.3          |
| 1.270                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.050 | 1444        | 461.3                                                                                                                                                                                                                        | 1184              | 395.0          |
| 1.905                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.075 | 2440        | 613.3                                                                                                                                                                                                                        | 2016              | 672.0          |
| 2.540                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.100 | 3066        | 1032.0                                                                                                                                                                                                                       | 2556              | 865.3          |
| 3.175                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.125 | 4818        | 1005.0                                                                                                                                                                                                                       | 3990              | 1326.7         |
| 3.810                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.150 | 5850        | 1863.3                                                                                                                                                                                                                       | 4956              | 1506.0         |
| 4.445                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.175 | 7214        | 2454.7                                                                                                                                                                                                                       | 6066              | 1986.7         |
| 5.080                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.200 | 105.080     | 3155.0                                                                                                                                                                                                                       | 7822              | 2607.3         |
| 5.715                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.225 | 8678        | 3232.7                                                                                                                                                                                                                       | 8160              | 2739.0         |
| 6.350                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.250 | 10560       | 3526.7                                                                                                                                                                                                                       | 9740              | 2913.3         |
| 6.985                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.275 | 11048       | 3663.7                                                                                                                                                                                                                       | 9938              | 3042.0         |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |                  |                                                                                                                                                                                    | Código: CBR-2024  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1653                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                  |                                                                                                                                                                                    | Versión: 1        |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                  |                                                                                                                                                                                    | Fecha: 18/10/2024 |  |
| <b>TESTISTAS:</b> BACH, JAVIER JOSE MORALES TELLO / BACH, RUSSELL QUICANA HUACCHARAQUI<br><b>TESTIS:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MIER EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 708, AYMARAS - 2024.<br><b>LOCALIZACIÓN:</b> CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 708, AYMARAS<br><b>DESCRIPCIÓN:</b> ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRAVA SC-5M DE BAJA PLASTICIDAD |  |                  | <b>CARRETERA:</b> AP-708 CHALCABANCA (PUNTA HUAYCHA)<br><b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 04 + 420<br><b>MUESTRA:</b> M-10<br><b>100% M.D.C (g/cm³):</b> 101.5<br><b>O.C.H. (%):</b> 8.65 |                   |  |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b> : NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1557<br><b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)</b> : 1.910<br><b>ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b> : 8.65<br><b>95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)</b> : 1.815                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                  |                                                                                                                                                                                    |                   |  |
| <b>RESULTADOS:</b><br><b>Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.</b> = 101.5 %<br><b>Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.</b> = 76.2 %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                  |                                                                                                                                                                                    |                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                  |                                                                                                                                                                                    |                   |  |
| <b>55 GOLPES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  | <b>25 GOLPES</b> |                                                                                                                                                                                    | <b>12 GOLPES</b>  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                  |                                                                                                                                                                                    |                   |  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |                  |                                                                                                                                                                                    |                   |  |

Figura 79 — Réplica de CBR combinación 0.20 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

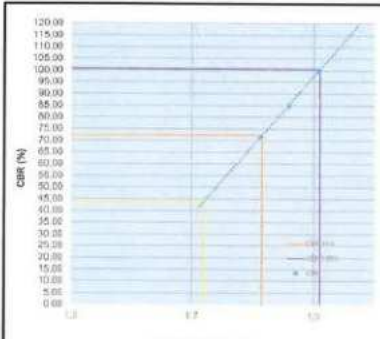
[illegible]

|                                                                                     |                                                                                              |  |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------|
|  | <b>MÉTODO DE ENSAYO DE GBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO)</b> |  | Código: CBR 3324  |
|                                                                                     | NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1553                                                      |  | Versión: 1        |
|                                                                                     |                                                                                              |  | Fecha: 18/10/2024 |

|                      |                                                                                                                                                                                                         |                            |                                       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <b>TESTISTAS:</b>    | SACH JAVIER JOSE MORALES TELLO / SACH RUSSELL QUIJAGA HUACCHARAQUI                                                                                                                                      | <b>CARRETERA:</b>          | AP-758 CHALTEJAYCA - PISCOS (LIMA-CH) |
| <b>TESES:</b>        | INFLUENCIA DEL ACEITE SULFANADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLOYANDO LA MBR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-758 AYMARAES-2024 | <b>CANTERA:</b>            | HUAYCHA Km 34 +420                    |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b> | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-758, AYMARAES                                                                                                                                                             | <b>MUESTRA:</b>            | M 12                                  |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b>  | ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRASA RC-8M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                              | <b>100% M.D.C (g/cm³):</b> | 100.7                                 |
|                      |                                                                                                                                                                                                         | <b>O.C.H. (%)</b>          | 8,55                                  |



Densidad Saca (g/cm³)

**MÉTODO DE COMPACTACIÓN** : NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557

**MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1,810

**ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 8,85

**95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1,815 95%

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| C.B.R. a 100% de M.D.S (t,%) : | 100.7 |
| C.B.R. a 95% de M.D.S (t,%) :  | 72.3  |

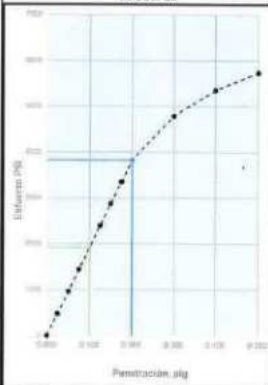
**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 100.7 %

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 72.3 %

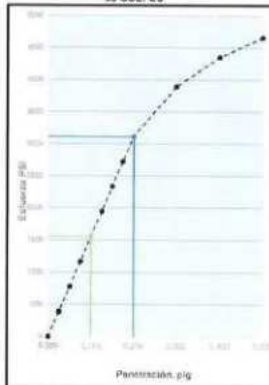
  

**56 GOLPES**



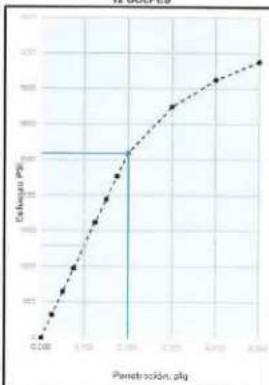
Penetración, pulg

**25 GOLPES**



Penetración, pulg

**12 GOLPES**



Penetración, pulg

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>OBSERVACIONES:</b> |  |
|                       |  |





AUTORIZADO  
 JOSE AUGUSTO GOSPE MORALES  
 ING. CIVIL  
 CIP. N° 300569

**Figura 80 — CBR combinación 0.25 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.00 % de cemento portland I**

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO                                                                                                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Objetivo                             |  | CDBR 2024                    |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------|--|------------------------------|--|
| NTP 339-145 / MTC E - 132 / ASTM D-5883                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Versión                              |  | 1                            |  |
|                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Fecha                                |  | 19/10/2024                   |  |
| <b>TESTISTAS:</b> BACH. JHON JOSE MORALES TELLO / BACH. RUSSELL QUICHA HUACMARQUE                                                                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>CARRERERA:</b>                    |  | <b>APRUEBA CALIFICACION:</b> |  |
| <b>TESTES:</b> INFLUENCIA DE AGUETE SULFATADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MQR EN LA SUBGRANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA. CANTERA AP. 786 AYMARINES. 2024. |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>CANTERA:</b> HUAYCHA R04 D4 + 403 |  | <b>PRUEBA CALIFICACION:</b>  |  |
| <b>LOCALIZACION:</b> CANTERA HUAYCHA, CARRERERA AP. 786, AYMARINES                                                                                                                                                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>MUESTRA:</b> M-54                 |  | <b>100% M.O.C (g/km²)</b>    |  |
| <b>DESCRIPCION:</b> ARENA ARCILLOSA OSCURA CON GRAVA S.O.M DE TAMA PLASTICIDAD                                                                                                                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>O.S.H. (%)</b>                    |  | <b>8,62</b>                  |  |
| <b>COLOR:</b> CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>DOSIFICACION:</b>                 |  | <b>0.28 (M³ + 2.0%)</b>      |  |

| COMPACTACION                       |             |          |             |          |             |          |  |  |  |
|------------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|--|--|--|
| Molde N°                           | 21          |          | 28          |          | 19          |          |  |  |  |
|                                    | g           | %        | g           | %        | g           | %        |  |  |  |
| Carga por Capa N°                  | 60          |          | 20          |          | 10          |          |  |  |  |
| Condiciones de la muestra          | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO |  |  |  |
| Peso del molde + Suelo (vacío) (g) | 12360.00    | 12340.00 | 12185.00    | 12270.00 | 12200.00    | 12200.00 |  |  |  |
| Peso del molde (g)                 | 7860.00     | 7860.00  | 7860.00     | 7860.00  | 8060.00     | 8060.00  |  |  |  |
| Peso del Suelo (vacío) (g)         | 6430.00     | 4480.00  | 4325.00     | 4410.00  | 4140.00     | 4140.00  |  |  |  |
| Humedad del molde (%)              | 2108.00     | 2128.00  | 2118.00     | 2188.00  | 2108.00     | 2128.00  |  |  |  |
| Densidad máxima (g/cm³)            | 2.87        | 2.18     | 1.86        | 2.04     | 1.84        | 2.03     |  |  |  |
| Grav. (N)                          | 0.1         | 0.1      | 0.1         | 0.1      | 0.1         | 0.1      |  |  |  |
| Peso suelo húmedo + tara (g)       | 387.28      | 370.28   | 351.29      | 387.30   | 387.10      | 409.10   |  |  |  |
| Peso suelo seco + tara (g)         | 388.00      | 348.00   | 376.10      | 382.30   | 388.10      | 388.30   |  |  |  |
| Peso tara (g)                      | 30.00       | 30.00    | 34.10       | 34.10    | 34.00       | 34.00    |  |  |  |
| Peso de agua (g)                   | 20.00       | 30.00    | 15.00       | 15.00    | 16.00       | 16.00    |  |  |  |
| Peso del suelo seco (g)            | 373.00      | 368.00   | 361.00      | 367.20   | 352.10      | 354.30   |  |  |  |
| Conversión de Humedad (%)          | 8.70        | 8.62     | 1.81        | 16.88    | 7.28        | 11.89    |  |  |  |
| Densidad seca (g/cm³)              | 1.91        | 1.91     | 1.91        | 1.91     | 1.91        | 1.91     |  |  |  |

| EXPANSION |       |        |      |           |       |      |           |       |      |           |       |
|-----------|-------|--------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|
| FECHA     | HORA  | TIEMPO | DIAL | EXPANSION |       | DIAL | EXPANSION |       | DIAL | EXPANSION |       |
|           |       |        |      | mm        | %     |      | mm        | %     |      | mm        | %     |
| 19/11/24  | 15:30 | 0      | 0.00 | 0.000     | 0.000 | 0.0  | 0.000     | 0.000 | 0.0  | 0.000     | 0.000 |
| 20/11/24  | 15:30 | 24.00  | 0.0  | 0.080     | 0.080 | 10.5 | 0.105     | 0.090 | 14.7 | 0.147     | 0.126 |
| 20/11/24  | 15:30 | 48.00  | 0.0  | 0.130     | 0.126 | 17.3 | 0.173     | 0.149 | 21.8 | 0.216     | 0.186 |
| 20/11/24  | 15:30 | 72.00  | 0.0  | 0.180     | 0.176 | 24.0 | 0.240     | 0.206 | 29.6 | 0.296     | 0.266 |
| 20/11/24  | 15:30 | 96.00  | 0.0  | 0.240     | 0.214 | 26.7 | 0.267     | 0.247 | 33.7 | 0.337     | 0.299 |

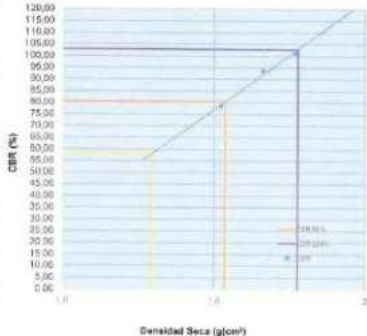
| PENETRACION  |       |          |             |             |           |          |             |             |           |          |             |             |           |
|--------------|-------|----------|-------------|-------------|-----------|----------|-------------|-------------|-----------|----------|-------------|-------------|-----------|
| CARGA ESTADO |       | MOLDE N° |             |             |           | MOLDE N° |             |             |           | MOLDE N° |             |             |           |
| mm           | psig  | Actores  | Refractores | Refractores | CDR %     | Actores  | Refractores | Refractores | CDR %     | Actores  | Refractores | Refractores | CDR %     |
|              |       | mm       | PSI         | PSI         | Corregido | mm       | PSI         | PSI         | Corregido | mm       | PSI         | PSI         | Corregido |
| 0.009        | 0.001 | 0        | 0.0         | 0.0         |           | 0        | 0.0         | 0.0         |           | 0        | 0.0         | 0.0         |           |
| 0.033        | 0.003 | 174      | 324.2       | 324.2       |           | 483      | 150.7       | 150.7       |           | 379      | 120.0       | 120.0       |           |
| 1.270        | 0.001 | 1184     | 369.0       | 369.0       |           | 850      | 285.3       | 285.3       |           | 716      | 239.7       | 239.7       |           |
| 1.966        | 0.010 | 2156     | 716.3       | 716.3       |           | 1674     | 559.3       | 559.3       |           | 1404     | 466.0       | 466.0       |           |
| 2.540        | 0.100 | 70465    | 1011.3      | 1011.3      | 101.1     | 3812     | 927.2       | 917.3       | 10.7      | 2702     | 784.0       | 7           |           |

|                                                                                     |                                                                                                            |  |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------|
|  | <b>MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO</b> |  | Código: CBR-2024  |
|                                                                                     |                                                                                                            |  | Versión: 1        |
|                                                                                     |                                                                                                            |  | Fecha: 18/12/2024 |
| <b>NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883</b>                                      |                                                                                                            |  |                   |

|                      |                                                                                                                                                                                                           |                           |                                     |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>TESTISTAS:</b>    | BACH: JAVIER JOSÉ MORALES TELLO / BACH: RUSSELL QUICANA HUACVARRAQI                                                                                                                                       | <b>CARRETERA:</b>         | AP-788 CHACHACOMAYO - PUNTA HUAYCHA |
| <b>TESTIS:</b>       | INFLUENCIA DE AGENTE SULFATADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MIER EN LA SUBGRANANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-788 AYMARAES - 2024 | <b>CANTERA:</b>           | HUAYCHA KILÓMETRO 14.6              |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b> | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-788, AYMARAES                                                                                                                                                               | <b>MUESTRA:</b>           | M-14                                |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b>  | ARENA ARCILLOSO LIMOSO CON GRAVA S.O.M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                | <b>100% M.D.C (g/cm³)</b> | 122.9                               |
|                      |                                                                                                                                                                                                           | <b>O.C.H. (%)</b>         | 9.85                                |



**Densidad Seca (g/cm³)**

**MÉTODO DE COMPACTACIÓN** : NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557

MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.910

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 8.66

95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.815      95%

C.B.R. al 100% de M.D.S (g/cm³) : 182.5

C.B.R. al 95% de M.D.S (g/cm³) : 80.5

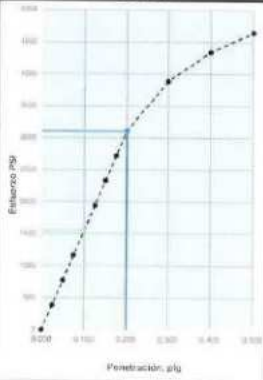
**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : \* 107.3 %

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : \* 80.5 %

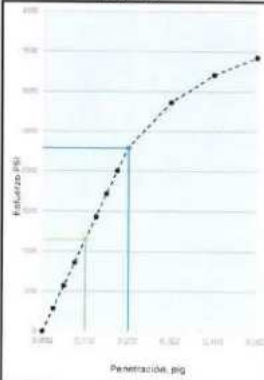
  

**56 GOLPES**



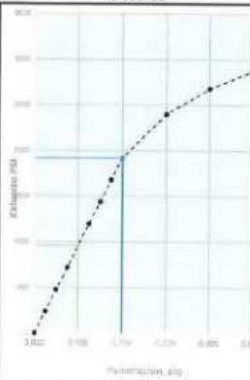
**Penetración, mm**

**25 GOLPES**



**Penetración, mm**

**12 GOLPES**



**Penetración, mm**

|                       |  |  |
|-----------------------|--|--|
| <b>OBSERVACIONES:</b> |  |  |
|-----------------------|--|--|







APROBADO

**JOSÉ AUGUSTO DELGADO MORALES**

ING. CIVIL

CIP N° 3005129

**Figura 81 — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.00 % cemento portland I**

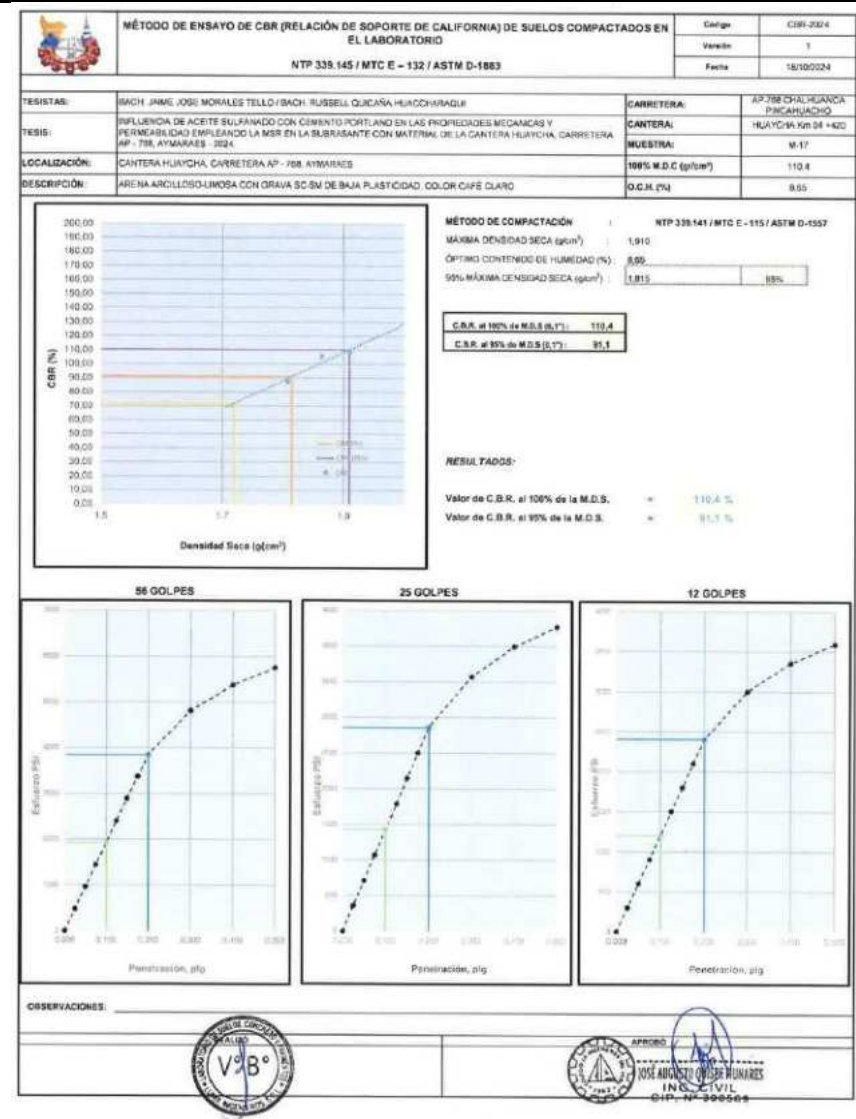
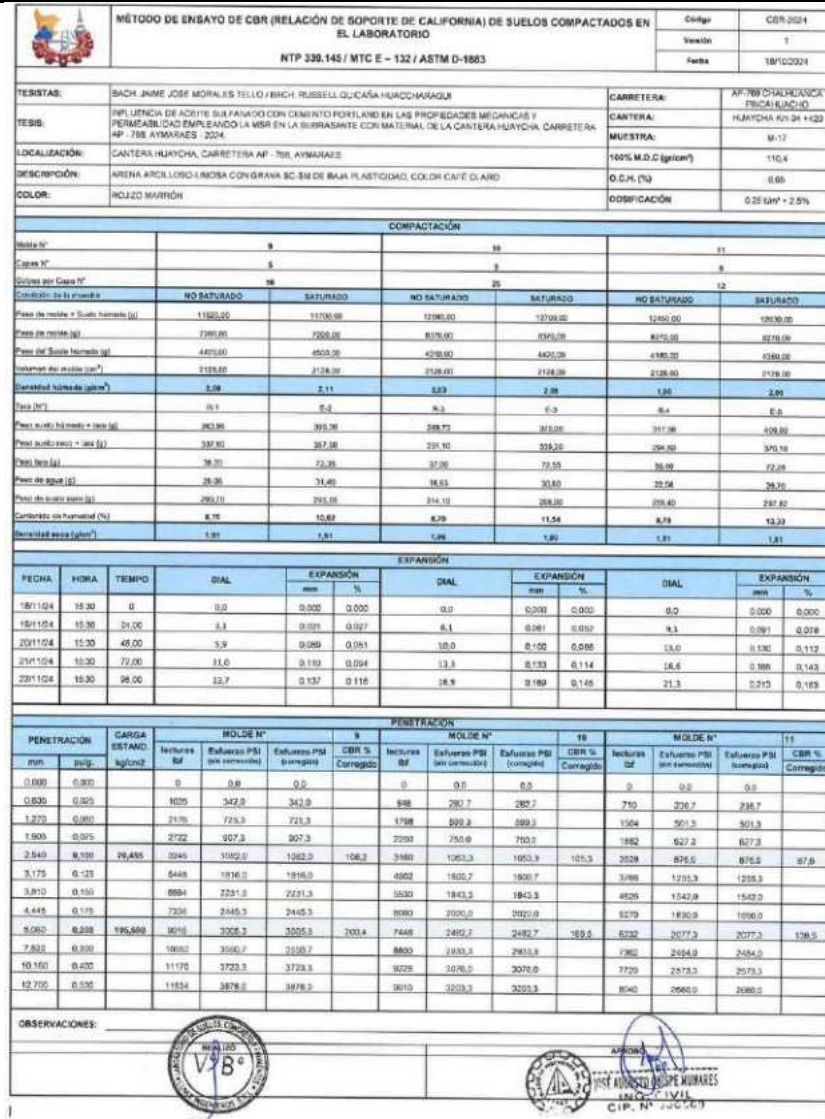


Figura 82 — CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

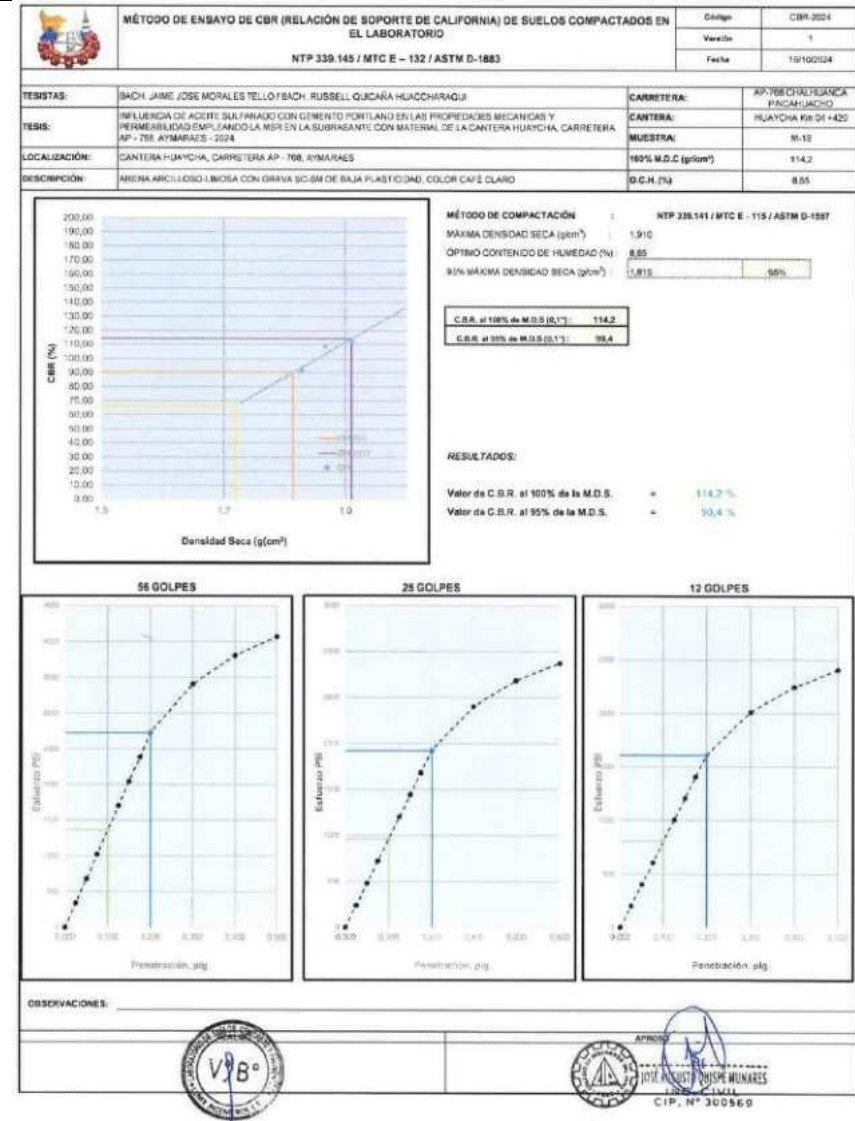
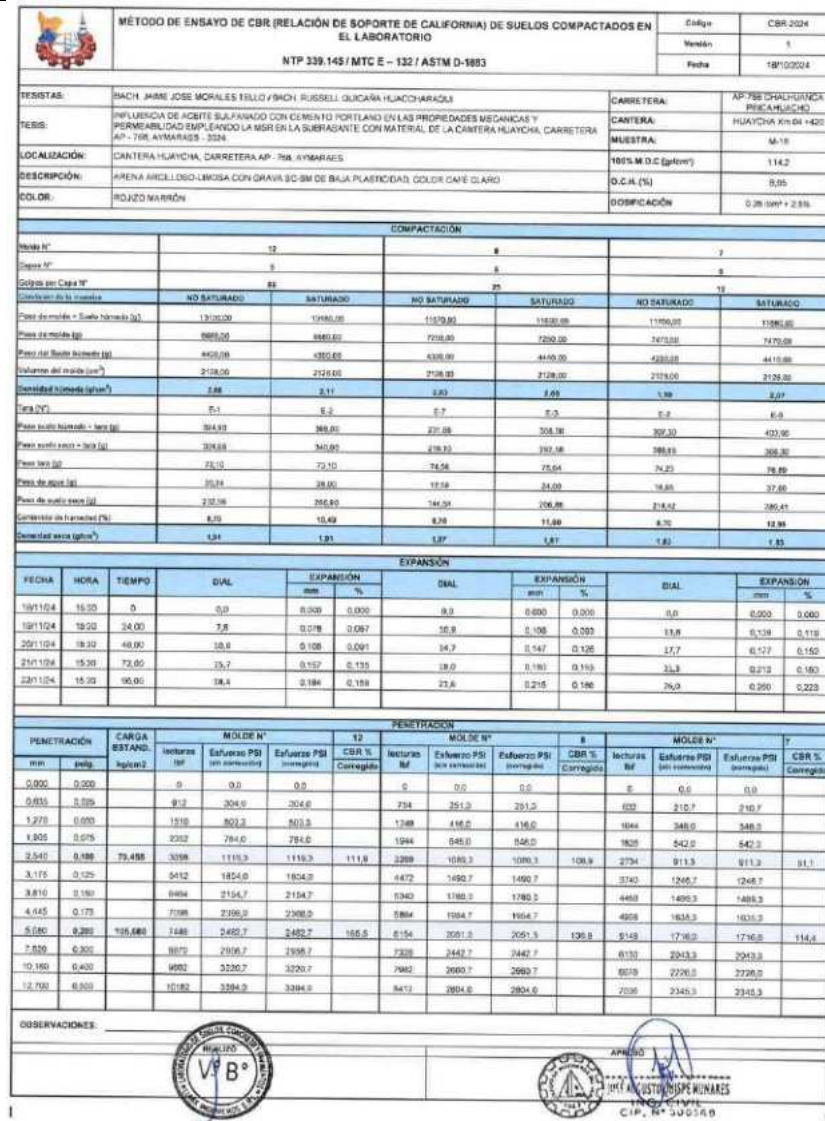


Figura 83 — CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

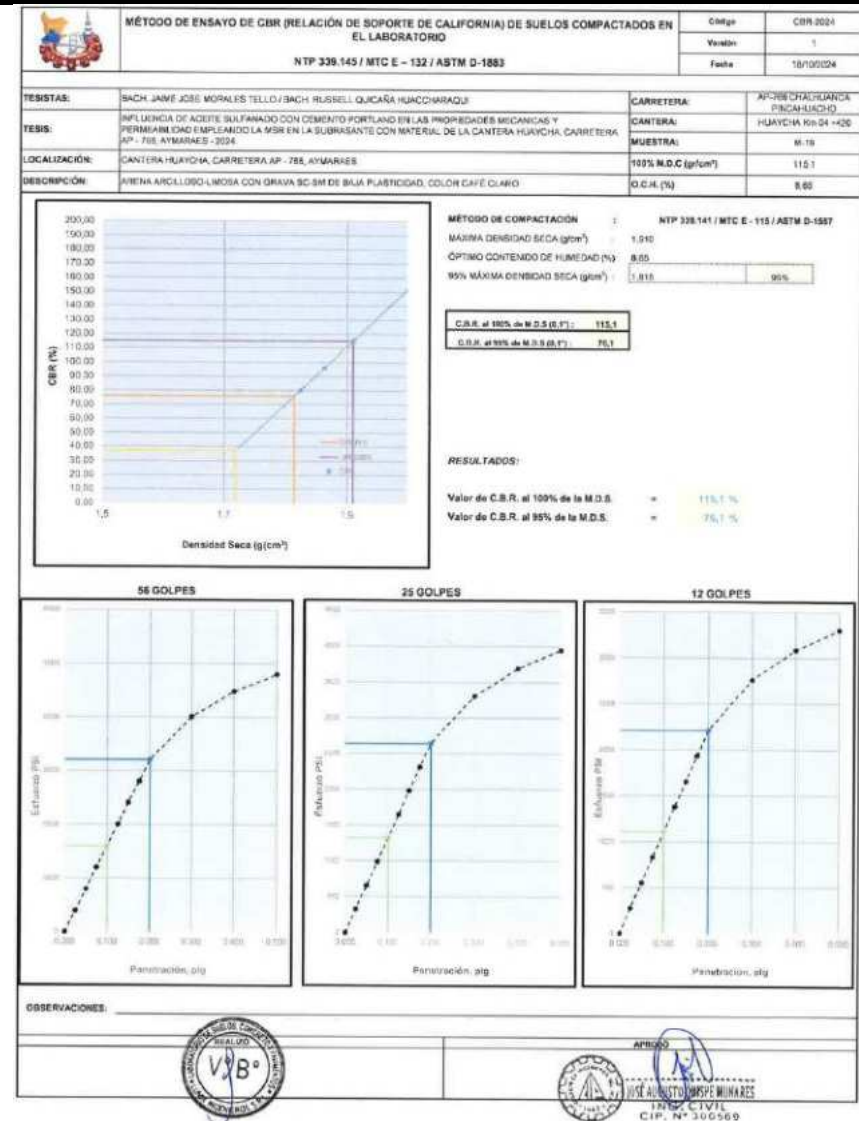
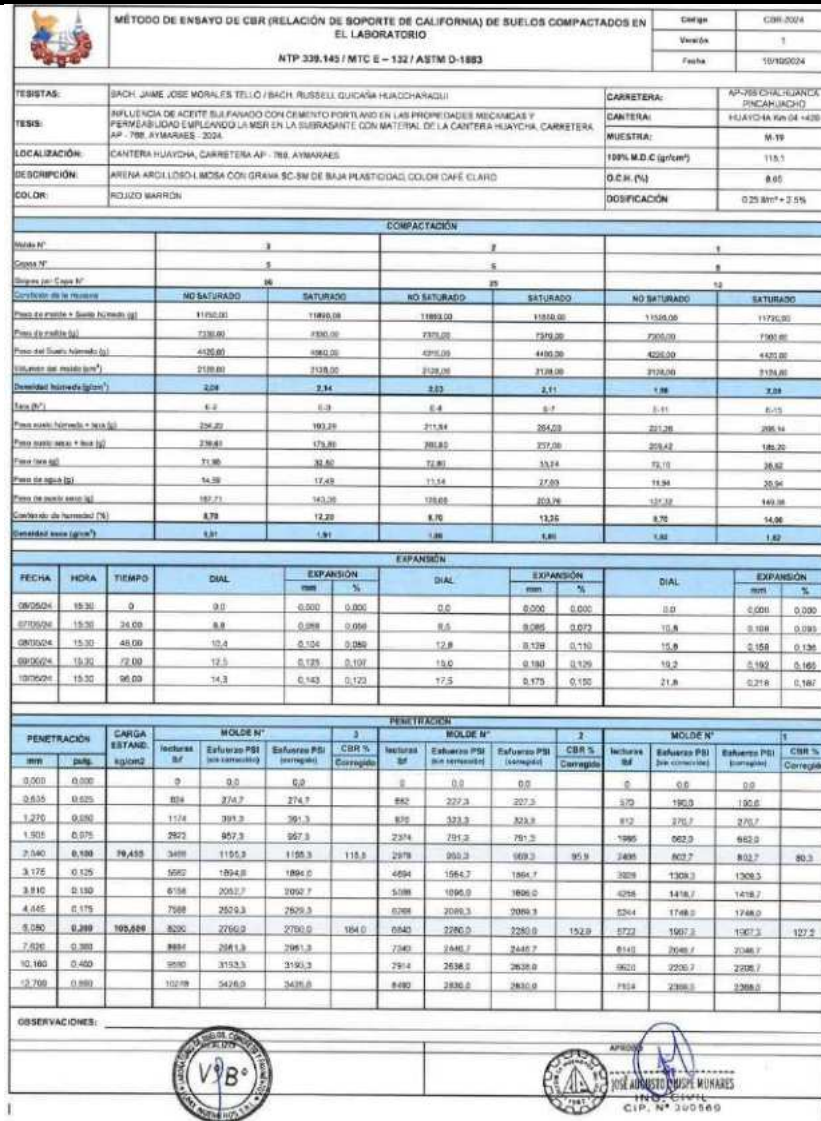


Figura 84 — CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

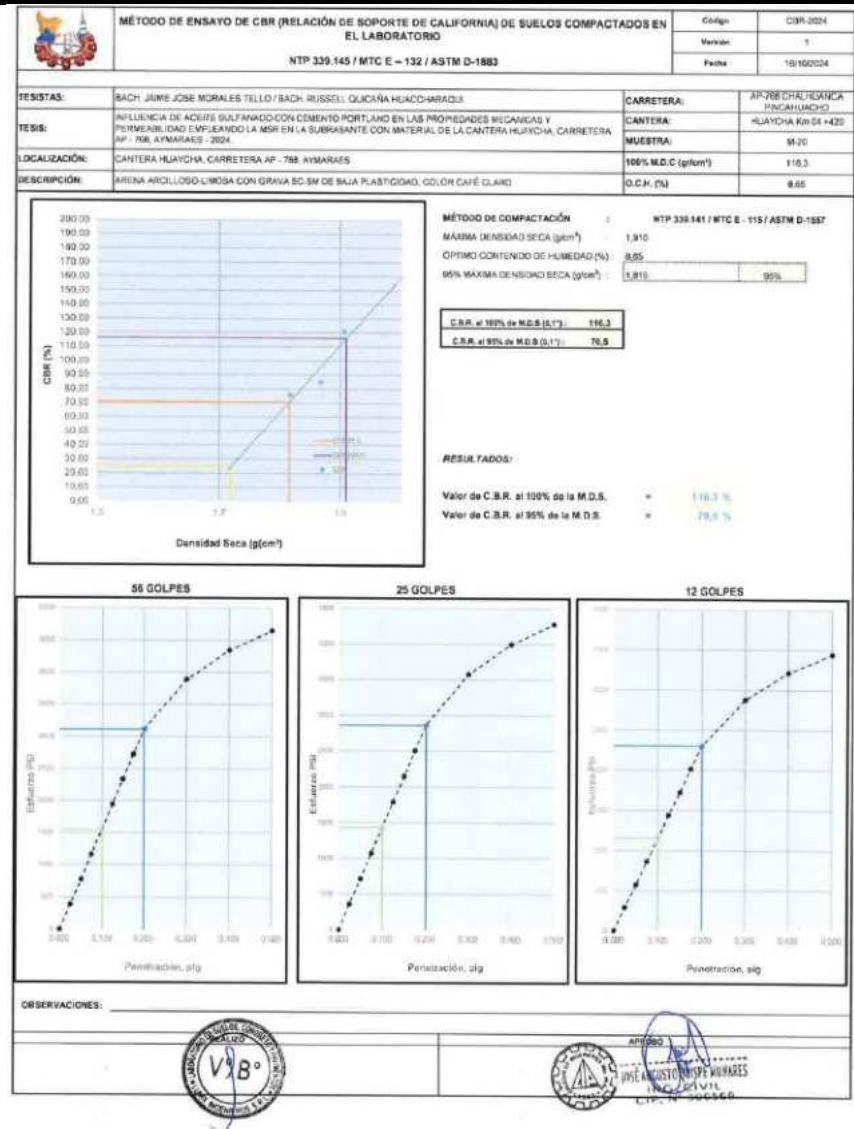
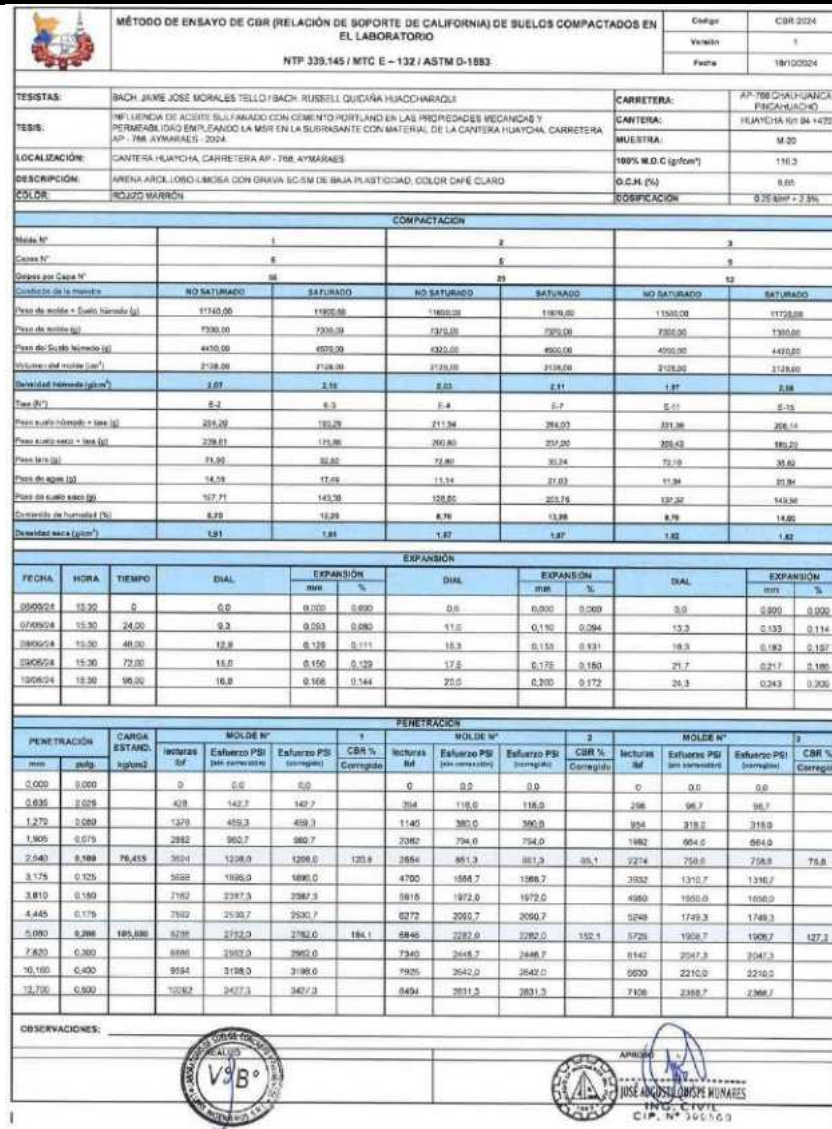


Figura 85 — CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                          |          |             | Código             | CBR 2024                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------------------|-------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                          |          |             | Versión            | 1                             |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | Fecha              | 18/10/2024                    |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH, JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICARÁ HUACOHARQUI                                                                                                                                       |          |             | CARRERA:           | AP-788 CHACHALUPA PUNCAHUACHO |
| TEMA:                                                                                               | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MÉR EN LA SUBSISTANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788, AYMARAES - 2024. |          |             | CANTERA:           | HUAYCHA Km 34 +400            |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788, AYMARAES                                                                                                                                                                |          |             | MUESTRA:           | M-21                          |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO LINDSA CON GRAVA SC-SH DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO                                                                                                                             |          |             | 100% M.D.C (g/cm³) | 1.17,8                        |
| COLOR:                                                                                              | ROJIZO MARRÓN                                                                                                                                                                                            |          |             | O.C.R. (%)         | 6,65                          |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | DOSEIFICACIÓN      | 0,25 lt/m³ + 2,5%             |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                               |
| Medida N°                                                                                           | 1                                                                                                                                                                                                        |          | 2           |                    | 3                             |
| Calibre N°                                                                                          | 9                                                                                                                                                                                                        |          | 25          |                    | 9                             |
| Superficie Capa N°                                                                                  | 36                                                                                                                                                                                                       |          | 25          |                    | 12                            |
| Condición de la muestra                                                                             | NO SATURADO                                                                                                                                                                                              | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO           | NO SATURADO                   |
| Peso seco molde + Suelo Tratado (g)                                                                 | 11740,00                                                                                                                                                                                                 | 11840,00 | 11836,00    | 11801,00           | 11730,00                      |
| Peso de molde (g)                                                                                   | 7338,00                                                                                                                                                                                                  | 7330,00  | 7335,00     | 7330,00            | 7330,00                       |
| Peso del Suelo Humedo (g)                                                                           | 4402,00                                                                                                                                                                                                  | 4510,00  | 4501,00     | 4471,00            | 4400,00                       |
| Volumen del molde (cm³)                                                                             | 2138,00                                                                                                                                                                                                  | 2130,00  | 2134,00     | 2134,00            | 2130,00                       |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                             | 2,07                                                                                                                                                                                                     | 2,14     | 2,09        | 2,07               | 2,07                          |
| Tasa (%)                                                                                            | 9,2                                                                                                                                                                                                      | 9,3      | 9,4         | 9,7                | 9,16                          |
| Peso seco molde + Suelo (g)                                                                         | 234,29                                                                                                                                                                                                   | 193,20   | 211,34      | 284,09             | 208,14                        |
| Peso seco seco + Suelo (g)                                                                          | 236,81                                                                                                                                                                                                   | 173,80   | 303,60      | 237,06             | 183,20                        |
| Peso seco (g)                                                                                       | 71,30                                                                                                                                                                                                    | 39,50    | 72,80       | 39,24              | 39,88                         |
| Peso de agua (g)                                                                                    | 16,58                                                                                                                                                                                                    | 17,69    | 18,14       | 27,09              | 39,88                         |
| Peso de agua seco (g)                                                                               | 167,21                                                                                                                                                                                                   | 143,30   | 168,00      | 203,76             | 148,08                        |
| Contenido de humedad (%)                                                                            | 8,70                                                                                                                                                                                                     | 12,29    | 8,70        | 13,26              | 14,00                         |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                               | 1,01                                                                                                                                                                                                     | 1,01     | 1,04        | 1,04               | 1,01                          |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                               |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                     | TIEMPO   | DIAL        | EXPANSIÓN          | DIAL                          |
| 09/05/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 8        | 0,0         | 0,000              | 0,000                         |
| 07/05/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 24,00    | 0,1         | 0,041              | 0,038                         |
| 08/05/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 48,00    | 0,6         | 0,076              | 0,050                         |
| 09/05/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 72,00    | 10,3        | 0,103              | 0,088                         |
| 10/05/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 96,00    | 13,0        | 0,130              | 0,112                         |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                               |
| PENETRACIÓN                                                                                         | CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                            | MOLDE N° | 7           | 8                  | 9                             |
| mm                                                                                                  | kgf                                                                                                                                                                                                      | kgf      | kgf         | kgf                | kgf                           |
| 0,000                                                                                               | 0,000                                                                                                                                                                                                    | 0        | 0,0         | 0,0                | 0,0                           |
| 0,025                                                                                               | 0,025                                                                                                                                                                                                    | 1536     | 512,7       | 512,7              | 340                           |
| 1,270                                                                                               | 0,080                                                                                                                                                                                                    | 2444     | 814,7       | 814,7              | 1088                          |
| 1,905                                                                                               | 0,075                                                                                                                                                                                                    | 2809     | 962,7       | 962,7              | 2290                          |
| 2,540                                                                                               | 0,080                                                                                                                                                                                                    | 3402     | 1160,7      | 1160,7             | 3086                          |
| 3,175                                                                                               | 0,125                                                                                                                                                                                                    | 5526     | 1858,7      | 1858,7             | 4592                          |
| 3,810                                                                                               | 0,180                                                                                                                                                                                                    | 6956     | 2332,7      | 2332,7             | 5675                          |
| 4,445                                                                                               | 0,175                                                                                                                                                                                                    | 7410     | 2470,0      | 2470,0             | 6015                          |
| 5,080                                                                                               | 0,200                                                                                                                                                                                                    | 8070     | 2860,0      | 2860,0             | 6962                          |
| 7,620                                                                                               | 0,300                                                                                                                                                                                                    | 9618     | 3318,0      | 3318,0             | 7038                          |
| 10,160                                                                                              | 0,400                                                                                                                                                                                                    | 10300    | 3443,0      | 3443,0             | 7602                          |
| 12,700                                                                                              | 0,500                                                                                                                                                                                                    | 10882    | 3654,0      | 3654,0             | 8148                          |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                               |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Código             | CBR 2024                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------|-------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Versión            | 1                             |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  | Fecha              | 18/10/2024                    |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH, JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICARÁ HUACOHARQUI                                                                                                                                       |  |  | CARRERA:           | AP-788 CHACHALUPA PUNCAHUACHO |
| TEMA:                                                                                               | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MÉR EN LA SUBSISTANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788, AYMARAES - 2024. |  |  | CANTERA:           | HUAYCHA Km 34 +400            |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788, AYMARAES                                                                                                                                                                |  |  | MUESTRA:           | M-21                          |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO LINDSA CON GRAVA SC-SH DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ CLARO                                                                                                                             |  |  | 100% M.D.C (g/cm³) | 1.17,8                        |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  | O.C.R. (%)         | 6,65                          |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b> : NTP 339.145 / MTC E - 115 / ASTM D-1887                             |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1,910                                                                |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 8,65                                                              |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1,819                                                            |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| C.B.R. al 100% de M.D.S (L.T.) : 117,8                                                              |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| C.B.R. al 95% de M.D.S (L.T.) : 92,2                                                                |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. : 117,8 %                                                      |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. : 92,2 %                                                        |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                          |  |  |                    |                               |

Figura 86 — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

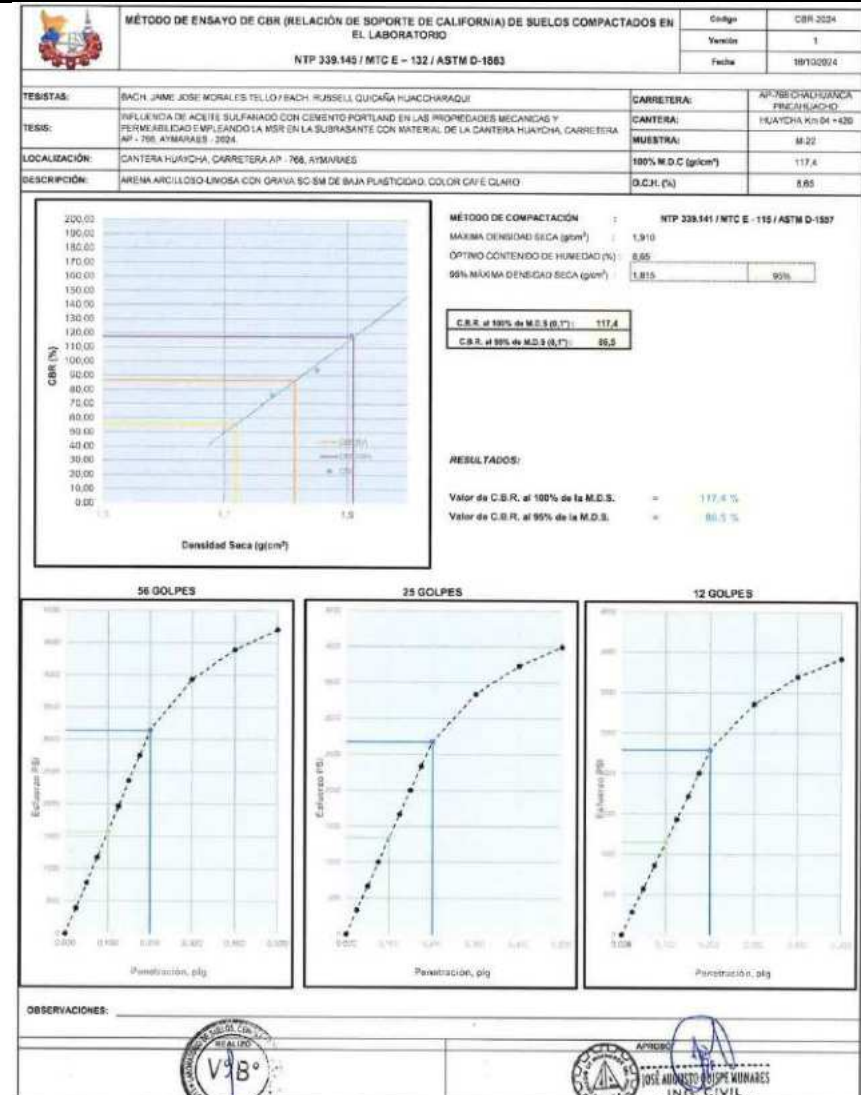
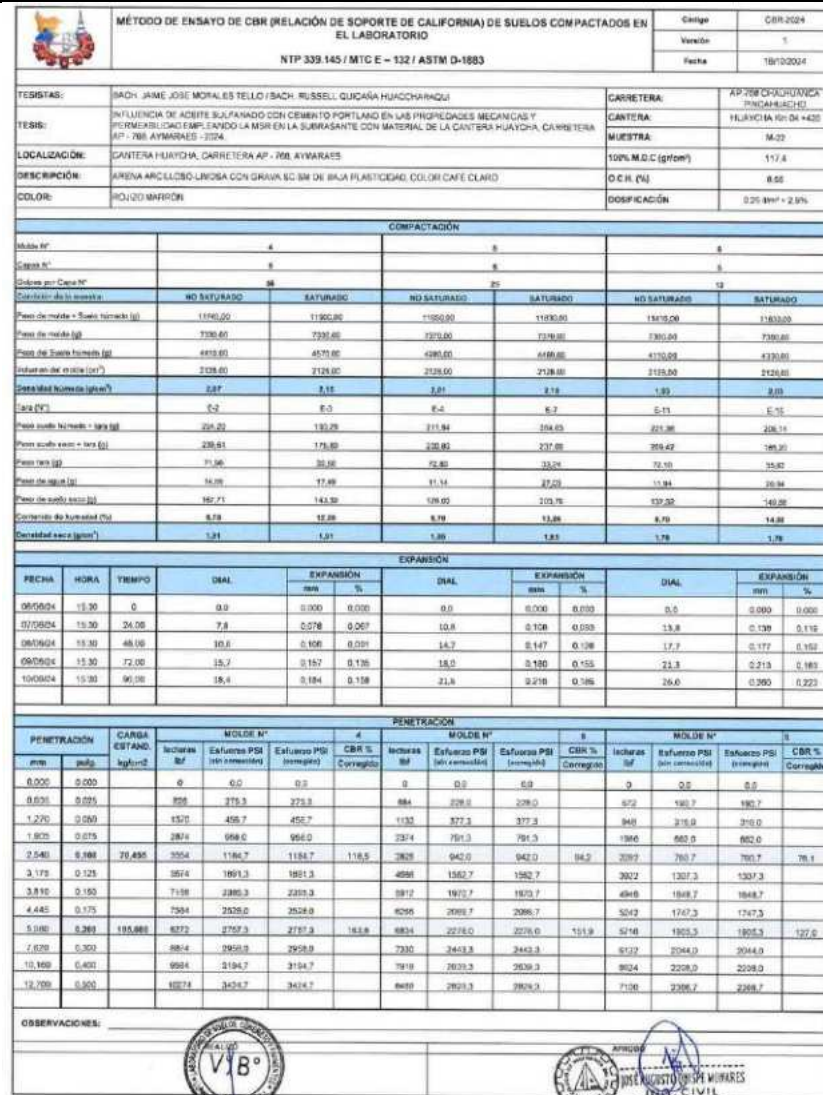


Figura 87 — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                          |          |             | Código             |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------------------|---------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                          |          |             | CBR-3304           |                                 |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | Versión            |                                 |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | 1                  |                                 |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | Fecha              |                                 |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | 18/10/2024         |                                 |
| TESISTAS:                                                                                           | BACH. JAME JOSE MORALES TELLO / BACH. RUSSELL GUICARÁ HUACCHARAQUI                                                                                                                                       |          |             | CARRTERA:          | AP 768 CHALCHACCA - PUNCAHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRTERA AP - 768 AYMARAES - 2024 |          |             | CANTERA:           | HUAYCHA KM 34 +420              |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRTERA AP - 768 AYMARAES                                                                                                                                                              |          |             | MUESTRA:           | M-23                            |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                               |          |             | 100% M.D.C (g/cm³) | 115.0                           |
| COLOR:                                                                                              | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                               |          |             | Q.C.H. (%)         | 8.95                            |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          |             | DISIPACIÓN         | 0.25 mm + 2.6%                  |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                                 |
| Humedad (%)                                                                                         | F                                                                                                                                                                                                        |          | S           |                    | S                               |
| Capas por Capa 1"                                                                                   | S                                                                                                                                                                                                        |          | S           |                    | S                               |
| Capas por Capa 1"                                                                                   | 25                                                                                                                                                                                                       |          | 25          |                    | 12                              |
| Control de la humedad                                                                               | NO SATURADO                                                                                                                                                                                              | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO           | NO SATURADO                     |
| Peso de muestra + Scales (kg)                                                                       | 11740.00                                                                                                                                                                                                 | 11880.00 | 11720.00    | 11870.00           | 11710.00                        |
| Peso de humedad (g)                                                                                 | 7336.00                                                                                                                                                                                                  | 7350.00  | 7330.00     | 7340.00            | 7320.00                         |
| Peso del Scales (kg)                                                                                | 4180.00                                                                                                                                                                                                  | 4190.00  | 4170.00     | 4180.00            | 4170.00                         |
| Volumen del molde (cm³)                                                                             | 3128.00                                                                                                                                                                                                  | 3128.00  | 3128.00     | 3128.00            | 3128.00                         |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                             | 3.67                                                                                                                                                                                                     | 3.76     | 3.63        | 3.71               | 3.67                            |
| Grav (g)                                                                                            | 8.2                                                                                                                                                                                                      | 8.3      | 8.4         | 8.5                | 8.6                             |
| Peso suelo húmedo + Scales (g)                                                                      | 236.80                                                                                                                                                                                                   | 238.20   | 237.40      | 238.80             | 237.60                          |
| Peso suelo seco + Scales (g)                                                                        | 238.81                                                                                                                                                                                                   | 239.80   | 238.80      | 239.80             | 238.80                          |
| Peso seco (g)                                                                                       | 71.01                                                                                                                                                                                                    | 71.50    | 70.99       | 71.91              | 71.00                           |
| Peso de agua (g)                                                                                    | 14.78                                                                                                                                                                                                    | 17.00    | 15.14       | 17.89              | 16.80                           |
| Peso de agua seco (g)                                                                               | 167.71                                                                                                                                                                                                   | 143.50   | 128.50      | 161.76             | 155.20                          |
| Gravidad de humedad (%)                                                                             | 8.76                                                                                                                                                                                                     | 12.20    | 8.75        | 13.89              | 14.80                           |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                               | 1.81                                                                                                                                                                                                     | 1.81     | 1.82        | 1.83               | 1.82                            |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                                 |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                     | TIEMPO   | DIAL        | EXPANSIÓN          | EXPANSIÓN                       |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |          | mm          | %                  | %                               |
| 05/08/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 0        | 0.0         | 0.000              | 0.000                           |
| 07/08/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 24.00    | 7.9         | 0.079              | 0.084                           |
| 08/08/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 48.00    | 11.8        | 0.118              | 0.089                           |
| 09/08/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 72.00    | 13.9        | 0.139              | 0.115                           |
| 10/08/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                    | 96.00    | 15.6        | 0.156              | 0.120                           |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                                 |
| PENETRACIÓN                                                                                         | CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                            | MOLDE N° | 7           | MOLDE N°           | 8                               |
| mm                                                                                                  | kgf/cm²                                                                                                                                                                                                  | kgf/cm²  | kgf/cm²     | kgf/cm²            | kgf/cm²                         |
| 0.000                                                                                               | 0.000                                                                                                                                                                                                    | 0.0      | 0.0         | 0.0                | 0.0                             |
| 0.005                                                                                               | 0.005                                                                                                                                                                                                    | 1388     | 812.7       | 812.7              | 340                             |
| 1.270                                                                                               | 0.050                                                                                                                                                                                                    | 2444     | 814.7       | 814.7              | 1288                            |
| 1.905                                                                                               | 0.075                                                                                                                                                                                                    | 3988     | 3326.3      | 3326.3             | 2280                            |
| 2.540                                                                                               | 0.100                                                                                                                                                                                                    | 5532     | 1108.7      | 1108.7             | 3400                            |
| 3.175                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                    | 7076     | 1858.7      | 1858.7             | 4502                            |
| 3.810                                                                                               | 0.150                                                                                                                                                                                                    | 8620     | 2508.7      | 2508.7             | 5604                            |
| 4.445                                                                                               | 0.175                                                                                                                                                                                                    | 10164    | 2470.0      | 2470.0             | 6706                            |
| 5.080                                                                                               | 0.200                                                                                                                                                                                                    | 11708    | 2959.0      | 2959.0             | 7808                            |
| 5.715                                                                                               | 0.225                                                                                                                                                                                                    | 13252    | 3218.0      | 3218.0             | 8910                            |
| 6.350                                                                                               | 0.250                                                                                                                                                                                                    | 14796    | 3443.0      | 3443.0             | 10012                           |
| 6.985                                                                                               | 0.275                                                                                                                                                                                                    | 16340    | 3884.0      | 3884.0             | 11114                           |
| 7.620                                                                                               | 0.300                                                                                                                                                                                                    | 17884    | 4325.0      | 4325.0             | 12216                           |
| 8.255                                                                                               | 0.325                                                                                                                                                                                                    | 19428    | 4766.0      | 4766.0             | 13318                           |
| 8.890                                                                                               | 0.350                                                                                                                                                                                                    | 20972    | 5207.0      | 5207.0             | 14420                           |
| 9.525                                                                                               | 0.375                                                                                                                                                                                                    | 22516    | 5648.0      | 5648.0             | 15522                           |
| 10.160                                                                                              | 0.400                                                                                                                                                                                                    | 24060    | 6089.0      | 6089.0             | 16624                           |
| 10.795                                                                                              | 0.425                                                                                                                                                                                                    | 25604    | 6530.0      | 6530.0             | 17726                           |
| 11.430                                                                                              | 0.450                                                                                                                                                                                                    | 27148    | 6971.0      | 6971.0             | 18828                           |
| 12.065                                                                                              | 0.475                                                                                                                                                                                                    | 28692    | 7412.0      | 7412.0             | 19930                           |
| 12.700                                                                                              | 0.500                                                                                                                                                                                                    | 30236    | 7853.0      | 7853.0             | 21032                           |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                          |          |             |                    |                                 |

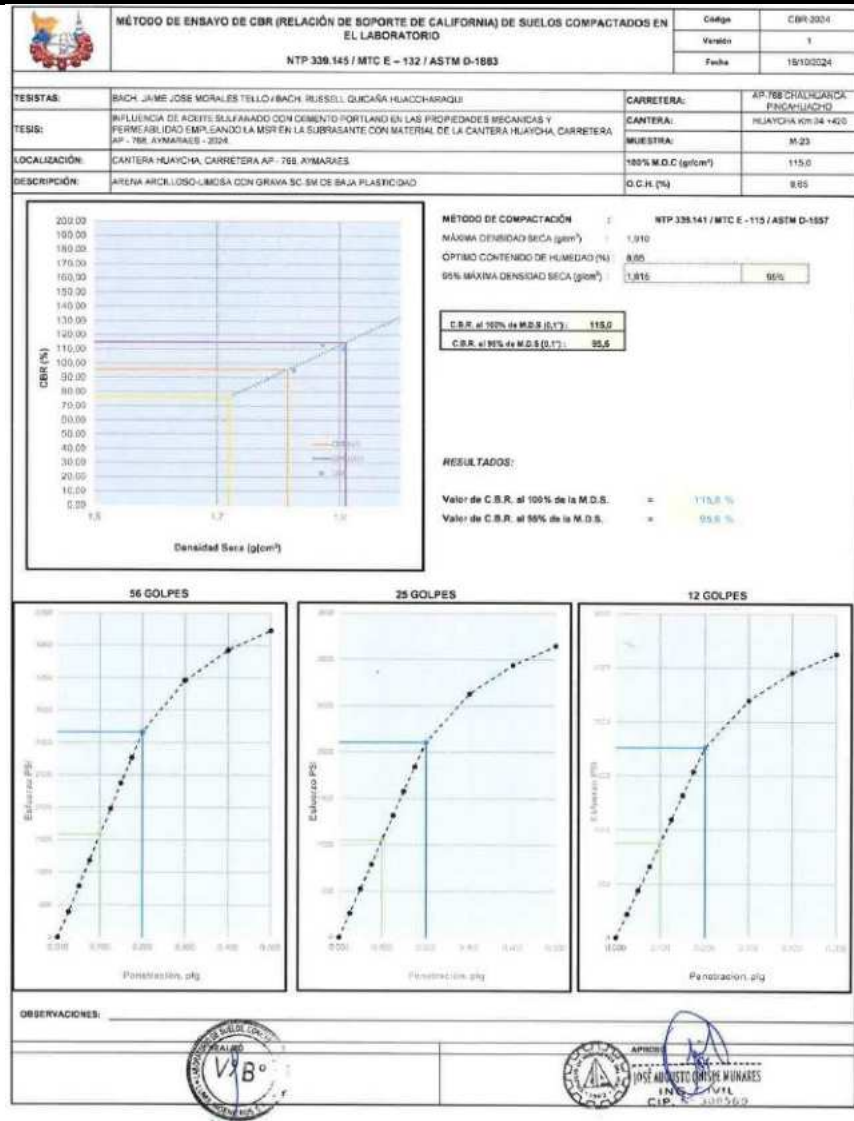


Figura 88 — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                       |             |                               | Código: CBR-2024         |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1557                                                             |                                                                                                                                                                                                       |             |                               | Versión: 1               |                               |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |             |                               | Fecha: 19/10/2024        |                               |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL GUICARÁ HUACCHARAQUI                                                                                                                                   |             |                               | CARRERA:                 | AP-768 CHALCHACOMA PUNAHUACHO |
| TEMA:                                                                                               | INFLUENCIA DE ADETE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MBR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-768, AYMARAES - 2024 |             |                               | CANTERA:                 | HUAYCHA Km 36 + 420           |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-768, AYMARAES                                                                                                                                                             |             |                               | MUESTRA:                 | M-24                          |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCELOSO-LINOSA CON GRAVA SC-5M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |             |                               | 100% M.D.C (g/cm³)       | 121.5                         |
| COLOR:                                                                                              | CAFE CLARO                                                                                                                                                                                            |             |                               | O.C.H. (%)               | 8.65                          |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |             |                               | DOSEIFICACIÓN            | 0.25 lit/m³ + 2.5%            |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                       |             |                               |                          |                               |
| Capas N°                                                                                            | 1                                                                                                                                                                                                     | 2           | 3                             | 4                        | 5                             |
| Capas por Capa N°                                                                                   | 36                                                                                                                                                                                                    | 28          | 28                            | 12                       |                               |
| Condiciones de la muestra                                                                           | NO SATURADO                                                                                                                                                                                           | SATURADO    | NO SATURADO                   | SATURADO                 | NO SATURADO                   |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)                                                                    | 11745.00                                                                                                                                                                                              | 11880.00    | 11630.00                      | 11000.00                 | 11480.00                      |
| Peso de molde (g)                                                                                   | 7330.00                                                                                                                                                                                               | 7330.00     | 7330.00                       | 7330.00                  | 7330.00                       |
| Peso del Suelo húmedo (g)                                                                           | 4415.00                                                                                                                                                                                               | 4550.00     | 4300.00                       | 3670.00                  | 4150.00                       |
| Volumen del molde (cm³)                                                                             | 2128.00                                                                                                                                                                                               | 2128.00     | 2128.00                       | 2128.00                  | 2128.00                       |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                             | 2.07                                                                                                                                                                                                  | 2.14        | 2.02                          | 1.72                     | 1.95                          |
| U.C. (%)                                                                                            | 8.2                                                                                                                                                                                                   | 8.3         | 8.4                           | 8.2                      | 8.15                          |
| Peso agua húmedo + molde (g)                                                                        | 258.00                                                                                                                                                                                                | 187.29      | 211.84                        | 255.00                   | 226.14                        |
| Peso agua seco + molde (g)                                                                          | 235.81                                                                                                                                                                                                | 175.00      | 205.80                        | 227.00                   | 206.42                        |
| Peso agua (g)                                                                                       | 22.19                                                                                                                                                                                                 | 12.29       | 6.04                          | 28.00                    | 20.72                         |
| Peso de agua (g)                                                                                    | 15.59                                                                                                                                                                                                 | 17.45       | 11.14                         | 27.23                    | 20.94                         |
| Peso de agua seco (g)                                                                               | 187.21                                                                                                                                                                                                | 162.51      | 194.66                        | 200.76                   | 185.48                        |
| Contenido de humedad (%)                                                                            | 8.70                                                                                                                                                                                                  | 18.29       | 8.70                          | 13.26                    | 11.48                         |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                               | 1.91                                                                                                                                                                                                  | 1.95        | 1.91                          | 1.54                     | 1.81                          |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                       |             |                               |                          |                               |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                  | TIEMPO      | DIAL                          | EXPANSIÓN mm             | EXPANSIÓN %                   |
| 09/09/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                 | 0           | 0.0                           | 0.000                    | 0.000                         |
| 07/09/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                 | 24.00       | 7.9                           | 0.079                    | 0.009                         |
| 08/09/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                 | 48.00       | 11.8                          | 0.118                    | 0.009                         |
| 09/09/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                 | 72.00       | 13.9                          | 0.139                    | 0.119                         |
| 10/09/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                 | 96.00       | 15.4                          | 0.154                    | 0.132                         |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                       |             |                               |                          |                               |
| PENETRACIÓN mm                                                                                      | CARGA ESTAND. kg/cm²                                                                                                                                                                                  | MOLDE N°    | 1                             | 2                        | 3                             |
| mm                                                                                                  | psf                                                                                                                                                                                                   | lecturas RF | Esfuerzo PSI (sin corrección) | Esfuerzo PSI (corregido) | CBR % Corregido               |
| 0.000                                                                                               | 0.000                                                                                                                                                                                                 | 0           | 0.0                           | 0.0                      | 0.0                           |
| 0.835                                                                                               | 0.025                                                                                                                                                                                                 | 1336        | 512.7                         | 512.7                    | 34.0                          |
| 1.370                                                                                               | 0.050                                                                                                                                                                                                 | 2044        | 881.3                         | 881.3                    | 10.8                          |
| 1.905                                                                                               | 0.075                                                                                                                                                                                                 | 2680        | 986.0                         | 986.0                    | 7.0                           |
| 2.540                                                                                               | 0.100                                                                                                                                                                                                 | 3256        | 1175.3                        | 1175.3                   | 5.5                           |
| 3.175                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                 | 3876        | 1429.3                        | 1429.3                   | 4.0                           |
| 3.810                                                                                               | 0.150                                                                                                                                                                                                 | 4506        | 1699.3                        | 1699.3                   | 3.0                           |
| 4.445                                                                                               | 0.175                                                                                                                                                                                                 | 5136        | 2136.7                        | 2136.7                   | 2.0                           |
| 5.080                                                                                               | 0.200                                                                                                                                                                                                 | 5766        | 2590.0                        | 2590.0                   | 1.5                           |
| 5.715                                                                                               | 0.225                                                                                                                                                                                                 | 6396        | 3144.0                        | 3144.0                   | 1.0                           |
| 6.350                                                                                               | 0.250                                                                                                                                                                                                 | 7026        | 3700.0                        | 3700.0                   | 0.7                           |
| 6.985                                                                                               | 0.275                                                                                                                                                                                                 | 7656        | 4256.0                        | 4256.0                   | 0.5                           |
| 7.620                                                                                               | 0.300                                                                                                                                                                                                 | 8286        | 4812.0                        | 4812.0                   | 0.4                           |
| 8.255                                                                                               | 0.325                                                                                                                                                                                                 | 8916        | 5368.0                        | 5368.0                   | 0.3                           |
| 8.890                                                                                               | 0.350                                                                                                                                                                                                 | 9546        | 5924.0                        | 5924.0                   | 0.2                           |
| 9.525                                                                                               | 0.375                                                                                                                                                                                                 | 10176       | 6480.0                        | 6480.0                   | 0.1                           |
| 10.160                                                                                              | 0.400                                                                                                                                                                                                 | 10806       | 7036.0                        | 7036.0                   | 0.1                           |
| 10.795                                                                                              | 0.425                                                                                                                                                                                                 | 11436       | 7592.0                        | 7592.0                   | 0.1                           |
| 11.430                                                                                              | 0.450                                                                                                                                                                                                 | 12066       | 8148.0                        | 8148.0                   | 0.1                           |
| 12.065                                                                                              | 0.475                                                                                                                                                                                                 | 12696       | 8704.0                        | 8704.0                   | 0.1                           |
| 12.700                                                                                              | 0.500                                                                                                                                                                                                 | 13326       | 9260.0                        | 9260.0                   | 0.1                           |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                       |             |                               |                          |                               |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                       |  |  | Código: CBR-2024   |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------|-------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1557                                                             |                                                                                                                                                                                                       |  |  | Versión: 1         |                               |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |  |  | Fecha: 19/10/2024  |                               |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL GUICARÁ HUACCHARAQUI                                                                                                                                   |  |  | CARRERA:           | AP-768 CHALCHACOMA PUNAHUACHO |
| TEMA:                                                                                               | INFLUENCIA DE ADETE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MBR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-768, AYMARAES - 2024 |  |  | CANTERA:           | HUAYCHA Km 36 + 420           |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-768, AYMARAES                                                                                                                                                             |  |  | MUESTRA:           | M-24                          |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCELOSO-LINOSA CON GRAVA SC-5M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |  |  | 100% M.D.C (g/cm³) | 121.5                         |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |  |  | O.C.H. (%)         | 8.65                          |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b> NTP 339.145 / MTC E - 115 / ASTM D-1557                               |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) 1.913                                                                  |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 8.65                                                                |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) 1.815 50%                                                          |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| C.B.R. al 100% de M.D.S (g/cm³) 121.5                                                               |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| C.B.R. al 95% de M.D.S (g/cm³) 89.2                                                                 |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S = 121.5 %                                                       |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S = 89.2 %                                                         |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                       |  |  |                    |                               |

Figura 89 — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

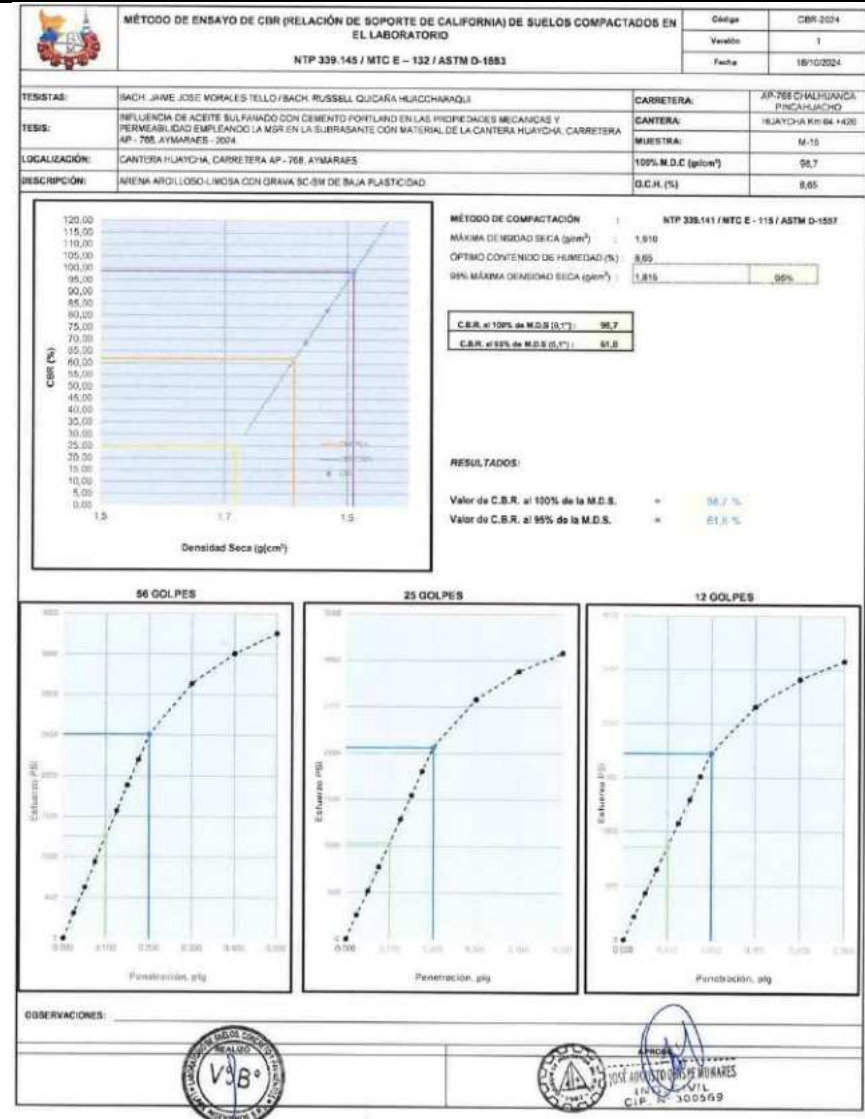
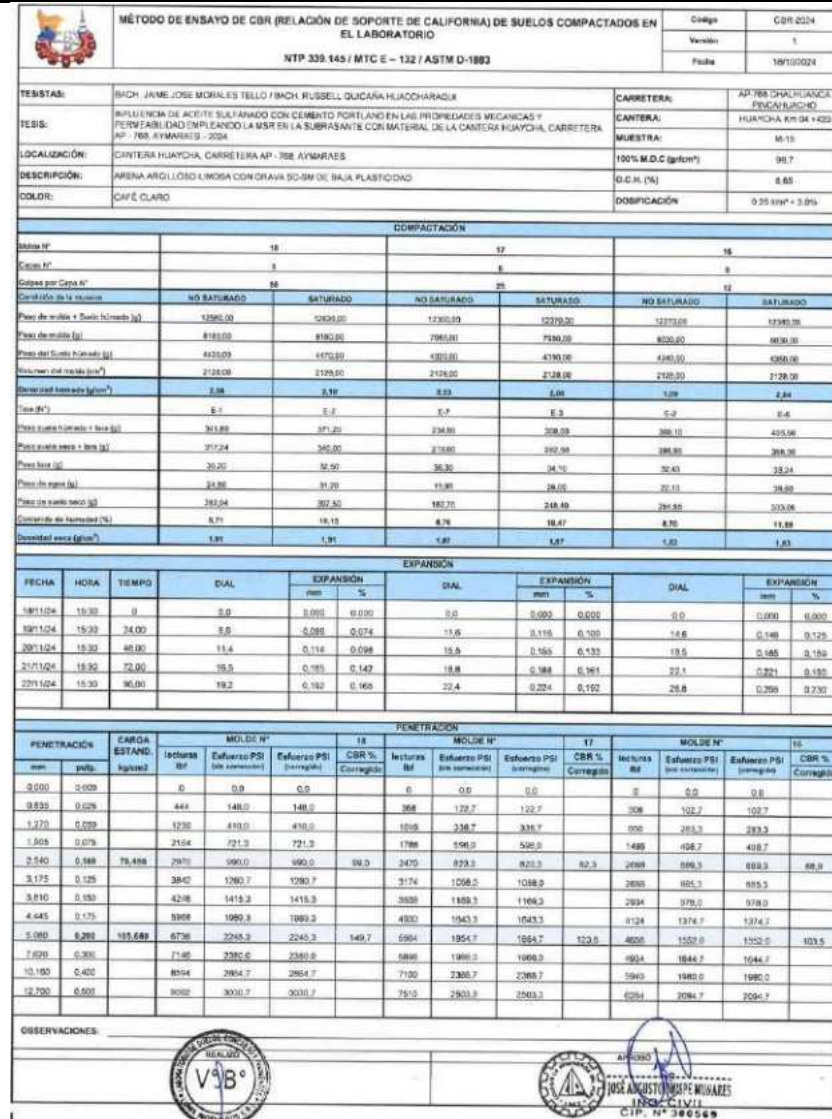


Figura 90 — CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.00 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                           |          |             | Código: CBR-0204   |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------------------|--------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                           |          |             | Versión: 1         |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |          |             | Fecha: 18/10/2024  |                                |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAVIER JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL GUICARÁ HUACHIRACUI                                                                                                                                       |          |             | CARRETERA:         | AP-768 CHALHUANCA PISCACHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA. CARRETERA AP - 768 AYMARAS - 3204. |          |             | CANTERA:           | HUAYCHA Km 58 + 420            |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 768 AYMARAS                                                                                                                                                               |          |             | MUESTRA:           | M-18                           |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSA LIGERA CON GRASA SC SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                |          |             | 100% M.D.C (g/cm³) | 0.91                           |
| COLOR:                                                                                              | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                                |          |             | O.C.H. (%)         | 8.65                           |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |          |             | DOSIFICACIÓN       | 0.25 lit/m³ ± 3.0%             |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                           |          |             |                    |                                |
| Altura H'                                                                                           | 15                                                                                                                                                                                                        |          | 14          |                    | 13                             |
| Capas N°                                                                                            | 5                                                                                                                                                                                                         |          | 8           |                    | 8                              |
| Capas por Capa N°                                                                                   | 16                                                                                                                                                                                                        |          | 25          |                    | 12                             |
| Condición de la muestra                                                                             | NO SATURADO                                                                                                                                                                                               | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO           | NO SATURADO                    |
| Peso de molde + (buen terreno) (g)                                                                  | 13180.00                                                                                                                                                                                                  | 13205.00 | 12849.00    | 12900.00           | 12740.20                       |
| Peso de molde (g)                                                                                   | 8770.00                                                                                                                                                                                                   | 8773.00  | 8559.00     | 8590.00            | 8330.00                        |
| Peso del Suelo (buen terreno) (g)                                                                   | 4410.00                                                                                                                                                                                                   | 4432.00  | 4290.00     | 4310.00            | 4410.20                        |
| Volumen del molde (cm³)                                                                             | 1128.00                                                                                                                                                                                                   | 1128.00  | 1128.00     | 1128.00            | 1128.00                        |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                             | 3.87                                                                                                                                                                                                      | 3.93     | 3.80        | 3.82               | 3.89                           |
| Peso (g)                                                                                            | 36.4                                                                                                                                                                                                      | 37.2     | 36.3        | 37.0               | 37.8                           |
| Peso de agua (buen terreno) + (buen) (g)                                                            | 178.90                                                                                                                                                                                                    | 189.30   | 224.20      | 236.80             | 307.47                         |
| Peso de agua seco + (buen) (g)                                                                      | 232.34                                                                                                                                                                                                    | 266.30   | 276.10      | 320.10             | 379.18                         |
| Peso seco (g)                                                                                       | 36.20                                                                                                                                                                                                     | 37.20    | 36.80       | 36.90              | 37.20                          |
| Peso de agua (g)                                                                                    | 27.36                                                                                                                                                                                                     | 30.48    | 11.80       | 27.70              | 33.37                          |
| Peso de agua seco (g)                                                                               | 214.34                                                                                                                                                                                                    | 238.00   | 188.10      | 246.40             | 346.20                         |
| Contenido de humedad (%)                                                                            | 8.79                                                                                                                                                                                                      | 10.29    | 8.70        | 15.70              | 13.85                          |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                               | 1.81                                                                                                                                                                                                      | 1.84     | 1.87        | 1.87               | 1.84                           |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                           |          |             |                    |                                |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                      | TIEMPO   | DIAL        | EXPANSIÓN          | EXPANSIÓN                      |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |          | mm          | %                  | %                              |
| 18/11/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                     | 3        | 0.0         | 0.000              | 0.000                          |
| 18/11/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                     | 24.00    | 8.0         | 0.088              | 0.074                          |
| 20/11/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                     | 40.00    | 11.4        | 0.114              | 0.099                          |
| 21/11/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                     | 72.00    | 18.0        | 0.180              | 0.142                          |
| 22/11/24                                                                                            | 15:30                                                                                                                                                                                                     | 96.00    | 19.2        | 0.182              | 0.150                          |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                           |          |             |                    |                                |
| PENETRACIÓN                                                                                         | CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                             | MOLDE N° | 15          | MOLDE N°           | 14                             |
| mm                                                                                                  | kgf/cm²                                                                                                                                                                                                   | kgf/cm²  | kgf/cm²     | kgf/cm²            | kgf/cm²                        |
| 0.000                                                                                               | 0.000                                                                                                                                                                                                     | 0.0      | 0.0         | 0.0                | 0.0                            |
| 0.005                                                                                               | 0.005                                                                                                                                                                                                     | 424      | 141.3       | 141.3              | 302                            |
| 1.270                                                                                               | 0.030                                                                                                                                                                                                     | 1732     | 620.7       | 620.7              | 1418                           |
| 1.900                                                                                               | 0.075                                                                                                                                                                                                     | 2270     | 740.0       | 740.0              | 1854                           |
| 3.540                                                                                               | 0.199                                                                                                                                                                                                     | 76455    | 2840        | 2840               | 2280                           |
| 3.175                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                     | 3212     | 1070.7      | 1070.7             | 2684                           |
| 3.810                                                                                               | 0.180                                                                                                                                                                                                     | 4143     | 1310.0      | 1310.0             | 3420                           |
| 4.445                                                                                               | 0.175                                                                                                                                                                                                     | 5838     | 1940.0      | 1940.0             | 4834                           |
| 5.080                                                                                               | 0.208                                                                                                                                                                                                     | 18558    | 6512        | 2204.0             | 2204.0                         |
| 7.620                                                                                               | 0.300                                                                                                                                                                                                     | 8136     | 2708.7      | 2708.7             | 6714                           |
| 10.160                                                                                              | 0.400                                                                                                                                                                                                     | 9660     | 3208.7      | 3208.7             | 8700                           |
| 12.700                                                                                              | 0.500                                                                                                                                                                                                     | 10730    | 3419.7      | 3419.7             | 8662                           |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                           |          |             |                    |                                |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                           |  |  | Código: CBR-0204                        |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-----------------------------------------|--------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                           |  |  | Versión: 1                              |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | Fecha: 18/10/2024                       |                                |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAVIER JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL GUICARÁ HUACHIRACUI                                                                                                                                       |  |  | CARRETERA:                              | AP-768 CHALHUANCA PISCACHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA. CARRETERA AP - 768 AYMARAS - 3204. |  |  | CANTERA:                                | HUAYCHA Km 58 + 420            |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 768 AYMARAS                                                                                                                                                               |  |  | MUESTRA:                                | M-18                           |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSA LIGERA CON GRASA SC SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                |  |  | 100% M.D.C (g/cm³)                      | 0.91                           |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | O.C.H. (%)                              | 8.65                           |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                                           |  |  |                                         |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883 |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)            |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 1.910                                   |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)         |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 8.65                                    |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 90% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)        |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 1.818                                   |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 90%                                     |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | C.B.R. al 100% de M.D.S (0.1")          |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 99.1                                    |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | C.B.R. al 95% de M.D.S (0.1")           |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 91.8                                    |                                |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                           |  |  |                                         |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.    |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 99.1 %                                  |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.     |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                           |  |  | 91.8 %                                  |                                |
| <b>56 GOLPES</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                           |  |  |                                         |                                |
| <b>25 GOLPES</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                           |  |  |                                         |                                |
| <b>12 GOLPES</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                           |  |  |                                         |                                |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                           |  |  |                                         |                                |

Figura 91 — Réplica de CBR combinación 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.00 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                             |           |             | Código             | CBR 2024                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|--------------------|------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 122 / ASTM D-1557                                                             |                                                                                                                                                                                                             |           |             | Versión            | 1                            |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |           |             | Fecha              | 19/10/2024                   |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL QUINTANA HUACCHARAQUI                                                                                                                                        |           |             | CARRERA:           | AP/786 CHATRUJCA PUNCAHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 786, AYMARAES - 2024. |           |             | CANTERA:           | HUAYCHA Km 58 + 425          |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 786, AYMARAES                                                                                                                                                               |           |             | MUESTRA:           | M-11                         |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-SW DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                  |           |             | 100% M.D.C (g/cm³) | 105.6                        |
| COLORES:                                                                                            | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                                  |           |             | O.C.H. (%)         | 6.65                         |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |           |             | DOSIFICACIÓN       | 0.30 lt/m³ + 2.5%            |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                             |           |             |                    |                              |
| Número N°                                                                                           | 15                                                                                                                                                                                                          |           | 16          |                    | 17                           |
| Capa N°                                                                                             | 8                                                                                                                                                                                                           |           | 9           |                    | 10                           |
| Gravim. por Capa N°                                                                                 | 85                                                                                                                                                                                                          |           | 86          |                    | 87                           |
| Gravim. de la muestra                                                                               | NO SATURADO                                                                                                                                                                                                 | SATURADO  | NO SATURADO | SATURADO           | NO SATURADO                  |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)                                                                    | 1309.00                                                                                                                                                                                                     | 1344.00   | 1235.00     | 1240.00            | 1218.00                      |
| Peso de molde (g)                                                                                   | 879.00                                                                                                                                                                                                      | 879.00    | 820.00      | 820.00             | 790.00                       |
| Peso del Suelo húmedo (g)                                                                           | 430.00                                                                                                                                                                                                      | 465.00    | 415.00      | 420.00             | 428.00                       |
| Gravim. del molde (g)                                                                               | 218.00                                                                                                                                                                                                      | 218.00    | 218.00      | 218.00             | 218.00                       |
| Gravim. del suelo (g)                                                                               | 2.00                                                                                                                                                                                                        | 2.00      | 2.00        | 2.00               | 2.00                         |
| Tara (g)                                                                                            | 15.1                                                                                                                                                                                                        | 15.1      | 15.1        | 15.1               | 15.1                         |
| Peso suelo húmedo + tara (g)                                                                        | 113.90                                                                                                                                                                                                      | 149.90    | 110.90      | 124.90             | 121.90                       |
| Peso suelo seco + tara (g)                                                                          | 107.00                                                                                                                                                                                                      | 143.00    | 112.00      | 119.00             | 116.00                       |
| Peso tara (g)                                                                                       | 38.20                                                                                                                                                                                                       | 38.20     | 37.80       | 37.80              | 37.80                        |
| Peso de molde (g)                                                                                   | 8.00                                                                                                                                                                                                        | 8.00      | 8.01        | 8.00               | 8.00                         |
| Peso de suelo seco (g)                                                                              | 68.80                                                                                                                                                                                                       | 104.80    | 74.20       | 81.20              | 78.20                        |
| Gravim. de la muestra (%)                                                                           | 8.73                                                                                                                                                                                                        | 8.81      | 8.74        | 8.68               | 8.74                         |
| Gravim. seca (g/cm³)                                                                                | 1.91                                                                                                                                                                                                        | 1.91      | 1.87        | 1.87               | 1.87                         |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                             |           |             |                    |                              |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                        | TIEMPO    | DIAL        | EXPANSIÓN          | DIAL                         |
| 30/11/2024                                                                                          | 15:30                                                                                                                                                                                                       | 0         | 0.0         | 0.000              | 0.000                        |
| 30/11/2024                                                                                          | 15:30                                                                                                                                                                                                       | 24.00     | 12.8        | 0.128              | 0.110                        |
| 30/11/2024                                                                                          | 15:30                                                                                                                                                                                                       | 48.00     | 18.6        | 0.186              | 0.170                        |
| 30/11/2024                                                                                          | 15:30                                                                                                                                                                                                       | 72.00     | 24.5        | 0.245              | 0.211                        |
| 30/11/2024                                                                                          | 15:30                                                                                                                                                                                                       | 96.00     | 29.7        | 0.297              | 0.256                        |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                             |           |             |                    |                              |
| CARGA ESTAND.                                                                                       | MOLEDE N°                                                                                                                                                                                                   | MOLEDE N° | MOLEDE N°   | MOLEDE N°          | MOLEDE N°                    |
| mm                                                                                                  | kg/cm²                                                                                                                                                                                                      | mm        | kg/cm²      | mm                 | kg/cm²                       |
| 0.000                                                                                               | 0.000                                                                                                                                                                                                       | 0         | 0.0         | 0                  | 0.0                          |
| 0.699                                                                                               | 0.025                                                                                                                                                                                                       | 402       | 159.7       | 150.7              | 374                          |
| 1.378                                                                                               | 0.050                                                                                                                                                                                                       | 520       | 489.7       | 436.7              | 1008                         |
| 1.906                                                                                               | 0.075                                                                                                                                                                                                       | 540       | 727.3       | 727.3              | 1604                         |
| 2.434                                                                                               | 0.100                                                                                                                                                                                                       | 544       | 1048.0      | 1048.0             | 2463                         |
| 3.175                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                       | 4610      | 1536.7      | 1536.7             | 3408                         |
| 3.919                                                                                               | 0.150                                                                                                                                                                                                       | 6019      | 2508.0      | 2508.0             | 4972                         |
| 4.445                                                                                               | 0.175                                                                                                                                                                                                       | 7199      | 2899.3      | 2899.3             | 5940                         |
| 5.000                                                                                               | 0.200                                                                                                                                                                                                       | 7427      | 2474.0      | 2474.0             | 5132                         |
| 5.620                                                                                               | 0.225                                                                                                                                                                                                       | 7814      | 2658.0      | 2658.0             | 6038                         |
| 6.300                                                                                               | 0.250                                                                                                                                                                                                       | 8064      | 2794.7      | 2794.7             | 6603                         |
| 7.030                                                                                               | 0.275                                                                                                                                                                                                       | 8583      | 2883.0      | 2883.0             | 7068                         |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                             |  |  | Código             | CBR 2024                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------|------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 122 / ASTM D-1557                                                             |                                                                                                                                                                                                             |  |  | Versión            | 1                            |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |  |  | Fecha              | 19/10/2024                   |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH. JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH. RUSSELL QUINTANA HUACCHARAQUI                                                                                                                                        |  |  | CARRERA:           | AP/786 CHATRUJCA PUNCAHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 786, AYMARAES - 2024. |  |  | CANTERA:           | HUAYCHA Km 58 + 425          |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 786, AYMARAES                                                                                                                                                               |  |  | MUESTRA:           | M-11                         |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-SW DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                                  |  |  | 100% M.D.C (g/cm³) | 105.6                        |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |  |  | O.C.H. (%)         | 6.65                         |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| NTP 339.145 / MTC E - 115 / ASTM D-1557                                                             |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.910                                                                |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 8.65                                                              |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.815                                                            |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| C.B.R. a 100% de M.D.S (1%) : 105.6                                                                 |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| C.B.R. a 95% de M.D.S (1%) : 71.3                                                                   |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 105.6 %                                                      |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 71.3 %                                                        |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |
| <b>OBSERVACIONES:</b>                                                                               |                                                                                                                                                                                                             |  |  |                    |                              |

Figura 92 — CBR combinación 0.30 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

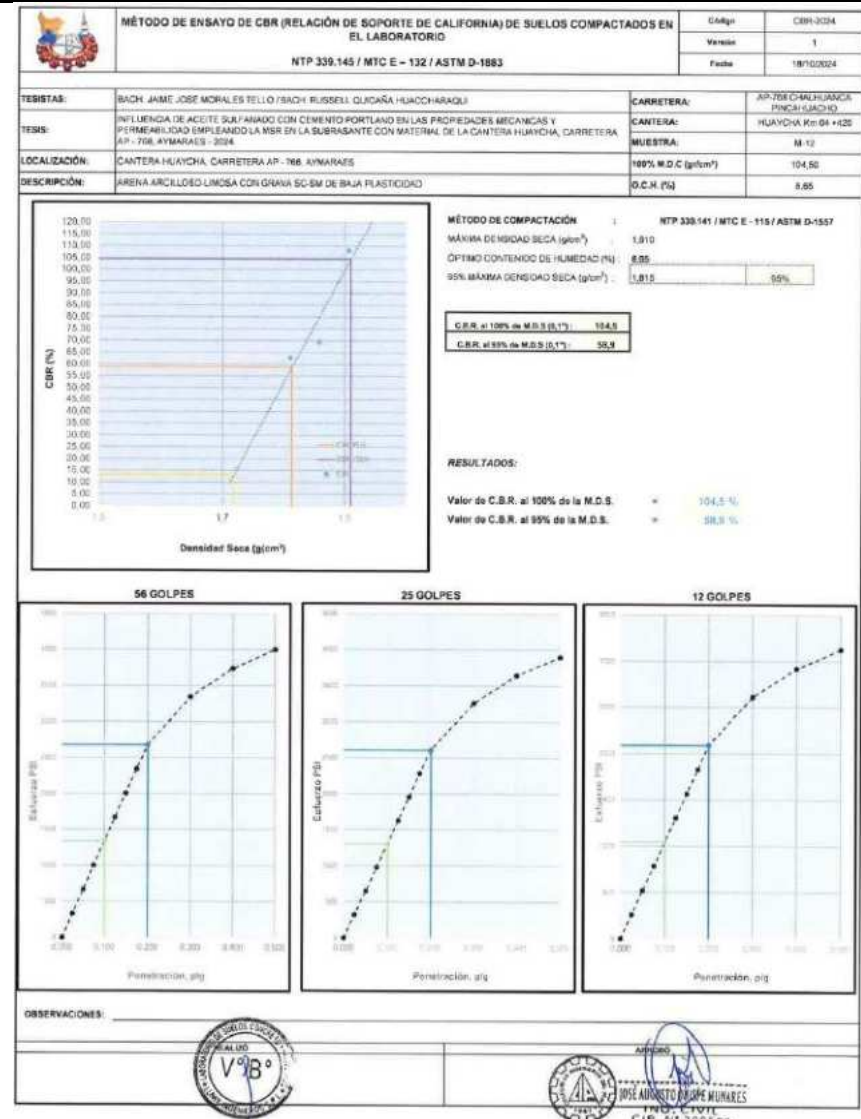
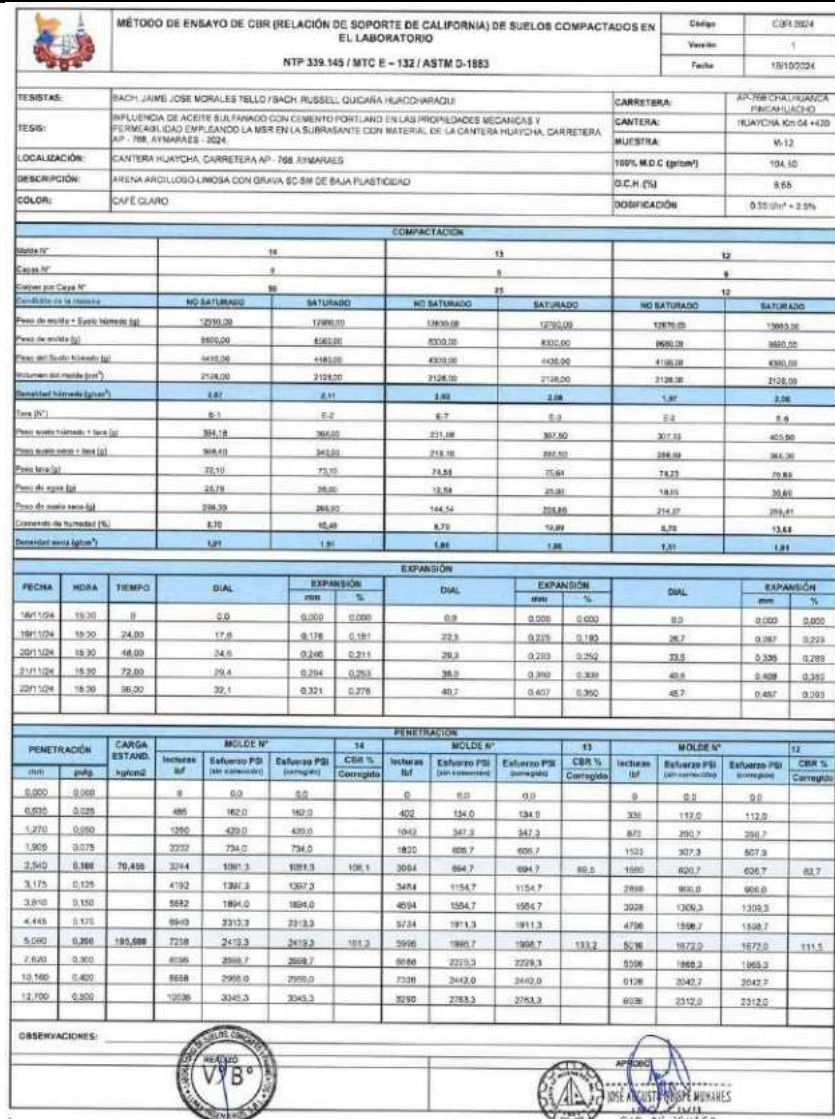


Figura 93 — Réplica de CBR combinación 0.30 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                      |          |             | Código             | CBR 2024                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------------------|------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                      |          |             | Version            | 1                            |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |          |             | Fecha              | 18/10/2024                   |
| RESISTAS:                                                                                           | BACH, JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICHAR HUACAHUACQUI                                                                                                                                  |          |             | CARRERA:           | AP-788 OVALUENCA PUNCAHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788 AYMARAE - 2024 |          |             | CANTERA:           | HUAYCHA Km 54 +420           |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788, AYMARAE                                                                                                                                                             |          |             | MUESTRA:           | M-5                          |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARDILLOSO LIMO CON GRAVA SC-58 DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |          |             | 100% M.D.C (g/cm³) | 83.9                         |
| COLOR:                                                                                              | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                           |          |             | O.C.H. (%)         | 8.66                         |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |          |             | DOBRACIÓN          | 0.35 (2m³ + 1.5%)            |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                      |          |             |                    |                              |
| Moist N°                                                                                            | 18                                                                                                                                                                                                   |          | 14          |                    | 12                           |
| Comp N°                                                                                             | 5                                                                                                                                                                                                    |          | 5           |                    | 5                            |
| Control por Carga N°                                                                                | 88                                                                                                                                                                                                   |          | 25          |                    | 12                           |
| Control de la humedad                                                                               | NO SATURADO                                                                                                                                                                                          | SATURADO | NO SATURADO | SATURADO           | NO SATURADO                  |
| Peso seco (moist) + (Peso humedad) (g)                                                              | 13180.89                                                                                                                                                                                             | 13271.60 | 12889.31    | 12320.26           | 12109.68                     |
| Peso de mojado (g)                                                                                  | 8770.00                                                                                                                                                                                              | 8770.00  | 8600.00     | 8700.00            | 8700.00                      |
| Peso del Sodio Hexafluor (g)                                                                        | 4400.00                                                                                                                                                                                              | 4500.00  | 4300.00     | 4400.00            | 4300.00                      |
| Calcular del control (g/cm³)                                                                        | 2128.00                                                                                                                                                                                              | 2128.00  | 2128.00     | 2128.00            | 2128.00                      |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                             | 2.87                                                                                                                                                                                                 | 2.81     | 2.82        | 2.81               | 2.80                         |
| Peso (PF)                                                                                           | 8.1                                                                                                                                                                                                  | 8.5      | 8.5         | 8.4                | 8.5                          |
| Peso seco húmedo + (Peso) (g)                                                                       | 265.15                                                                                                                                                                                               | 281.00   | 276.28      | 278.10             | 278.06                       |
| Peso seco seco + (Peso) (g)                                                                         | 265.18                                                                                                                                                                                               | 2740.30  | 271.30      | 273.60             | 271.88                       |
| Peso seco (g)                                                                                       | 37.38                                                                                                                                                                                                | 36.00    | 36.00       | 36.00              | 36.00                        |
| Peso de agua (g)                                                                                    | 21.01                                                                                                                                                                                                | 21.00    | 19.88       | 20.32              | 19.88                        |
| Peso de agua seco (g)                                                                               | 228.67                                                                                                                                                                                               | 258.25   | 235.32      | 237.60             | 235.88                       |
| Contenido de humedad (%)                                                                            | 5.29                                                                                                                                                                                                 | 10.87    | 6.79        | 11.55              | 12.39                        |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                               | 1.89                                                                                                                                                                                                 | 1.81     | 1.85        | 1.81               | 1.81                         |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                      |          |             |                    |                              |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                 | TIEMPO   | DIAL        | EXPANSIÓN          | DIAL                         |
| 1/11/2024                                                                                           | 15:30                                                                                                                                                                                                | 0        | 0.0         | 0.000              | 0.000                        |
| 1/11/2024                                                                                           | 15:30                                                                                                                                                                                                | 24.00    | 24.7        | 0.247              | 0.243                        |
| 1/11/2024                                                                                           | 15:30                                                                                                                                                                                                | 48.00    | 46.3        | 0.463              | 0.398                        |
| 1/11/2024                                                                                           | 15:30                                                                                                                                                                                                | 72.00    | 37.8        | 0.378              | 0.406                        |
| 1/11/2024                                                                                           | 15:30                                                                                                                                                                                                | 96.00    | 61.7        | 0.617              | 0.530                        |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |          |             |                    |                              |
| PENETRACIÓN                                                                                         | CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                        | MOUSE N° | 15          | MOUSE N°           | 14                           |
| mm                                                                                                  | kg/cm²                                                                                                                                                                                               | kg/cm²   | kg/cm²      | kg/cm²             | kg/cm²                       |
| 0.000                                                                                               | 0.000                                                                                                                                                                                                | 0        | 0.0         | 0.0                | 0.0                          |
| 0.436                                                                                               | 0.025                                                                                                                                                                                                | 642      | 214.2       | 214.2              | 214.2                        |
| 1.279                                                                                               | 0.075                                                                                                                                                                                                | 1580     | 520.0       | 520.0              | 520.0                        |
| 1.905                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                | 1088     | 582.7       | 582.7              | 582.7                        |
| 2.640                                                                                               | 0.199                                                                                                                                                                                                | 7645     | 2522        | 2522               | 2522                         |
| 3.175                                                                                               | 0.175                                                                                                                                                                                                | 4270     | 1423.2      | 1423.2             | 1423.2                       |
| 3.810                                                                                               | 0.150                                                                                                                                                                                                | 8080     | 2020.0      | 2020.0             | 2020.0                       |
| 4.445                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                | 6836     | 2275.3      | 2275.3             | 2275.3                       |
| 5.080                                                                                               | 0.288                                                                                                                                                                                                | 185.66   | 7204        | 2404.7             | 2404.7                       |
| 7.820                                                                                               | 0.393                                                                                                                                                                                                | 3025     | 3025.0      | 3025.0             | 3025.0                       |
| 10.160                                                                                              | 0.490                                                                                                                                                                                                | 12042    | 3347.3      | 3347.3             | 3347.3                       |
| 12.700                                                                                              | 0.590                                                                                                                                                                                                | 10700    | 3996.7      | 3996.7             | 3996.7                       |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                      |          |             |                    |                              |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                      |  |  | Código                                  | CBR 2024                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-----------------------------------------|------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                      |  |  | Version                                 | 1                            |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | Fecha                                   | 18/10/2024                   |
| RESISTAS:                                                                                           | BACH, JAIME JOSÉ MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICHAR HUACAHUACQUI                                                                                                                                  |  |  | CARRERA:                                | AP-788 OVALUENCA PUNCAHUACHO |
| TESIS:                                                                                              | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788 AYMARAE - 2024 |  |  | CANTERA:                                | HUAYCHA Km 54 +420           |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-788, AYMARAE                                                                                                                                                             |  |  | MUESTRA:                                | M-5                          |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARDILLOSO LIMO CON GRAVA SC-58 DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |  |  | 100% M.D.C (g/cm³)                      | 83.9                         |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | O.C.H. (%)                              | 8.66                         |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                                      |  |  |                                         |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557 |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)            |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 1.910                                   |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)         |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 8.66                                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 99% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)        |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 1.815                                   |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 100%                                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | C.B.R. al 100% de M.D.S (g/cm³)         |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 83.9                                    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | C.B.R. al 99% de M.D.S (g/cm³)          |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | 80.7                                    |                              |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |  |  |                                         |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.    |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | = 83.9 %                                |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | Valor de C.B.R. al 99% de la M.D.S.     |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  | = 80.7 %                                |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  |                                         |                              |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |  |  |                                         |                              |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                      |  |  |                                         |                              |

Figura 94 — CBR combinación 0.35 lt/m³ de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I

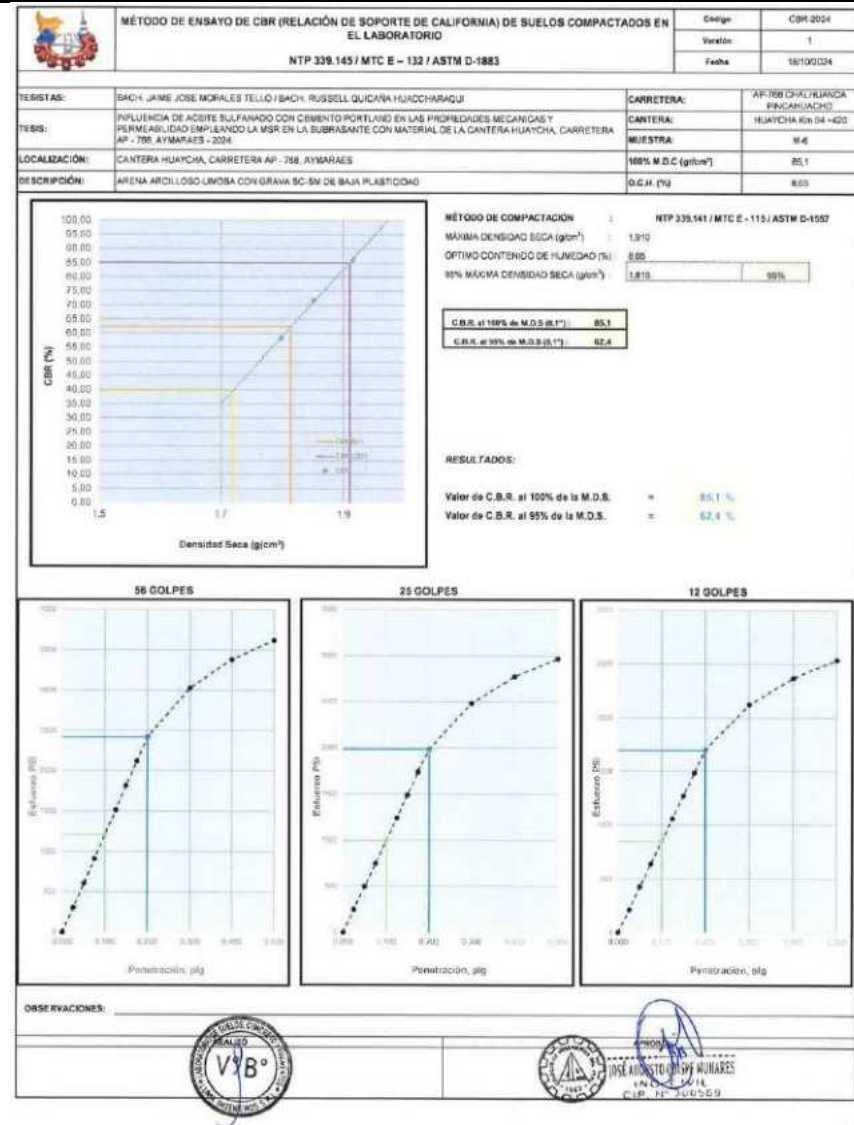
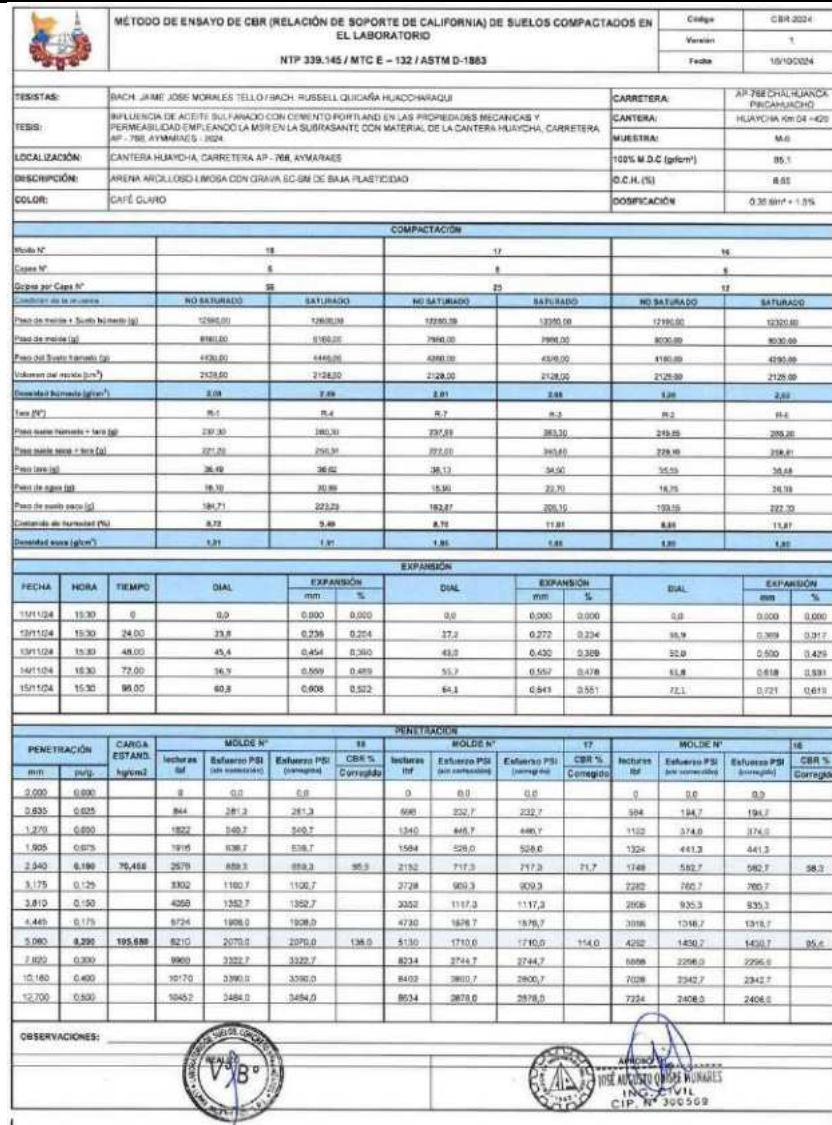


Figura 95 — Réplica de CBR combinación 0.35 lt/m³ de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                      |           |          | Código: CBR-2024   |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|--------------------|--------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                      |           |          | Versión: 1         |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           |          | Fecha: 18/10/2024  |                                |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH, JIMÉ JOSE MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICARÁ HUACCHARQUI                                                                                                                                    |           |          | CARRERA:           | AP-766 CHALHUAYCHA PUNCAHUACHO |
| TESTES:                                                                                             | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-766 AYMARAE - 2024 |           |          | CANTERA:           | HUAYCHA KM 64 +625             |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-766 AYMARAE                                                                                                                                                              |           |          | MUESTRA:           | M-6                            |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                           |           |          | 100% M.O.C (g/cm³) | 105.1                          |
| COLORE:                                                                                             | CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                           |           |          | O.C.H. (%)         | 8.65                           |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           |          | DENSIFICACIÓN      | 0.25 MPa = 3.5%                |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                 |                                                                                                                                                                                                      |           |          |                    |                                |
| Moeda N°                                                                                            | 0                                                                                                                                                                                                    |           | 0        |                    | 0                              |
| Carga N°                                                                                            | 0                                                                                                                                                                                                    |           | 0        |                    | 0                              |
| Calaje por Carga N°                                                                                 | 0                                                                                                                                                                                                    |           | 0        |                    | 0                              |
| Condición de la muestra                                                                             | NO SATURADO                                                                                                                                                                                          |           | SATURADO |                    | NO SATURADO                    |
| Peso de molde + suelo normal (g)                                                                    | 11430.65                                                                                                                                                                                             | 11700.09  | 11670.09 | 11730.88           | 11670.09                       |
| Peso de molde (g)                                                                                   | 7738.90                                                                                                                                                                                              | 7733.08   | 1490.09  | 7430.08            | 7310.09                        |
| Peso del Suelo Normal (g)                                                                           | 4400.80                                                                                                                                                                                              | 4470.08   | 4779.09  | 4300.80            | 4360.09                        |
| Volumen del molde (cm³)                                                                             | 2189.00                                                                                                                                                                                              | 2174.08   | 2189.00  | 2189.00            | 2189.00                        |
| Densidad Normal (g/cm³)                                                                             | 2.00                                                                                                                                                                                                 | 2.05      | 2.21     | 2.00               | 2.00                           |
| Carga (kN)                                                                                          | 0.0                                                                                                                                                                                                  | 0.0       | 0.0      | 0.0                | 0.0                            |
| Carga sobre el molde + base (g)                                                                     | 229.22                                                                                                                                                                                               | 273.08    | 336.84   | 317.35             | 340.84                         |
| Carga sobre el molde + base (g)                                                                     | 321.20                                                                                                                                                                                               | 263.18    | 332.02   | 240.60             | 275.48                         |
| Carga sobre (g)                                                                                     | 75.18                                                                                                                                                                                                | 73.24     | 75.66    | 75.66              | 75.66                          |
| Carga sobre (g)                                                                                     | 13.07                                                                                                                                                                                                | 16.88     | 13.84    | 16.79              | 13.96                          |
| Carga sobre el molde (g)                                                                            | 169.10                                                                                                                                                                                               | 197.36    | 147.44   | 194.38             | 190.02                         |
| Coeficiente de humedad (%)                                                                          | 8.77                                                                                                                                                                                                 | 15.01     | 8.71     | 10.12              | 8.73                           |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                               | 1.91                                                                                                                                                                                                 | 1.91      | 1.93     | 1.95               | 1.90                           |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                    |                                                                                                                                                                                                      |           |          |                    |                                |
| FECHA                                                                                               | HORA                                                                                                                                                                                                 | TIEMPO    | DIAL     | EXPANSIÓN          | DIAL                           |
| 18/10/24                                                                                            | 19:30                                                                                                                                                                                                | 0         | 0        | 0.000              | 0.000                          |
| 18/10/24                                                                                            | 19:30                                                                                                                                                                                                | 24.60     | 19.8     | 0.198              | 0.176                          |
| 20/10/24                                                                                            | 19:30                                                                                                                                                                                                | 46.00     | 20.9     | 0.209              | 0.228                          |
| 21/10/24                                                                                            | 19:30                                                                                                                                                                                                | 72.00     | 37.8     | 0.378              | 0.320                          |
| 22/10/24                                                                                            | 19:30                                                                                                                                                                                                | 96.00     | 43.1     | 0.431              | 0.370                          |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |           |          |                    |                                |
| PENETRACIÓN                                                                                         | CARGA ESTAND.                                                                                                                                                                                        | MÓDULO N° | 5        | MÓDULO N°          | 5                              |
| mm                                                                                                  | mm                                                                                                                                                                                                   | mm        | mm       | mm                 | mm                             |
| 0.000                                                                                               | 0.000                                                                                                                                                                                                | 0.0       | 0.0      | 0.0                | 0.0                            |
| 0.636                                                                                               | 0.636                                                                                                                                                                                                | 183       | 230.7    | 230.7              | 230.7                          |
| 1.378                                                                                               | 0.890                                                                                                                                                                                                | 188       | 306.9    | 306.9              | 306.9                          |
| 1.908                                                                                               | 0.875                                                                                                                                                                                                | 2684      | 804.7    | 804.7              | 804.7                          |
| 3.540                                                                                               | 0.880                                                                                                                                                                                                | 3880      | 1020.7   | 1020.7             | 1020.7                         |
| 3.175                                                                                               | 0.125                                                                                                                                                                                                | 3182      | 1717.3   | 1717.3             | 1717.3                         |
| 3.810                                                                                               | 0.150                                                                                                                                                                                                | 7614      | 2036.0   | 2036.0             | 2036.0                         |
| 4.445                                                                                               | 0.175                                                                                                                                                                                                | 8148      | 2718.0   | 2718.0             | 2718.0                         |
| 5.080                                                                                               | 0.200                                                                                                                                                                                                | 10586     | 3022.0   | 3022.0             | 3022.0                         |
| 7.600                                                                                               | 0.300                                                                                                                                                                                                | 18814     | 3271.3   | 3271.3             | 3271.3                         |
| 10.160                                                                                              | 0.400                                                                                                                                                                                                | 10848     | 3615.0   | 3615.0             | 3615.0                         |
| 12.720                                                                                              | 0.500                                                                                                                                                                                                | 12206     | 4088.7   | 4088.7             | 4088.7                         |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                      |           |          |                    |                                |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO |                                                                                                                                                                                                      |           |           | Código: CBR-2024   |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------------------|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883                                                             |                                                                                                                                                                                                      |           |           | Versión: 1         |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           |           | Fecha: 18/10/2024  |                                |
| TESTISTAS:                                                                                          | BACH, JIMÉ JOSE MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICARÁ HUACCHARQUI                                                                                                                                    |           |           | CARRERA:           | AP-766 CHALHUAYCHA PUNCAHUACHO |
| TESTES:                                                                                             | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-766 AYMARAE - 2024 |           |           | CANTERA:           | HUAYCHA KM 64 +625             |
| LOCALIZACIÓN:                                                                                       | CANTERA HUAYCHA, CARRERA AP-766 AYMARAE                                                                                                                                                              |           |           | MUESTRA:           | M-6                            |
| DESCRIPCIÓN:                                                                                        | ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                           |           |           | 100% M.O.C (g/cm³) | 105.1                          |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           |           | O.C.H. (%)         | 8.65                           |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                                      |           |           |                    |                                |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)                                                                        |                                                                                                                                                                                                      |           | 1.910     |                    |                                |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           | 8.65      |                    |                                |
| 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)                                                                    |                                                                                                                                                                                                      |           | 1.875     |                    |                                |
| C.B.R. al 100% de M.O.C (g/cm³)                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           | 105.1     |                    |                                |
| C.B.R. al 95% de M.O.C (g/cm³)                                                                      |                                                                                                                                                                                                      |           | 80.8      |                    |                                |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |           |           |                    |                                |
| Valor de C.B.R. al 100% de la M.O.C                                                                 |                                                                                                                                                                                                      |           | = 105.1 % |                    |                                |
| Valor de C.B.R. al 95% de la M.O.C                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |           | = 80.8 %  |                    |                                |
| <b>GRÁFICAS</b>                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           |           |                    |                                |
| 56 GOLPES                                                                                           |                                                                                                                                                                                                      | 25 GOLPES |           | 12 GOLPES          |                                |
|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                      |           |           |                    |                                |
| OBSERVACIONES:                                                                                      |                                                                                                                                                                                                      |           |           |                    |                                |

Figura 96 — CBR combinación 0.35 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO                                                                                                                        |  |               |  | Código                                          |  | CBR-2024    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------|--|-------------------------------------------------|--|-------------|--|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1583                                                                                                                                                                                    |  |               |  | Versión                                         |  | 1           |  |
|                                                                                                                                                                                                                            |  |               |  | Fecha                                           |  | 18/10/2024  |  |
| <b>TESTISTAS:</b> BACH, JAVIER JOSE MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICHAÑA HUACCHARACU                                                                                                                                     |  |               |  | <b>CARRETERA:</b> AP-788 CHALHUANCA PUNCAHUACHO |  |             |  |
| <b>TESTIS:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 788, AYMARAES - 2024. |  |               |  | <b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 58 +420              |  |             |  |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b> CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 788, AYMARAES                                                                                                                                                         |  |               |  | <b>MUESTRA:</b> M-7                             |  |             |  |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b> ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |  |               |  | <b>100% M.D.C (g/cm³)</b> 105.3                 |  |             |  |
| <b>COLOR:</b> CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                                   |  |               |  | <b>O.C.H. (%)</b> 8.66                          |  |             |  |
|                                                                                                                                                                                                                            |  |               |  | <b>DOSIFICACIÓN</b> 0.35 lt/m³ + 3.5%           |  |             |  |
| <b>COMPACTACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                        |  |               |  |                                                 |  |             |  |
| Molde N°                                                                                                                                                                                                                   |  | 2             |  | 2                                               |  | 1           |  |
| Capas N°                                                                                                                                                                                                                   |  | 8             |  | 5                                               |  | 5           |  |
| Gravim per Capa N°                                                                                                                                                                                                         |  | 88            |  | 75                                              |  | 72          |  |
| Conversión de la humedad                                                                                                                                                                                                   |  | NO SATURADO   |  | SATURADO                                        |  | NO SATURADO |  |
| Peso de molde + Suelo húmedo (g)                                                                                                                                                                                           |  | 11745.00      |  | 11680.00                                        |  | 11780.00    |  |
| Peso de molde (g)                                                                                                                                                                                                          |  | 7300.00       |  | 7300.00                                         |  | 7300.00     |  |
| Peso del Suelo húmedo (g)                                                                                                                                                                                                  |  | 4445.00       |  | 4380.00                                         |  | 4480.00     |  |
| Volumen del molde (cm³)                                                                                                                                                                                                    |  | 2128.00       |  | 2128.00                                         |  | 2128.00     |  |
| Densidad húmeda (g/cm³)                                                                                                                                                                                                    |  | 2.09          |  | 2.06                                            |  | 2.10        |  |
| Tarea (N°)                                                                                                                                                                                                                 |  | E-1           |  | E-2                                             |  | E-3         |  |
| Peso suelo húmedo + Jara (g)                                                                                                                                                                                               |  | 305.30        |  | 301.00                                          |  | 304.80      |  |
| Peso suelo seco + Jara (g)                                                                                                                                                                                                 |  | 305.30        |  | 295.00                                          |  | 294.80      |  |
| Peso agua (g)                                                                                                                                                                                                              |  | 77.80         |  | 78.00                                           |  | 75.60       |  |
| Peso de agua (g)                                                                                                                                                                                                           |  | 18.80         |  | 17.00                                           |  | 10.30       |  |
| Peso de suelo seco (g)                                                                                                                                                                                                     |  | 286.50        |  | 278.00                                          |  | 284.50      |  |
| Conversión de humedad (%)                                                                                                                                                                                                  |  | 8.70          |  | 8.60                                            |  | 8.70        |  |
| Densidad seca (g/cm³)                                                                                                                                                                                                      |  | 1.21          |  | 1.19                                            |  | 1.21        |  |
| <b>EXPANSIÓN</b>                                                                                                                                                                                                           |  |               |  |                                                 |  |             |  |
| FECHA                                                                                                                                                                                                                      |  | HORA          |  | TIEMPO                                          |  | DIAL        |  |
| 18/10/24                                                                                                                                                                                                                   |  | 15:30         |  | 0                                               |  | 0.0         |  |
| 18/10/24                                                                                                                                                                                                                   |  | 15:30         |  | 24.00                                           |  | 19.3        |  |
| 18/10/24                                                                                                                                                                                                                   |  | 15:30         |  | 48.00                                           |  | 36          |  |
| 21/10/24                                                                                                                                                                                                                   |  | 15:30         |  | 72.00                                           |  | 37.3        |  |
| 22/10/24                                                                                                                                                                                                                   |  | 15:30         |  | 96.00                                           |  | 42.6        |  |
| <b>PENETRACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                         |  |               |  |                                                 |  |             |  |
| PENETRACIÓN                                                                                                                                                                                                                |  | CARGA ESTAND. |  | MOLDE N°                                        |  | 1           |  |
| mm                                                                                                                                                                                                                         |  | kg/cm²        |  | lecturas                                        |  | CBR %       |  |
| 0.000                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.000         |  | 0                                               |  | 0.0         |  |
| 0.000                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.000         |  | 413                                             |  | 137.7       |  |
| 1.220                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.000         |  | 1234                                            |  | 411.3       |  |
| 1.300                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.015         |  | 2498                                            |  | 819.3       |  |
| 2.540                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.180         |  | 3054                                            |  | 1018.0      |  |
| 3.175                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.120         |  | 3014                                            |  | 1011.2      |  |
| 3.810                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.150         |  | 3038                                            |  | 1012.0      |  |
| 4.445                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.175         |  | 3470                                            |  | 1490.0      |  |
| 5.080                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.200         |  | 3995                                            |  | 1995.0      |  |
| 5.715                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.225         |  | 4520                                            |  | 2495.0      |  |
| 6.350                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.250         |  | 5045                                            |  | 2995.0      |  |
| 6.985                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.275         |  | 5570                                            |  | 3495.0      |  |
| 7.620                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.300         |  | 6095                                            |  | 3995.0      |  |
| 8.255                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.325         |  | 6620                                            |  | 4495.0      |  |
| 8.890                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.350         |  | 7145                                            |  | 4995.0      |  |
| 9.525                                                                                                                                                                                                                      |  | 0.375         |  | 7670                                            |  | 5495.0      |  |
| 10.160                                                                                                                                                                                                                     |  | 0.400         |  | 8195                                            |  | 5995.0      |  |
| 10.795                                                                                                                                                                                                                     |  | 0.425         |  | 8720                                            |  | 6495.0      |  |
| 11.430                                                                                                                                                                                                                     |  | 0.450         |  | 9245                                            |  | 6995.0      |  |
| 12.065                                                                                                                                                                                                                     |  | 0.475         |  | 9770                                            |  | 7495.0      |  |
| 12.700                                                                                                                                                                                                                     |  | 0.500         |  | 10295                                           |  | 7995.0      |  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>                                                                                                                                                                                                      |  |               |  |                                                 |  |             |  |

| MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO                                                                                                                        |  |  |  | Código                                          |  | CBR-2024   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------------------|--|------------|--|
| NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1583                                                                                                                                                                                    |  |  |  | Versión                                         |  | 1          |  |
|                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  | Fecha                                           |  | 18/10/2024 |  |
| <b>TESTISTAS:</b> BACH, JAVIER JOSE MORALES TELLO / BACH, RUSSELL GUICHAÑA HUACCHARACU                                                                                                                                     |  |  |  | <b>CARRETERA:</b> AP-788 CHALHUANCA PUNCAHUACHO |  |            |  |
| <b>TESTIS:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE LA CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 788, AYMARAES - 2024. |  |  |  | <b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 58 +420              |  |            |  |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b> CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP - 788, AYMARAES                                                                                                                                                         |  |  |  | <b>MUESTRA:</b> M-7                             |  |            |  |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b> ARENA ARCILLOSO LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |  |  |  | <b>100% M.D.C (g/cm³)</b> 105.3                 |  |            |  |
|                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  | <b>O.C.H. (%)</b> 8.66                          |  |            |  |
|                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  | <b>DOSIFICACIÓN</b> 0.35 lt/m³ + 3.5%           |  |            |  |
| <b>MÉTODO DE COMPACTACIÓN</b>                                                                                                                                                                                              |  |  |  | NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557         |  |            |  |
| MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)                                                                                                                                                                                               |  |  |  | 1.910                                           |  |            |  |
| ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)                                                                                                                                                                                            |  |  |  | 8.85                                            |  |            |  |
| 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)                                                                                                                                                                                           |  |  |  | 1.815                                           |  |            |  |
| C.B.R. al 100% de M.D.S (kN)                                                                                                                                                                                               |  |  |  | 105.3                                           |  |            |  |
| C.B.R. al 95% de M.D.S (kN)                                                                                                                                                                                                |  |  |  | 89.1                                            |  |            |  |
| <b>RESULTADOS:</b>                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |                                                 |  |            |  |
| Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.                                                                                                                                                                                       |  |  |  | * 105.3 %                                       |  |            |  |
| Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.                                                                                                                                                                                        |  |  |  | * 89.1 %                                        |  |            |  |
| <b>56 GOLPES</b>                                                                                                                                                                                                           |  |  |  | <b>25 GOLPES</b>                                |  |            |  |
| <b>12 GOLPES</b>                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |                                                 |  |            |  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |                                                 |  |            |  |

Figura 97 — Réplica de CBR combinación 0.35 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

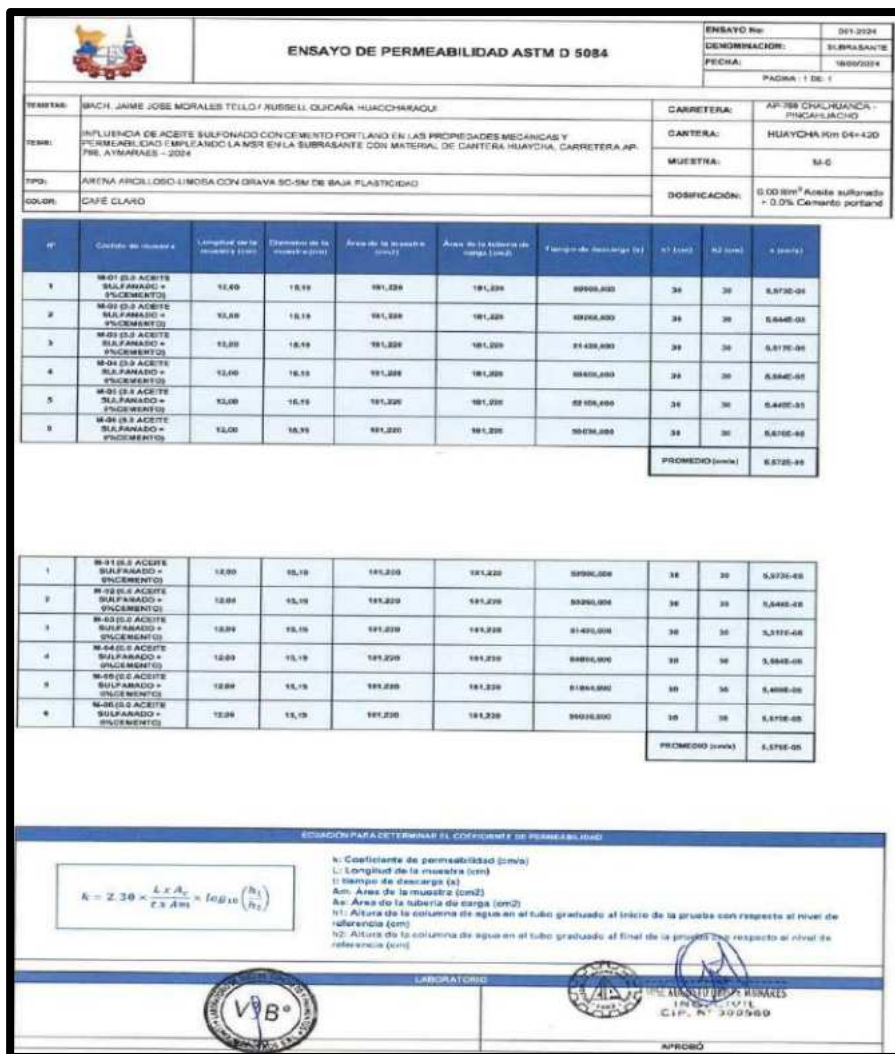


Figura 98 — Coeficiente de permeabilidad 0.00 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 0.00 % de cemento portland I

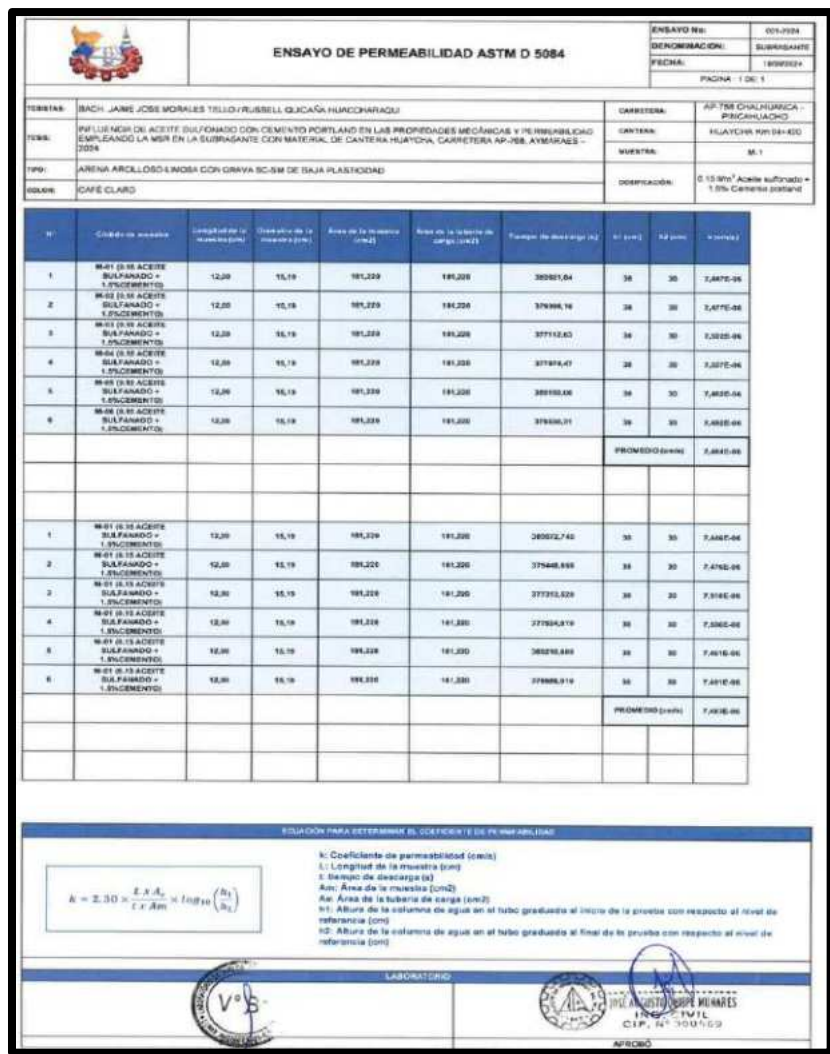


Figura 99 — Coeficiente de permeabilidad 0.15 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I

|                                                                                                                                                                                                                  |  |                                            |  |                                                                                                                    |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                                                                 |  | <b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD ASTM D 5084</b> |  | <b>ENSAYO No:</b> 101-2024<br><b>DENOMINACIÓN:</b> SUBRASANTE<br><b>FECHA:</b> 18/05/2024<br><b>PÁGINA:</b> 1 DE 1 |  |
| <b>TEMA:</b> BACH. JAMIE JOSÉ MORALES TELLO / RUSSELL QUIJANA HUACCHARAGUI                                                                                                                                       |  |                                            |  | <b>CARRERA:</b> AP-788 CHALUPANCA - PUNCAHUACHO                                                                    |  |
| <b>TEM:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-788, AYMARAE - 2024 |  |                                            |  | <b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 04-430                                                                                  |  |
| <b>TPO:</b> ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                           |  |                                            |  | <b>MUESTRA:</b> M-2                                                                                                |  |
| <b>SOLO:</b> CAFÉ CLARO                                                                                                                                                                                          |  |                                            |  | <b>DOFICACIÓN:</b> 0.15 lit/m <sup>3</sup> Aceite sulfonado + 3.5% Cemento portland                                |  |

| N° | Código de muestra                           | Longitud de la muestra (cm) | Diámetro de la muestra (cm) | Área de la muestra (cm²) | Área de la tubería de carga (cm²) | Tiempo de descarga (s) | h1 (cm)         | h2 (cm) | k (cm/s)  |
|----|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------|---------|-----------|
| 1  | M-01 (0.15 ACEITE SULFONADO + 3.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39989.000              | 38              | 30      | 7.148E-06 |
| 2  | M-02 (0.15 ACEITE SULFONADO + 3.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39997.000              | 38              | 30      | 7.154E-06 |
| 3  | M-03 (0.15 ACEITE SULFONADO + 3.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39974.000              | 38              | 30      | 7.139E-06 |
| 4  | M-04 (0.15 ACEITE SULFONADO + 3.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39997.000              | 38              | 30      | 7.150E-06 |
| 5  | M-05 (0.15 ACEITE SULFONADO + 3.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 40035.000              | 38              | 30      | 7.207E-06 |
| 6  | M-06 (0.15 ACEITE SULFONADO + 3.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 40034.000              | 38              | 30      | 7.207E-06 |
|    |                                             |                             |                             |                          |                                   |                        | PROMEDIO (cm/s) |         | 7.153E-06 |
|    |                                             |                             |                             |                          |                                   |                        |                 |         |           |
| 1  | M-07 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39994.000              | 38              | 30      | 7.147E-06 |
| 2  | M-08 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39992.000              | 38              | 30      | 7.143E-06 |
| 3  | M-09 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39994.000              | 38              | 30      | 7.149E-06 |
| 4  | M-10 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 39993.000              | 38              | 30      | 7.147E-06 |
| 5  | M-11 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 40006.000              | 38              | 30      | 7.169E-06 |
| 6  | M-12 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.19                       | 181.239                  | 181.239                           | 40040.000              | 38              | 30      | 7.184E-06 |
|    |                                             |                             |                             |                          |                                   |                        | PROMEDIO (cm/s) |         | 7.149E-06 |
|    |                                             |                             |                             |                          |                                   |                        |                 |         |           |

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

$$k = 2.30 \times \frac{L \times A_c}{t \times A_m} \times \log_{10} \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

k: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
L: Longitud de la muestra (cm)  
t: Tiempo de descarga (s)  
A<sub>m</sub>: Área de la muestra (cm²)  
A<sub>c</sub>: Área de la tubería de carga (cm²)  
h1: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)  
h2: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)



**LABORATORIO**  
**JOSE ANASTASIO MUÑOZ**  
**ING. CIVIL**  
**CIP. N° 36559**



Figura 100 — Coeficiente de permeabilidad 0.15 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             |                                            |                                    |                                                                                                                                                                                                    |                                          |                               |                        |                |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                             | <b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD ASTM D 5084</b> |                                    | <b>ENSAYO No:</b> 101-2024<br><b>DENOMINACIÓN:</b> SUBRASANTE<br><b>FECHA:</b> 18/05/2024<br><b>PÁGINA:</b> 1 DE 1                                                                                 |                                          |                               |                        |                |                 |
| <b>TEMAS:</b> BACH. JAMIE JOSÉ MORALES TELLO / RUSSELL QUIJANA HUACCHARAGUI<br><b>TEM:</b> INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-788, AYMARAE – 2024<br><b>TPO:</b> ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-SM DE BAJA PLASTICIDAD<br><b>SOLO:</b> CAFÉ CLARO |                                             |                                            |                                    | <b>CARRERA:</b> AP-788 CHALUPANCA – PUNCAHUACHO<br><b>CANTERA:</b> HUAYCHA Km 04-430<br><b>MUESTRA:</b> M-3<br><b>DOFICACIÓN:</b> 0.35 lit/m <sup>3</sup> Aceite sulfonado + 1.5% Cemento portland |                                          |                               |                        |                |                 |
| <b>N°</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Código de muestra</b>                    | <b>Longitud de la muestra (cm)</b>         | <b>Diámetro de la muestra (cm)</b> | <b>Área de la muestra (cm²)</b>                                                                                                                                                                    | <b>Área de la tubería de carga (cm²)</b> | <b>Tiempo de descarga (s)</b> | <b>h1 (cm)</b>         | <b>h2 (cm)</b> | <b>k (cm/s)</b> |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-01 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 42025.000                     | 38                     | 30             | 6.896E-06       |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-02 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41907.000                     | 38                     | 30             | 6.794E-06       |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-03 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41905.000                     | 38                     | 30             | 6.789E-06       |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-04 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 43179.000                     | 38                     | 30             | 6.670E-06       |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-05 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 42525.000                     | 38                     | 30             | 6.896E-06       |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-06 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41907.000                     | 38                     | 30             | 6.794E-06       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             |                                            |                                    |                                                                                                                                                                                                    |                                          |                               | <b>PROMEDIO (cm/s)</b> |                | 6.677E-06       |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-07 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 42885.000                     | 38                     | 30             | 6.932E-06       |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-08 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41973.000                     | 38                     | 30             | 6.788E-06       |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-09 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41885.000                     | 38                     | 30             | 6.771E-06       |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-10 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41940.000                     | 38                     | 30             | 6.878E-06       |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-11 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 42885.000                     | 38                     | 30             | 6.932E-06       |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M-12 (0.35 ACEITE SULFONADO + 1.5% CEMENTO) | 12.00                                      | 15.19                              | 181.239                                                                                                                                                                                            | 181.239                                  | 41973.000                     | 38                     | 30             | 6.788E-06       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                             |                                            |                                    |                                                                                                                                                                                                    |                                          |                               | <b>PROMEDIO (cm/s)</b> |                | 6.885E-06       |

**SOLUCIÓN PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

$$k = 2.30 \times \frac{L \times A_c}{t \times A_m} \times \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

k: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
L: Longitud de la muestra (cm)  
t: tiempo de descarga (s)  
A<sub>m</sub>: Área de la muestra (cm²)  
A<sub>c</sub>: Área de la tubería de carga (cm²)  
h1: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)  
h2: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)



**LABORATORIO**  
**JOSE ANASTASIO MUÑOZ**  
**ING. CIVIL**  
**CIP. N° 36559**

Figura 101 — Coeficiente de permeabilidad 0.35 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 1.50 % de cemento portland I

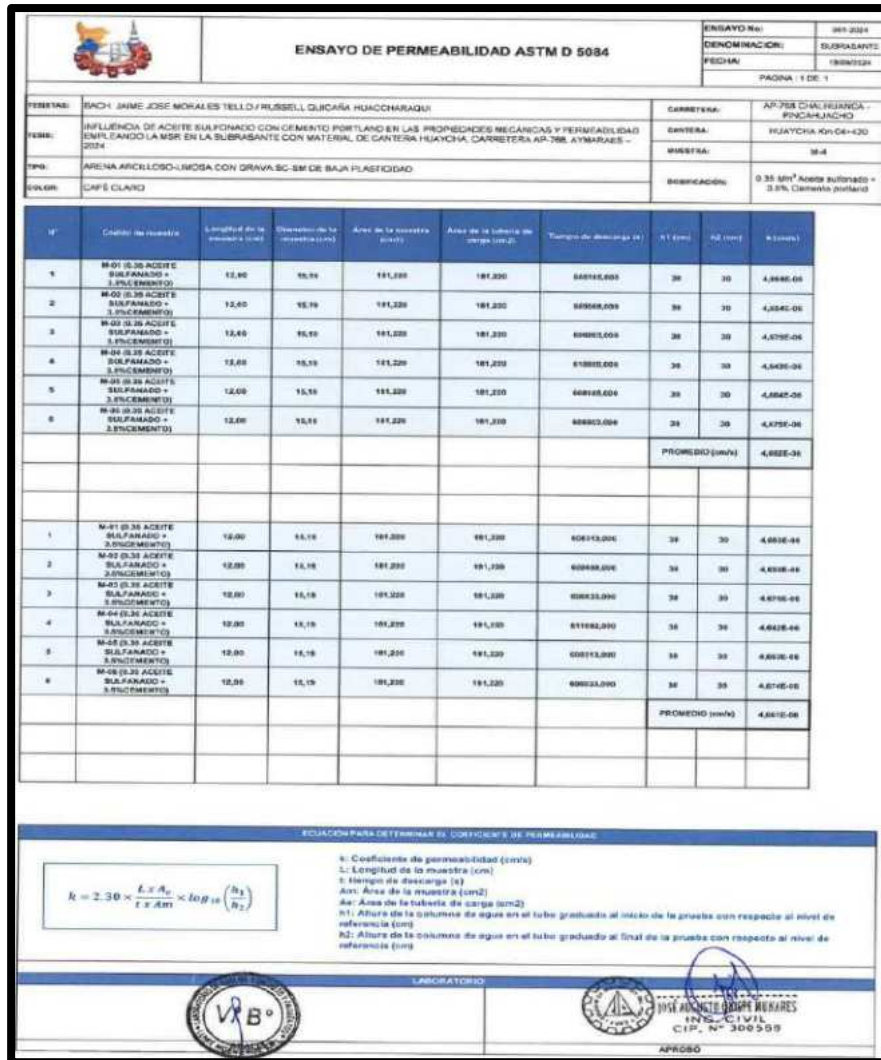


Figura 102 — Coeficiente de permeabilidad 0.35 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

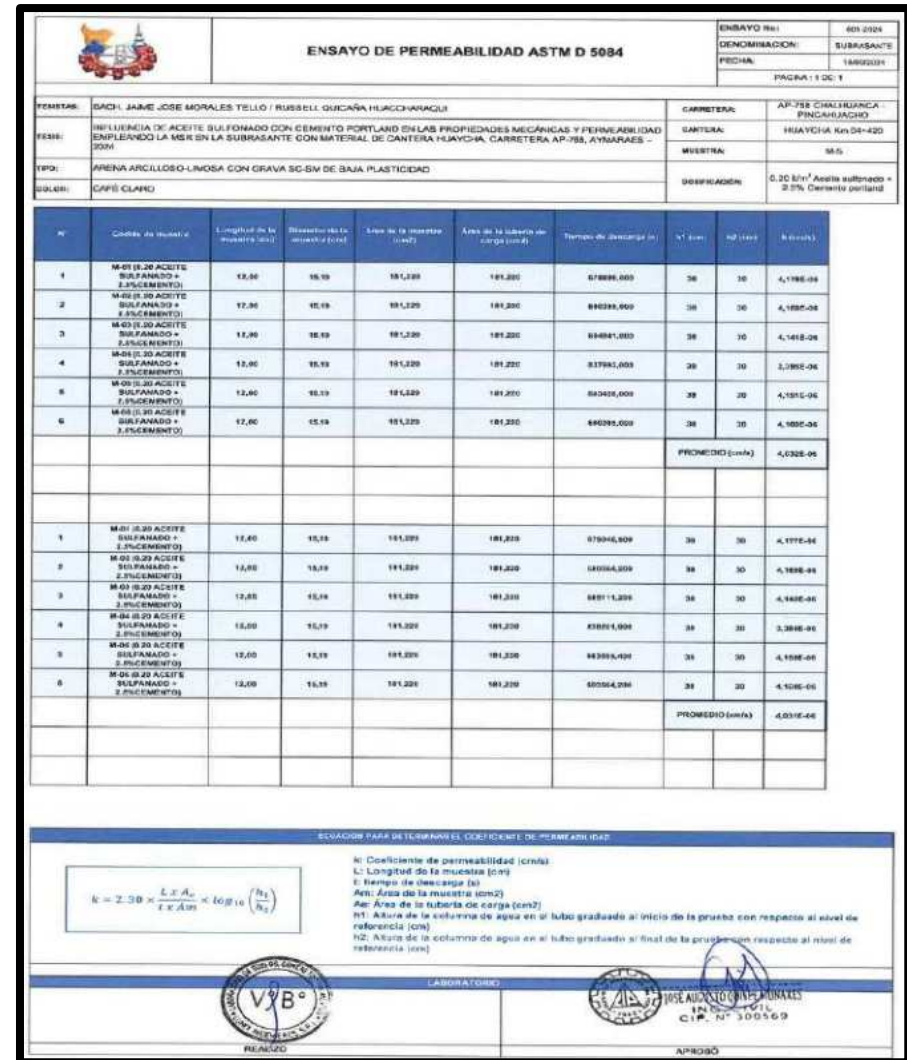


Figura 103 — Coeficiente de permeabilidad 0.20 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

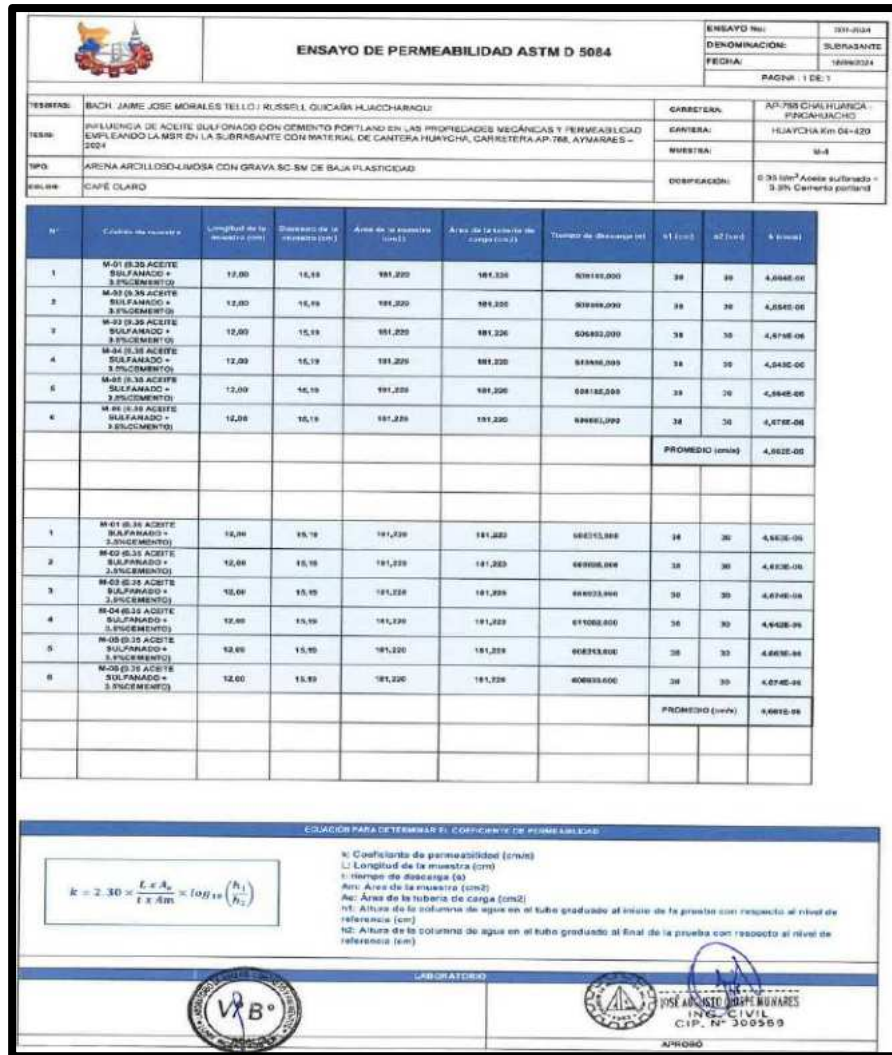


Figura 104 — Coeficiente de permeabilidad 0.35 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 3.50 % de cemento portland I

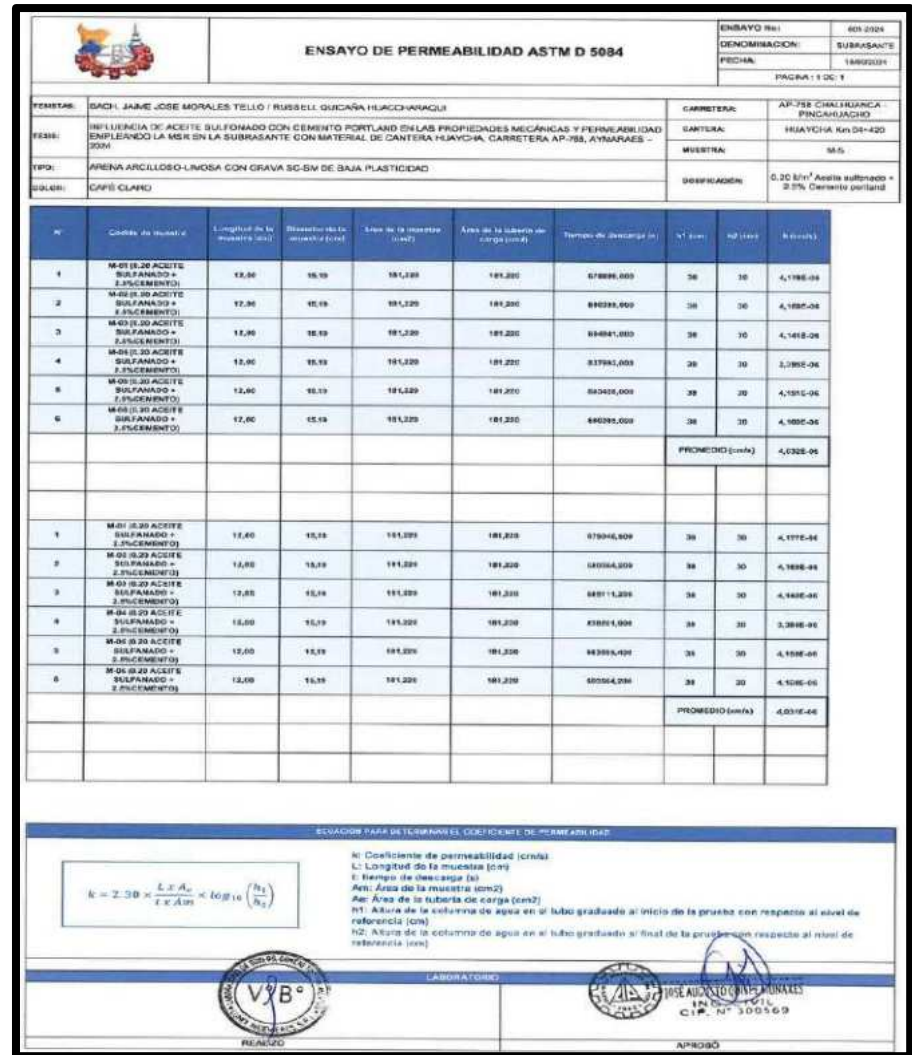


Figura 105 — Coeficiente de permeabilidad 0.20 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

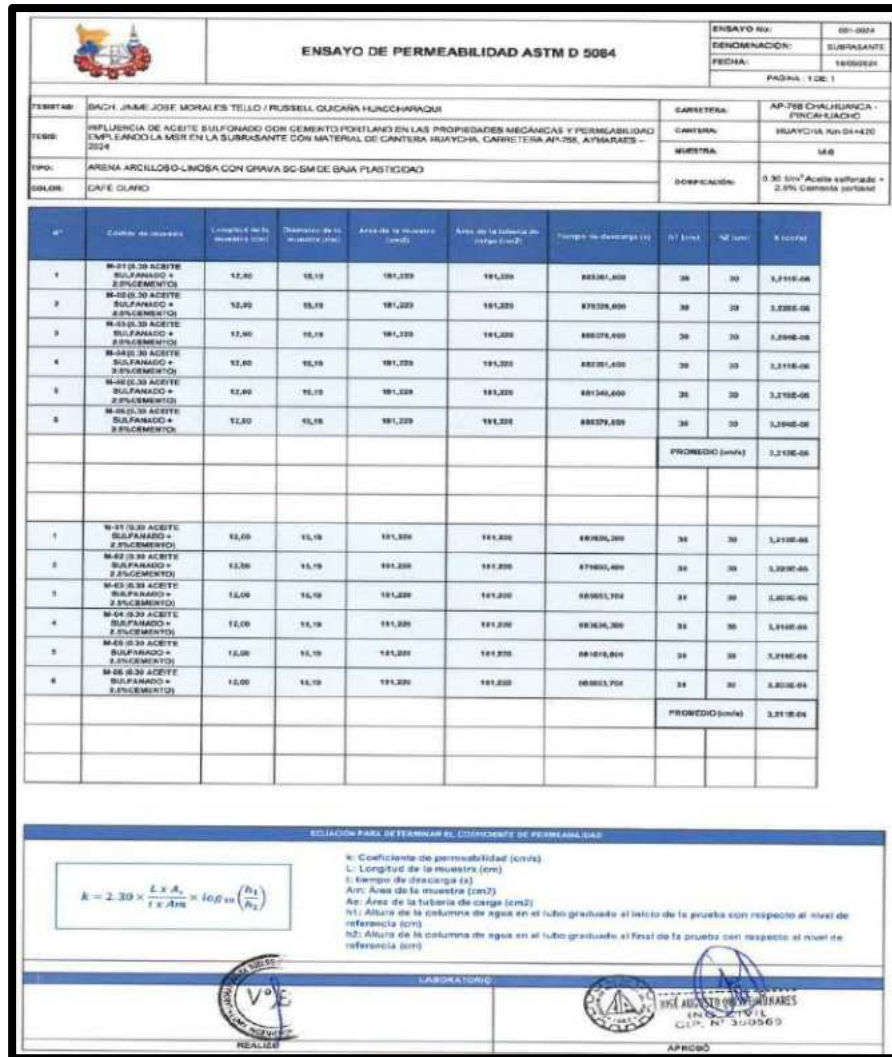


Figura 106 — Coeficiente de permeabilidad 0.30 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

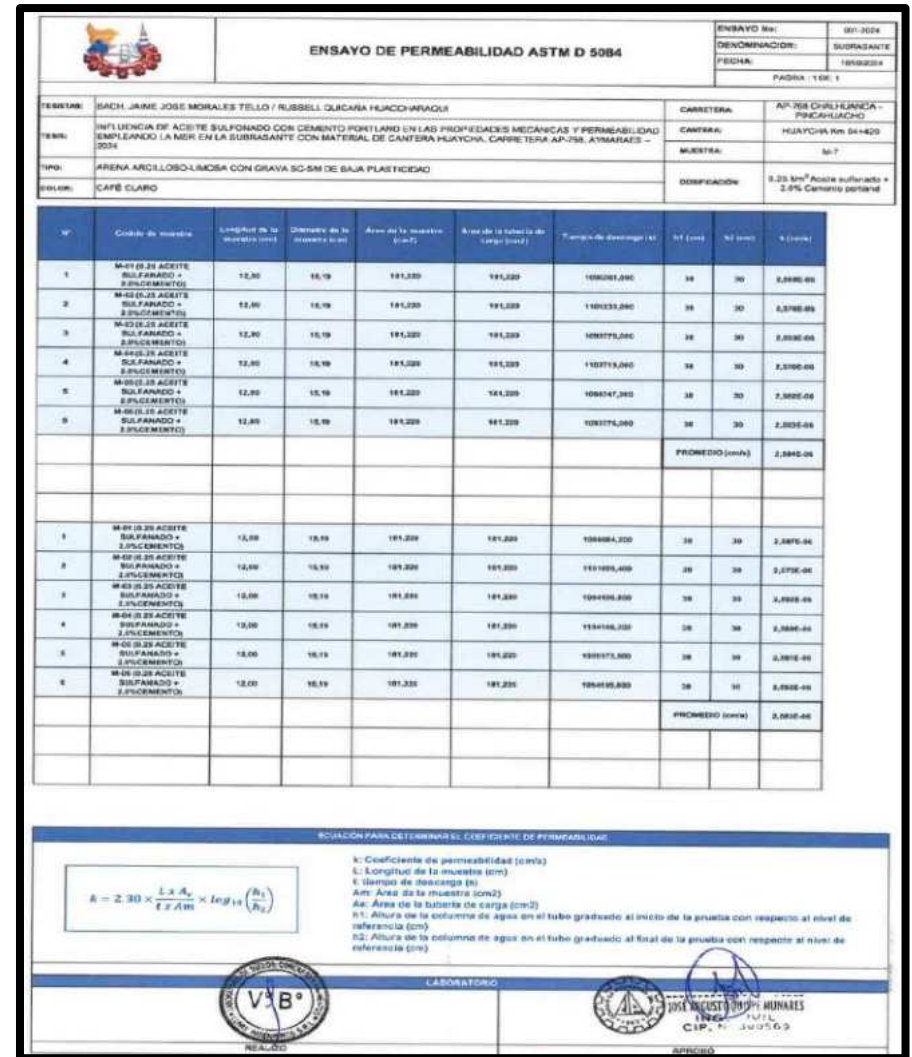


Figura 107 — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.00 % de cemento portland I

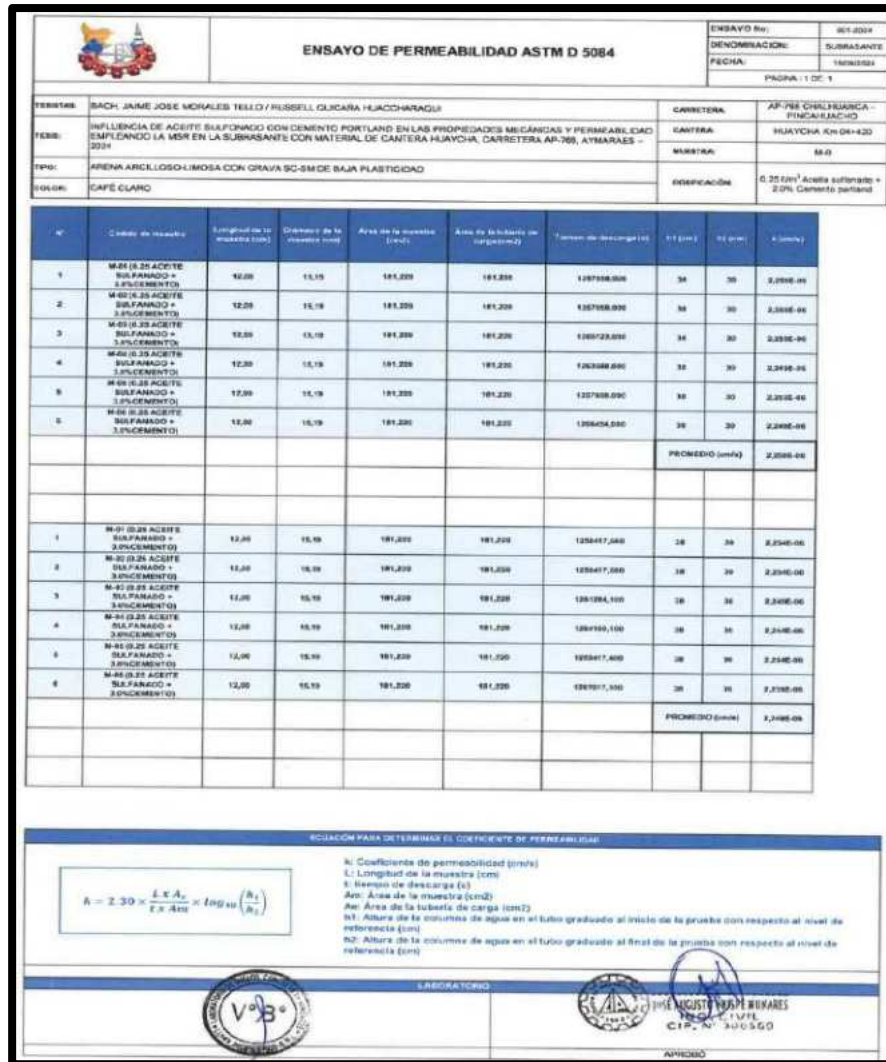


Figura 108 — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 3.00 % de cemento portland I

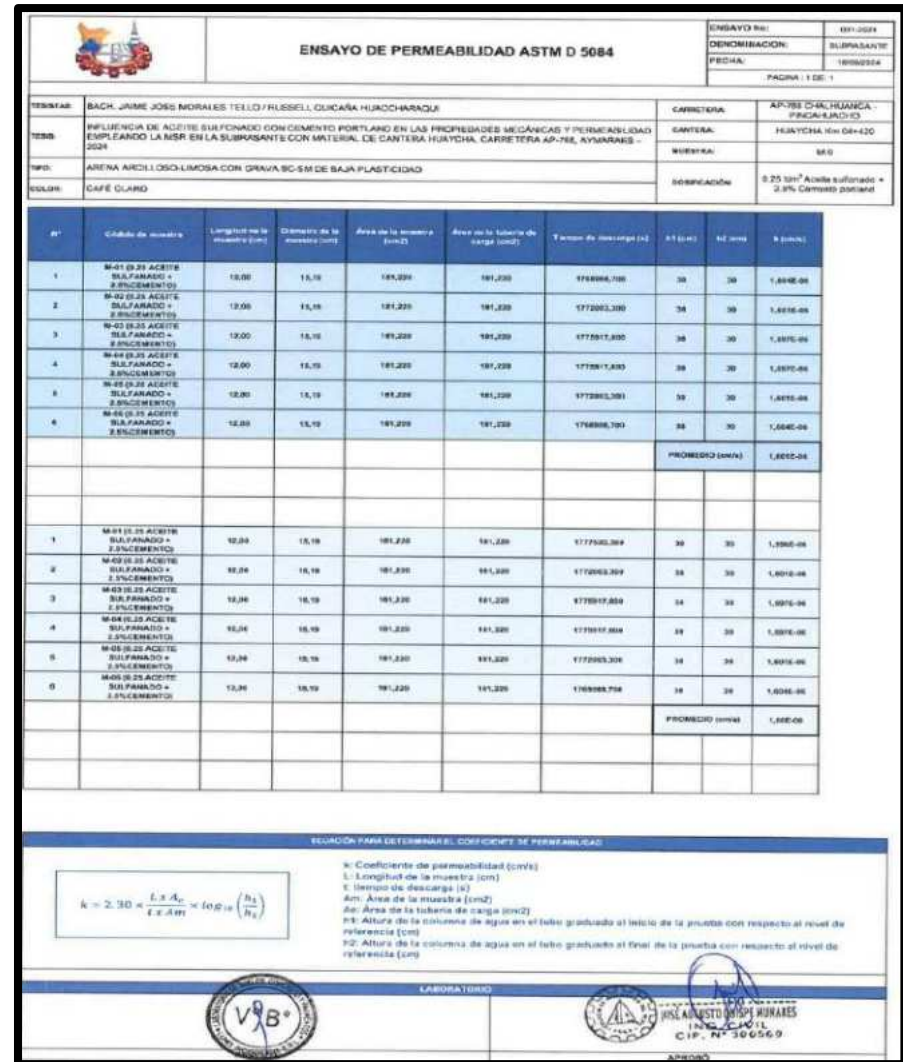


Figura 109 — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m³ de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

|  <b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD ASTM D 5084</b> |                                                                                                                                                                                                        | <b>ENSAYO No:</b> 001-2024<br><b>DENOMINACIÓN:</b> SUBRASANTE<br><b>FECHA:</b> 16/03/2024<br><b>PÁGINA:</b> 1 DE 1 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TERRAZA:</b>                                                                                                              | BACH, JAIME JOSE MORALES TELLO / RUBENEL QUCANA HUACCHAMAYU                                                                                                                                            |                                                                                                                    |
| <b>TERRE:</b>                                                                                                                | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-758, AYMARACAS - 2024 |                                                                                                                    |
| <b>TIPO:</b>                                                                                                                 | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-3M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |                                                                                                                    |
| <b>SOLUCIÓN:</b>                                                                                                             | CAFÉ OLIVIO                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                    |
| <b>CARRERA:</b>                                                                                                              | AP-758 CHALHUANCA - PISCACALACHO                                                                                                                                                                       |                                                                                                                    |
| <b>SANTERA:</b>                                                                                                              | HUAYCHA KM 34+420                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                    |
| <b>MUESTRA:</b>                                                                                                              | M-10                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                    |
| <b>CONDICIÓN:</b>                                                                                                            | 0.25 lit/m <sup>3</sup> Aceite sulfonado + 2.5% Cemento portland                                                                                                                                       |                                                                                                                    |

| N°                     | Condición de muestra                        | Longitud de la muestra (cm) | Diámetro de la muestra (cm) | Área de la muestra (cm <sup>2</sup> ) | Área de la tubería de carga (cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de escape (s) | h <sub>1</sub> (cm) | h <sub>2</sub> (cm) | K (cm/s)         |
|------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| 1                      | M-01 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1811351.300          | 30                  | 30                  | 1.8880-06        |
| 2                      | M-02 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1810874.900          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 3                      | M-03 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1810755.900          | 30                  | 30                  | 1.9010-06        |
| 4                      | M-04 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1809645.900          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 5                      | M-05 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1809267.300          | 30                  | 30                  | 1.9730-06        |
| 6                      | M-06 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1810702.700          | 30                  | 30                  | 1.9030-06        |
| <b>PROMEDIO (cm/s)</b> |                                             |                             |                             |                                       |                                                |                      |                     |                     | <b>1.9032-06</b> |
| 1                      | M-01 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1811205.300          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 2                      | M-02 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1794753.700          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 3                      | M-03 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1810763.000          | 30                  | 30                  | 1.9010-06        |
| 4                      | M-04 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1809446.000          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 5                      | M-05 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1809387.300          | 30                  | 30                  | 1.9730-06        |
| 6                      | M-06 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1810702.700          | 30                  | 30                  | 1.9030-06        |
| <b>PROMEDIO (cm/s)</b> |                                             |                             |                             |                                       |                                                |                      |                     |                     | <b>1.9000-06</b> |

**EQUACIÓN PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

$$K = 2.30 \times \frac{L \times A_m}{t \times A_m} \times \log \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 L: Longitud de la muestra (cm)  
 t: Tiempo de escape (s)  
 A<sub>m</sub>: Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)  
 A<sub>c</sub>: Área de la tubería de carga (cm<sup>2</sup>)  
 h<sub>1</sub>: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)  
 h<sub>2</sub>: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)




**LABORATORIO**

**JOSE AGUSTO MORALES TELLO**  
ING. CIVIL  
CIP. N° 30059

Figura 110 — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

|  <b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD ASTM D 5084</b> |                                                                                                                                                                                                        | <b>ENSAYO No:</b> 001-2024<br><b>DENOMINACIÓN:</b> SUBRASANTE<br><b>FECHA:</b> 16/03/2024<br><b>PÁGINA:</b> 1 DE 1 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TERRAZA:</b>                                                                                                                | BACH, JAIME JOSE MORALES TELLO / RUBENEL QUCANA HUACCHAMAYU                                                                                                                                            |                                                                                                                    |
| <b>TERRE:</b>                                                                                                                  | INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, CARRETERA AP-758, AYMARACAS - 2024 |                                                                                                                    |
| <b>TIPO:</b>                                                                                                                   | ARENA ARCILLOSO-LIMOSA CON GRAVA SC-3M DE BAJA PLASTICIDAD                                                                                                                                             |                                                                                                                    |
| <b>SOLUCIÓN:</b>                                                                                                               | CAFÉ OLIVIO                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                    |
| <b>CARRERA:</b>                                                                                                                | AP-758 CHALHUANCA - PISCACALACHO                                                                                                                                                                       |                                                                                                                    |
| <b>SANTERA:</b>                                                                                                                | HUAYCHA KM 34+420                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                    |
| <b>MUESTRA:</b>                                                                                                                | M-11                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                    |
| <b>CONDICIÓN:</b>                                                                                                              | 0.25 lit/m <sup>3</sup> Aceite sulfonado + 2.5% Cemento portland                                                                                                                                       |                                                                                                                    |

| N°                     | Condición de muestra                        | Longitud de la muestra (cm) | Diámetro de la muestra (cm) | Área de la muestra (cm <sup>2</sup> ) | Área de la tubería de carga (cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de escape (s) | h <sub>1</sub> (cm) | h <sub>2</sub> (cm) | K (cm/s)         |
|------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| 1                      | M-01 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789145.000          | 30                  | 30                  | 1.8880-06        |
| 2                      | M-02 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789082.400          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 3                      | M-03 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789479.800          | 30                  | 30                  | 1.9010-06        |
| 4                      | M-04 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789479.800          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 5                      | M-05 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789482.400          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 6                      | M-06 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789484.000          | 30                  | 30                  | 1.9030-06        |
| <b>PROMEDIO (cm/s)</b> |                                             |                             |                             |                                       |                                                |                      |                     |                     | <b>1.9000-06</b> |
| 1                      | M-01 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789145.000          | 30                  | 30                  | 1.8880-06        |
| 2                      | M-02 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1771683.300          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 3                      | M-03 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789079.800          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 4                      | M-04 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789079.800          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 5                      | M-05 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789082.400          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| 6                      | M-06 (0.25 ACEITE SULFONADO + 2.5% CEMENTO) | 12.00                       | 15.10                       | 181.220                               | 181.220                                        | 1789084.000          | 30                  | 30                  | 1.9000-06        |
| <b>PROMEDIO (cm/s)</b> |                                             |                             |                             |                                       |                                                |                      |                     |                     | <b>1.9000-06</b> |

**EQUACIÓN PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

$$K = 2.30 \times \frac{L \times A_m}{t \times A_m} \times \log \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

K: Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 L: Longitud de la muestra (cm)  
 t: Tiempo de escape (s)  
 A<sub>m</sub>: Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)  
 A<sub>c</sub>: Área de la tubería de carga (cm<sup>2</sup>)  
 h<sub>1</sub>: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al inicio de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)  
 h<sub>2</sub>: Altura de la columna de agua en el tubo graduado al final de la prueba con respecto al nivel de referencia (cm)




**LABORATORIO**

**JOSE AGUSTO MORALES TELLO**  
ING. CIVIL  
CIP. N° 30059

Figura 111 — Coeficiente de permeabilidad 0.25 lt/m<sup>3</sup> de aceite sulfonado con 2.50 % de cemento portland I

Anexo F  
Certificados de calibración



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C  
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMT - 040 - 2024

Expediente

24-0041

1. Solicitante

LUNIX INGENIEROS S.R.L.

2. Dirección

Av. Antonio Salas Berty N° 107 Urb. Condebamba, Abancay - Abancay - APURIMAC

3. Equipo

HORNO

Alcance Máximo

De 40 °C a 200 °C

Marca

PINZUAR

Modelo

PG-2002

Número de Serie

174

Identificación

NO INDICA

Procedencia

COLOMBIA

Ubicación

NO INDICA

Descripción

Controlador / Sensor

Instrumento de medición

Alcance

40 °C a 200 °C

40 °C a 200 °C

División de escala / Resolución

0,01 °C

0,01 °C

Tipo

CONTROLADOR ELECTRONICO

TERMOMETRO DIGITAL

4. Fecha de Calibración

2024-05-22

5. Fecha de Emisión

2024-05-23

Sello

Jefe del Laboratorio de Metrología

Firmado digitalmente por

ELEAZAR CÉSAR CHAVEZ RARAZ

Fecha: 2024.05.23 12:34:15 -05'00'

ventas@servimetrol@gmail.com

servimetrol@gmail.com

servimetrol@gmail.com

888029704

836037600

Col.37 Mza. A-34 Lote 29 Urb. Cultura Peruana Moderna Lima - Lima - Santa Anita

Figura 112 — Certificado de calibración horno eléctrico

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.  
Calle Ricardo Palma No 100 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
www.pinzuar.com.pe



Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología

IV-6821

Verificación Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

Datos del cliente

Solicitante:

LUNIX INGENIEROS S.R.L.

Dirección:

AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

Trazabilidad

El/Los certificado(s) de calibración de estos anteriores usado(s) como referencia para la calibración en nuestro, que se mencionan en la página, se pueden descargar descargando el enlace en el código QR.

| Equipo de Medición               | Código de Identificación | Certificado de Calibración |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Pie de Rey de 300 mm- Estándares | 025021P                  | L-23921-001                |
| Pie de rey de 150 mm- Estándares | 025022P                  | L-23921-001                |
| Pie de rey de 300 mm- Estándares | 018003P                  | L-23921-004                |



Resultados de verificación

MOLDE PARA PRUEBA DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO

Norma:

ASTM D698, ASTM D1557

Referencia:

PS3

Modelo:

A010205

Cantidad:

1 und

| CARACTERÍSTICAS             | RESULTADO |
|-----------------------------|-----------|
| Ancho total del collar      | 3,64 mm   |
| Diámetro externo del collar | 106,28 mm |
| Altura del collar           | 50,44 mm  |
| Resumen interno del molde   | 102,65 mm |
| Altura del molde            | 119,54 mm |
| Altura tapa del molde       | 9,85 mm   |
| Altura de la base           | 13,21 mm  |

Yec. Aron Soriano

Supervisor de Laboratorio

Ing. Felix Jaramillo

Metrología-Laboratorio Metrología

(\*) Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se calibró en esta página. El laboratorio que le emite no es responsable de los resultados que pueden obtenerse del uso inadecuado de los instrumentos ya que la información suministrada por el solicitante.

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Fuerza | Longitud | Masa | Pot. Térmica | Presión | Temperatura

Figura 113 — Certificado de verificación de molde Proctor

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.  
Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 718  
www.pinzuar.com.co

PINZUAR

LABORATORIO DE METROLOGÍA

IV-6821

Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología

Verification Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

Datos del cliente

Solicitante: LUNIX INGENIEROS S.R.L.

Dirección: AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

Trazabilidad

El/Los certificado(s) de calibración de estos patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

| Equipo de Medición                | Código de Identificación | Certificado de Calibración |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Pie de rey de 300 mm.- Exteriores | 015203P                  | L-25931-004                |
| Pie de Rey de 300 mm.- Interiores | 025201P                  | L-25931-002                |
| Cinta Métrica - Clase II          | 015001P                  | L-25931-006                |



Resultados de verificación

PESAS ABIERTAS PARA CBR

Norma: ASTM D1883

Referencia: PG101

Modelo: A010205

Cantidad: 9 und

| CARACTERÍSTICAS     | RESULTADO |
|---------------------|-----------|
| Peso neto las pesas | 2,01 kg   |
| Diámetro exterior   | 150,38 mm |
| Diámetro interno    | 54,35 mm  |

  
Tec. Aron Soriano  
Técnico-Laboratorio Metrología

  
Ing. Felix Jaramillo  
Metrología-Laboratorio Metrología

(\*)Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO  
Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 114 — Certificado de verificación de pesas abiertas CBR

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.  
Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 718  
www.pinzuar.com.co

PINZUAR

LABORATORIO DE METROLOGÍA

IV-6821

Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología

Verification Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

Datos del cliente

Solicitante: LUNIX INGENIEROS S.R.L.

Dirección: AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

Trazabilidad

El/Los certificado(s) de calibración de estos patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

| Equipo de Medición                | Código de Identificación | Certificado de Calibración |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Balanza Digital 6200 g x 0.01 g   | 021202P                  | LCM-235-2020               |
| Pie de rey de 300 mm.- Exteriores | 015203P                  | L-25931-004                |
| Pie de Rey de 300 mm.- Interiores | 025201P                  | L-25931-002                |



Resultados de verificación

PESAS CERRADAS PARA CBR

Norma: ASTM D1883

Referencia: PG102

Modelo: A010205

Cantidad: 9 und

| CARACTERÍSTICAS     | RESULTADO |
|---------------------|-----------|
| Peso neto las pesas | 2,01 kg   |
| Diámetro exterior   | 149,90 mm |
| Diámetro interno    | 54,24 mm  |

  
Tec. Aron Soriano  
Técnico-Laboratorio Metrología

  
Ing. Felix Jaramillo  
Metrología-Laboratorio Metrología

(\*)Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO  
Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 115 — Certificado de verificación de pesas cerradas CBR



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMF - 046 - 2024

Expediente

24-0041

Página 1 de 3

1. Solicitante

LUNIX INGENIEROS S.R.L.

2. Dirección

Av. Antonio Salas Berty N° 107 Urb. Condebamba, Abancay - Abancay - APURIMAC

3. Equipo

PRESA CBR

Capacidad

50 kN

Marca

PINZUAR

Modelo

PS-91

Número de Serie

123

Identificación

NO INDICA

Procedencia

COLOMBIA

4. Indicador

DIGITAL

Marca

PINZUAR

Número de Serie

123

División de Escala / Resolución

0,01 kN

5. Fecha de Calibración

2024-05-22

6. Fecha de Emisión

2024-05-23

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales e internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Sello



Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por

ELEAZAR CESAR CHAVEZ

RARAZ

Fecha: 2024.05.23 11:50:06 -05'00'

ventas@servimetrol@gmail.com

aservimetrol@gmail.com

cservimetrol@gmail.com

938102709

938327400

Cal 37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb. Cultura Peruana Moderna

Lima - Lima - Santa Anita

Figura 116 — Certificado de calibración prensa CBR

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Calle Ricardo Palma No. 999 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
www.pinzuar.com.co

PINZUAR

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología

IV-6821

Verification Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

Datos del cliente

Solicitante: LUNIX INGENIEROS S.R.L.

Dirección: AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

Trazabilidad

El/Los certificado(s) de calibración de ellos patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

| Equipo de Medición                | Código de Identificación | Certificado de Calibración |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Plat de rey de 300 mm- Exteriores | 0152020P                 | L-25931-004                |
| Plat de rey de 150 mm- Exteriores | 0252020P                 | L-23351-001                |



Resultados de verificación

PLACA DE EXPANSIÓN EN BRONCE PARA CBR

Norma: ASTM D1883  
Referencia: PS20  
Modelo: A010205

Cantidad: 3 und

| CARACTERÍSTICAS           | RESULTADO |
|---------------------------|-----------|
| Diámetro exterior         | 100,62 mm |
| Perforaciones             | 42,00 un  |
| Diámetro de Perforaciones | 1,59 mm   |
| Espesor                   | 0,36 mm   |



Tec. Aron Soriano  
Técnico-Laboratorio Metrología



Ing. Felix Jaramillo  
Metrología-Laboratorio Metrología

(\*) Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados sólo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que le emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 117 — Certificado de verificación placa de expansión

# **LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.**

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao  
(+511) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118  
www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA

**IV-6821**

## **Certificado de Verificación - Laboratorio de Metrología**

Verification Certificate - Metrology Laboratory

Fecha de verificación: 2023-04-26

### **Datos del cliente**

Solicitante: **LUNIX INGENIEROS S.R.L.**

Dirección: **AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY**

### **Trazabilidad**

El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página se pueden descargar accediendo al enlace en el código QR.

| Equipo de Medición               | Código de Identificación | Certificado de Calibración |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Pie de rey de 300 mm- Exteriores | 015203P                  | L-25931-004                |
| Pie de rey de 150 mm- Exteriores | 025202P                  | L-23351-001                |
| Balanza Digital 6200 g x 0,01 g  | 021202P                  | LCM-235-2020               |



### **Resultados de verificación**

#### **TRIPODE DE EXPANSION DE CBR**

Norma: ASTM D1883

Referencia: PS1

Modelo: A010205

Cantidad: 1 und

| CARACTERÍSTICAS    | RESULTADO |
|--------------------|-----------|
| Altura del Tripode | 119,85 mm |
| Peso del Tripode   | 502,32 g  |

Tec. Aron Soriano  
Técnico-Laboratorio Metrología



Ing. Felix Jaramillo  
Metrologo-Laboratorio Metrología

(\*Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

**ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO**

Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

**Figura 118 — Certificado de verificación trípode CBR**

## Anexo G

### Declaración de originalidad de autores

#### DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES

Yo, Jaime Jose Morales Tello identificado con DNI 72502658 y Russell Quicaña Huaccharaqui identificado con DNI 71536707, egresados de la escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac – UNAMBA.

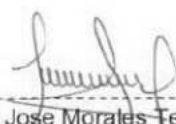
Declaramos bajo juramento que:

Todos los datos e informaciones que acompañan a la tesis titulada: **"Influencia de aceite sulfonado con cemento portland I en las propiedades mecánicas y permeabilidad empleando la MSR en la subrasante con material de cantera Huaycha, Aymaraes – 2024"** es de nuestra autoría; por lo tanto, declaramos que:

- El presente trabajo no constituye plagio, ni total ni parcial.
- Todas las fuentes utilizadas han sido debidamente citadas, identificando de manera correcta las citas textuales y las parafraseadas provenientes de otras fuentes.
- El trabajo no ha sido publicado ni presentado con anterioridad para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Los datos presentados en los resultados son verídicos y no han sido falseados, duplicados ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como información aportada; por consiguiente, nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

Tamburco, 23 de enero del 2026.

  
Jaime Jose Morales Tello  
DNI: 72502658

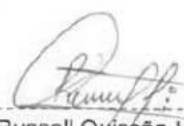
  
Russell Quicaña Huaccharaqui  
DNI: 71536707

Figura 119 — Declaración de originalidad de autores

## Anexo H

### Autorización de consentimiento para realizar la investigación

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE AYMARAE</b><br><b>INSTITUTO VIAL PROVINCIAL MUNICIPAL – AYMARAE</b> |  |
| <p>A los 06 días del mes de junio del año 2024, Yo Ing. <b>KEVIN CCORIHUAMAN TERRAZAS</b> identificado con <b>DNI 70790301</b>, en mi calidad de Gerente General del Instituto Vial Provincial – Aymaraes, ubicado en el distrito de Chalhuanca, provincia de Aymaraes del departamento de Apurímac.</p>                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                     |
| <p><b>OTORGO LA AUTORIZACIÓN</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |                                                                                     |
| <p>A los Bach. <b>JAIME JOSE MORALES TELLO</b> identificado con <b>DNI 72502658</b> y Bach. <b>RUSSELL QUICAÑA HUACCHARAQUI</b> identificado con <b>DNI 71536707</b>, egresados de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la <b>UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC</b>, para que puedan utilizar la carretera AP – 768 Chalhuanca – Baños Tarmales de Pincahuacho.</p>                                                                                                                                |                                                                                                    |                                                                                     |
| <p>La presente autorización se otorga para la extracción de muestras de la cantera Huaycha y la inspección superficial de la carretera antes mencionada, en el marco del desarrollo de la tesis titulada: <b>“INFLUENCIA DE ACEITE SULFONADO CON CEMENTO PORTLAND I EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABILIDAD EMPLEANDO LA MSR EN LA SUBRASANTE CON MATERIAL DE CANTERA HUAYCHA, AYMARAE – 2024”</b>, con la finalidad de que los mencionados bachilleres puedan desarrollar su tesis y optar el Título Profesional.</p> |                                                                                                    |                                                                                     |
| <p>Los autorizados se comprometen a realizar las actividades de campo respetando las normas de seguridad, conservación ambiental y disposiciones internas de la entidad, asumiendo plena responsabilidad por cualquier daño que pudiera generarse durante la ejecución de las actividades autorizadas.</p>                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    |                                                                                     |
| <div style="text-align: center;"><br/>Ing. Kevin Ccorihuaman Terrazas<br/>GERENTE GENERAL</div> <p>Firma y sello del representante</p> <p>DNI: 70790301</p>                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |                                                                                     |

Figura 120 — Autorización de consentimiento para realizar la investigación

## **Anexo I**

### **Memoria descriptiva de la red vial AP-768**

#### **I.1 Datos generales de la red vial AP-768**

- Nombre: red vial vecinal Chalhuanca – Baños Termales de Pincahuacho
- Código de ruta: AP-768
- Clasificación: red vial vecinal
- Ubicación política
  - Departamento: Apurímac
  - Provincia: Aymaraes
  - Distrito: Chalhuanca
- Ubicación geográfica
  - Latitud: entre 14° 16' 45" S y 14° 17' 01" S
  - Longitud: entre 73° 17' 18" O y 73° 16' 19" O
  - Altitud: entre 2,900 m.s.n.m y 3,120 m.s.n.m
- Inicio de ruta: Emp. PE-30 A (Chalhuanca)
- Fin de ruta: Baños Termales de Pincahuacho

#### **I.2 Características técnicas de la red vial vecinal AP-768**

- Tipo de vía: red vial vecinal no pavimentada
- Superficie de rodadura: afirmado
- Ancho de calzada: 4.00 m (en promedio)
- Pendiente: entre 1.0 % y 8.6 %
- Topografía: agreste escarpada y ondula en casi todo lo largo del tramo

- Longitud total: 05 + 036 km

### **I.3 Descripción de la red vial vecinal AP-768**

La red vial vecinal AP-768 Chalhuanca – Baños Termales de Pincahuacho, constituye una de las vías más importantes de articulación rural en la provincia de Aymaraes. Con una longitud de 5.036 km, esta vía conecta el distrito de Chalhuanca con los Baños Termales de Pincahuacho, facilitando el acceso a los servicios básicos como salud, educación, transporte y acceso a mercados de la provincia de Aymaraes. Desde su apertura, ha sido un eje de desarrollo económico y social para las familias campesinas del sector, permitiendo el transporte de productos agrícolas y el desplazamiento de la población.

Actualmente, la red vial vecinal AP-768 es una vía no pavimentada con ancho de calzada de 4.00 m, conservada mediante mantenimiento rutinario. Asimismo, se pudo constatar el deteriorado estado de la superficie de rodadura, encontrándose en toda su longitud baches, ahuellamientos, hundimientos, erosión, pérdida parcial de la plataforma a consecuencia de las intensas lluvias en la zona y el aumento de flujo vehicular, lo que dificulta la transitabilidad hacia los Baños Termales de Pincahuacho y el acceso a servicios básicos de la población, requiriendo trabajos de mantenimiento para garantizar su operatividad durante todo el año.

### **I.4 Mantenimientos y estado actual**

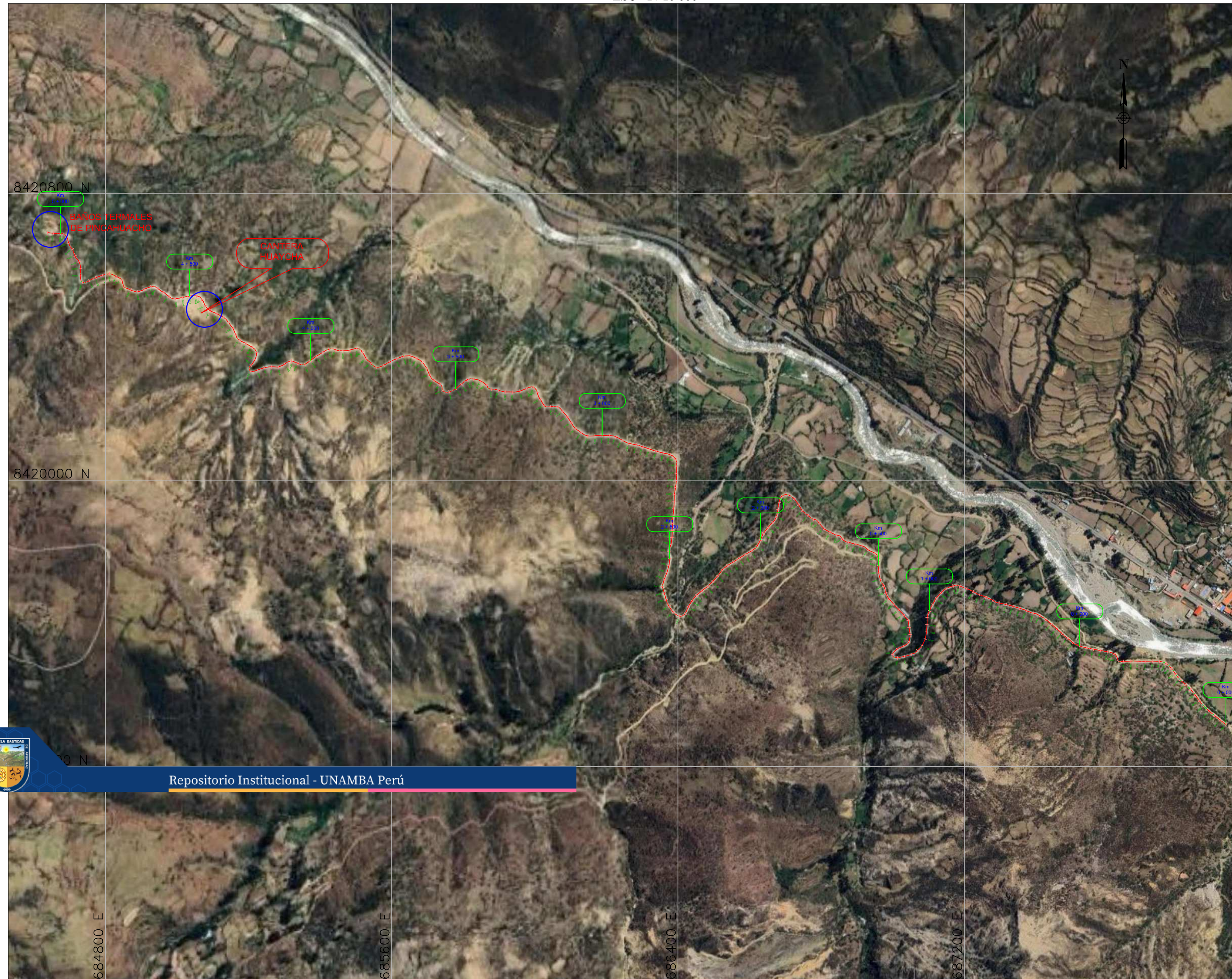
- El año de apertura de la red vial vecinal AP-768 Chalhuanca – Baños Termales de Pincahuacho data del año 1995.
- La red vial vecinal AP-768 Chalhuanca – Baños Termales de Pincahuacho, su conservación se ha realizado a base de mantenimientos rutinarios, siendo el último ejecutado en el año 2023 por la empresa MARCILLA JUAREZ ELDO con fuente de financiamiento de donaciones y transferencias de la Municipalidad Provincial de Aymaraes.
- La red vial vecinal AP-768 Chalhuanca – Baños Termales de Pincahuacho, no tuvo ningún mantenimiento periódico.

- Durante el año 2025, el Instituto Vial Provincial – Aymaraes elaboró el expediente técnico correspondiente al mantenimiento periódico de la red vial vecinal AP-768, el cual contempló un presupuesto de S/ 236,136.73. Esta intervención tuvo como finalidad asegurar la transitabilidad durante todo el año, incluso durante la temporada de lluvias, beneficiando a familias y facilitando el acceso hacia los Baños Termales de Pincahuacho, en favor del desarrollo social y turístico de la zona.



**Anexo J**  
**Plano de ubicación**





| LEYENDA                                                                               |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  | Sector / lugar   |
|  | Cantera Huaycha  |
|  | Carretera AP-768 |

|         |                        |            |      |        |      |        |                                                                                                                                                               |                                                                                       |                                                                                   |                   |                  |                    |        |
|---------|------------------------|------------|------|--------|------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|--------|
|         |                        |            |      |        |      |        | <div>UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC</div> <div></div> | TÍTULO: PLANO DE UBICACIÓN                                                            |                                                                                   |                   |                  |                    | REV. 0 |
|         |                        |            |      |        |      |        |                                                                                                                                                               | ESCUOLA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL                                     | PLANO: UBICACIÓN CANTERA HUAYCHA - CARRETERA AP-768 BAÑOS TERMALES DE PINCAHUACHO |                   |                  | PLANO N°<br><br>01 |        |
|         |                        |            |      |        |      |        |                                                                                                                                                               |  | DEPART. APURÍMAC                                                                  | DIST. CHALHUANCA  | ESCALA 1: 10 000 |                    |        |
| A       | EMITIDO PARA REVISIÓN  | ENE - 2026 | ---- | R.Q.H. | ---- | ----   |                                                                                                                                                               |                                                                                       | PROV. AYMARAE                                                                     | COMU. PINCAHUACHO | HOJA 01 DE 01    |                    |        |
| REV. N° | DESCRIPCIÓN / REVISIÓN | FECHA      | DIS. | DIB.   | REV. | APROB. |                                                                                                                                                               |                                                                                       |                                                                                   |                   |                  |                    |        |