

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024

Presentado por:

Sheyla Beatriz Gonzales Hilares

Para optar el título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2025



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



TESIS

Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024

Presentado por **Sheyla Beatriz Gonzales Hilares**, para optar el título de Ingeniero Civil

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

Presidente:




PhD. Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orrellana

Primer miembro:



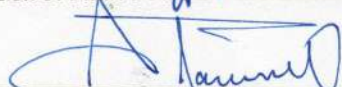
Ing. Ricardo Heinrich Pinto Yupanqui

Segundo miembro:



Mtro. Juan Franks Valenzuela Carrasco

Asesor:



Dr. Calixto Cañari Otero



Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 015-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024**, presentado por la Bach: **SHEYLA BEATRIZ GONZALES HILARES**, 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 (18%)** 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

Hesmeralda Rojas Enriquez
Dra. Hesmeralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 050

Agradecimiento

Expreso mi más sincera gratitud a Dios, cuya fortaleza, constancia y sabiduría me permitieron culminar con éxito esta etapa académica.

A mi familia, sostén esencial en mi vida, agradezco profundamente su respaldo inquebrantable a lo largo de este proceso. A mis padres Beatriz Hilares M. y Julio Gonzales G., por sus esfuerzos, su amor incondicional y por haberme transmitido el valor del conocimiento y la búsqueda constante de superación personal. A mis hermanos, por su presencia y por las palabras de ánimo que me brindaron en los momentos más complejos. De igual manera, manifiesto mi reconocimiento a mi asesor de tesis, cuya orientación, compromiso y conocimientos fueron determinantes en el desarrollo de esta investigación. Sus observaciones y aportes resultaron decisivos para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Sheyla Beatriz Gonzales Hilares



Dedicatoria

A Dios, por otorgarme la fortaleza indispensable y sostenerme frente a las dificultades. A mis padres, por ser los impulsores fundamentales de mis aspiraciones, por su amor, dedicación y esfuerzo a lo largo de estos años, así como por brindarme la posibilidad de crecer como ser humano y formarme como futuro profesional.

Sheyla Beatriz Gonzales Hilaes



Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac – 2024

Línea de investigación: Ingeniería de materiales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	8
1.2.1 Problema general	8
1.2.2 Problemas específicos	8
1.2.3 Justificación de la investigación	8
CAPÍTULO II	10
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	10
2.1 Objetivos de la investigación	10
2.1.1 Objetivo general	10
2.1.2 Objetivos específicos	10
2.2 Hipótesis de la investigación	10
2.2.1 Hipótesis general	10
2.2.2 Hipótesis específicas	10
2.3 Operacionalización de variables	11
CAPÍTULO III	12
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	12
3.1 Antecedentes	12
3.1.1 Internacional	12
3.1.2 Nacional	15
3.1.3 Local	16
3.2 Marco teórico	16
3.2.1 Estabilización de suelos	16
3.2.1.1 Estabilización	22
3.2.2 Esquema de la ejecución de las estabilizaciones de suelos	23
3.2.3 Polímeros acrílicos en estabilización de suelos	24
3.2.4 Suelos cohesivos	25
3.2.4.1 Clasificación de suelos	25



3.2.5	Propiedades geotécnicas de suelos cohesivos	29
3.2.6	Aditivo estabilizador Z con polímeros	33
3.2.6.1	Aplicación	34
3.2.7	Efecto de los estabilizadores poliméricos en las propiedades geotécnicas	34
3.2.8	Capa de rodadura	35
3.2.9	Trabajos de laboratorio	35
3.3	Marco conceptual	36
CAPÍTULO IV		39
METODOLOGÍA		39
4.1	Tipo y nivel de investigación	39
4.1.1	Tipo de investigación	39
4.1.2	Nivel de investigación	39
4.2	Diseño de la investigación	40
4.3	Descripción ética de la investigación	41
4.4	Población y muestra	41
4.4.1	Población	41
4.4.2	Muestra	43
4.5	Procedimiento	44
4.6	Técnica e instrumentos	46
4.6.1	Técnica	46
4.6.2	Instrumentos	46
4.6.3	Índice de validez	47
4.7	Análisis estadístico	49
4.7.1	Estadística descriptiva	49
4.7.2	Estadística inferencial	49
CAPÍTULO V		53
RESULTADOS Y DISCUSIONES		53
5.1	Análisis de resultados	53
5.1.1	Resultados del objetivo general	53
5.1.2	Resultados del objetivo específico 1	59
5.1.3	Resultados del objetivo específico 2	65
5.2	Contrastación de hipótesis	68
5.2.1	Contrastación de hipótesis general	68
5.2.2	Contrastación de hipótesis específico 1	73
5.2.3	Contrastación de hipótesis específico 2	78
5.3	Discusión	82
CAPÍTULO VI		84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		84

6.1	Conclusiones	84
6.2	Recomendaciones	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS	91



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Matriz de consistencia de variables de la tesis: Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024	11
Tabla 2 — Requerimientos de cemento para una estabilización eficaz	18
Tabla 3 — Rango típico de resistencia a la compresión no confinada para mezclas suelo-cemento (10 % de cemento por peso)	18
Tabla 4 — Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador	21
Tabla 5 — Sistema de clasificación AASHTO: clasificación de materiales de carreteras subrasantes	28
Tabla 6 — Consistencia del suelo de acuerdo con el valor obtenido	33
Tabla 7 — Cuadro de ensayos de laboratorio	36
Tabla 8 — Puntos de muestreo y progresiva	43
Tabla 9 — Expertos de validación de los instrumentos de investigación	48
Tabla 10 — Valores de Alfa de Cronbach	48
Tabla 11 — Resultado del análisis granulométrico de las calicatas	55
Tabla 12 — Clasificación de suelo en los puntos de muestreo	57
Tabla 13 — Prueba de normalidad Shapiro Wilk	69
Tabla 14 — Prueba de homogeneidad de varianzas	69
Tabla 15 — Prueba de ANOVA para CBR y compresión no confinada	70
Tabla 16 — Prueba de múltiple post-hoc de Tukey	71
Tabla 17 — Prueba subconjuntos homogéneos de Tukey	72
Tabla 18 — Prueba de normalidad Shapiro Wilk	74
Tabla 19 — Prueba de homogeneidad de varianzas	75
Tabla 20 — Prueba de ANOVA de un factor para CBR	75
Tabla 21 — Prueba múltiple post-hoc de tukey	76
Tabla 22 — Prueba de subconjuntos homogéneos de Tukey para CBR	77
Tabla 23 — Prueba de normalidad Shapiro Wilk	78
Tabla 24 — Prueba de e homogeneidad de varianzas	79
Tabla 25 — Prueba de ANOVA de la resistencia a compresión no confinada	79



Tabla 26 — Comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey para resistencia a compresión no confinada	80
Tabla 27 — Prueba de subconjuntos homogéneos de Tukey para resistencia a compresión no confinada	80
Tabla 28 — Matriz de consistencia	92
Tabla 29 — Validación de instrumentos (Alfa de Cronbach)	93
Tabla 30 — Resultado de contenido de humedad de los puntos de muestreo	99
Tabla 31 — Resultado del análisis granulométrico de las calicatas de los puntos de muestreo	99
Tabla 32 — Porcentaje de finos, arena y grava de los puntos de muestreo	100
Tabla 33 — Resultado de límites de consistencia de las calicatas de los puntos de muestreo	100
Tabla 34 — Clasificación de AASHTO y SUCS por puntos de muestreo mediante calicatas de 1.50 m de profundidad	100
Tabla 35 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 1 (calicata 1)	101
Tabla 36 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 2 (calicata 2)	101
Tabla 37 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 3 (calicata 3)	102
Tabla 38 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 4 (calicata 4)	102
Tabla 39 — Cuadro comparativo resumen de resultados CBR sin la adición de estabilizador Z con polímeros acrílicos según los puntos de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605 en el tramo 0+000 km al 1 + 870 km, en el sector San Luis, Abancay	103
Tabla 40 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 1 (calicata1) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	104
Tabla 41 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 2 (calicata 2) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	105

Tabla 42 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 3 (calicata 3) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	106
Tabla 43 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 4 (calicata 4) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	107
Tabla 44 — Resumen de cuadro comparativo de resultados CBR al 95 % y 100 % de los puntos de muestreo con la adición de estabilizador Z con polímeros acrílicos de los suelos cohesivos con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	108
Tabla 45 — Resumen de resultados de Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) de los puntos de muestreo de muestra patrón de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay	108
Tabla 46 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) del punto de muestreo 1 (calicata 1) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	109
Tabla 47 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) del punto de muestreo 2 (calicata 2) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	109
Tabla 48 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) del punto de muestreo 3 (calicata 3) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	110
Tabla 49 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) del punto de muestreo 4 (calicata 4) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)	110
Tabla 50 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) del punto de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con adición del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3)	111
Tabla 51 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) del punto de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con adición del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:4)	112



Tabla 52 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm^2) del punto de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con adición del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:5)

113



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Estabilización de suelos	23
Figura 2 — Esquema de la ejecución de una estabilización por mezcla in situ	24
Figura 3 — Diagrama de flujo de nombres de los grupos de grava y arena del suelo	29
Figura 4 — Determinación del índice CBR	30
Figura 5 — Ensayo de compresión no confinada	33
Figura 6 — Carretera AP605, tramo 1 + 870 km de la capa de rodadura	42
Figura 7 — Sección transversal típica de la carretera AP 605 – no pavimentada	42
Figura 8 — Diagrama de procedimiento de la investigación	45
Figura 9 — Gráfico comparativo de los valores de contenido de humedad (%) y contenido de humedad óptima (%)	54
Figura 10 — Gráfico comparativo de los valores de porcentaje de finos, arena y grava	56
Figura 11 — Resultado de límites de consistencia de las calicatas	57
Figura 12 — Resultados CBR al 95 % y 100 % de los puntos de muestreo sin la adición de estabilizador Z con polímeros acrílicos según puntos de muestreo	58
Figura 13 — Resultados de CBR al 95 % y 100 % de los puntos de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (patrón, 1:3, 1:4 y 1:5)	58
Figura 14 — Gráfico comparativo de los valores promedio de CBR natural y CBR con estabilizador Z (1:3) al 95 % de la densidad máxima seca para cada calicata	59
Figura 15 — Gráfico comparativo de los valores promedio de CBR natural y CBR con estabilizador Z (1:4) al 95 % de la densidad máxima seca para cada calicata	60
Figura 16 — Gráfico comparativo de los valores promedio de CBR natural y CBR con estabilizador Z (1:5) al 95 % de la densidad máxima seca para cada calicata	60
Figura 17 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CBR natural y el CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en proporción de 1:3 para el estabilizado)	61
Figura 18 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CBR natural y el CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en este caso, con dosificación 1:4 para el estabilizado)	62

Figura 19 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CBR natural y el CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en este caso, con dosificación 1:5 para el estabilizado)	62
Figura 20 — Comparativa de CBR 95 % según dosificaciones del estabilizador Z y natural	63
Figura 21 — Comparativa de CBR 100 % según dosificaciones del estabilizador Z y natural	64
Figura 22 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CNC natural y el CNC con estabilizador Z con polímeros acrílicos para los distintos puntos de muestreo (la proporción 1:3)	66
Figura 23 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CNC natural y el CNC con estabilizador Z con polímeros acrílicos para los distintos puntos de muestreo (en proporción 1:4)	67
Figura 24 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CNC natural y el CNC con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en proporción 1:5)	67
Figura 25 — Validación de instrumento del experto N° 1	94
Figura 26 — Validación de instrumento del experto N° 2	95
Figura 27 — Validación de instrumento del experto N° 3	96
Figura 28 — Validación de instrumento del experto N° 4	97
Figura 29 — Validación de instrumento del experto N° 5	98
Figura 30 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de lente líquido, limite plástico e índice de plasticidad	114
Figura 31 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo	115
Figura 32 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1	116
Figura 33 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR natural	117
Figura 34 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3	118
Figura 35 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4	119
Figura 36 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5	120
Figura 37 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	121

Figura 38 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) en proporción 1:4 y 1:5 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	122
Figura 39 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de limte líquido, limite plástico e índice de plasticidad	123
Figura 40 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo	124
Figura 41 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2	125
Figura 42 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR natural	126
Figura 43 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3	127
Figura 44 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4	128
Figura 45 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5	129
Figura 46 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	130
Figura 47 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) en proporción 1:4 y 1:5 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	131
Figura 48 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de limte líquido, limite plástico e índice de plasticidad	132
Figura 49 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo	133
Figura 50 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3	134
Figura 51 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR natural	135
Figura 52 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3	136
Figura 53 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4	137
Figura 54 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5	138

Figura 55 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	139
Figura 56 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) en proporción 1:4 y 1:5 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	140
Figura 57 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de linde líquido, límite plástico e índice de plasticidad	141
Figura 58 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo	142
Figura 59 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4	143
Figura 60 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR natural	144
Figura 61 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3	145
Figura 62 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4	146
Figura 63 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5	147
Figura 64 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	148
Figura 65 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm ²) en proporción 1:4 y 1:5 con estabilizador Z con polímeros acrílicos	149
Figura 66 — Certificado de calibración de Prensa de CBR (parte 1)	150
Figura 67 — Certificado de calibración de Prensa de CBR (parte 2)	151
Figura 68 — Certificado de calibración de Prensa de CBR (parte 3)	152
Figura 69 — Certificado de calibración de horno (parte 1)	153
Figura 70 — Certificado de calibración de horno (parte 2)	154
Figura 71 — Certificado de calibración de horno (parte 3)	155
Figura 72 — Certificado de calibración de pesas abiertas para CBR	156
Figura 73 — Extracción de muestras de los puntos de muestreo para el estudio	157
Figura 74 — Realización de los ensayos de CBR para muestras de suelo natural como también para muestra con Estabilizador Z con polímeros acrílicos	157

Figura 75 — CBR de muestra natural preparados para la sumersión bajo el agua durante 96 horas	158
Figura 76 — Muestras de CBR llevas al horno antes de llevar al curado	158
Figura 77 — Medición de expansión deformímetro de las muestras de CBR sumergidos dentro de agua de la calicata 1	159
Figura 78 — Medición de expansión deformímetro de las muestras de CBR sumergidos dentro de agua de la calicata 4	159
Figura 79 — El pesado de los CBR retirados después de estar sumergidos bajo el agua	160
Figura 80 — Se realizó la rotura del CBR que permite identificar su resistencia máxima	160
Figura 81 — Finalizada la rotura de CBR se procede al pesaje de las muestras para determinar el contenido de humedad de la calicata 3	161
Figura 82 — Finalizada la rotura de CBR se procede al pesaje de las muestras para determinar el contenido de humedad de la calicata 4	161
Figura 83 — Muestras preparadas por calicata para los ensayos de compresión no confinada de suelos cohesivos	162
Figura 84 — Briquetas de suelo compactadas para el ensayo de compresión no confinada	162
Figura 85 — Briquetas de suelo compactadas del ensayo de compresión no confinada	163
Figura 86 — Se ejecutó la rotura de las briquetas para obtener la resistencia a compresión no confinada	163
Figura 87 — Antecedentes de la carretera AP 605, (parte 1)	164
Figura 88 — Antecedentes de la carretera AP 605, (parte 2)	165
Figura 89 — Antecedentes de la carretera AP 605, (parte 3)	166

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
CNC	compresión no confinada
IP	Índice de Plasticidad
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NTP	Norma Técnica Peruana
Qu	Resistencia a la compresión no confinada
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
α	Nivel de significancia / Coeficiente Alfa de Cronbach



INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de la ingeniería civil y, en particular, de la geotecnia, la estabilización de suelos constituye una práctica esencial orientada a optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los terrenos, siendo de especial importancia en el desarrollo de infraestructuras viales. En este sentido, la carretera AP605, ubicada en el distrito de Abancay, Apurímac, evidencias problemáticas específicas debido a la presencia de suelos cohesivos en la subrasante, condición que puede afectar tanto la estabilidad estructural como la vida útil de la vía.

Ante esta situación, la investigación sobre alternativas innovadoras de estabilización adquiere una relevancia significativa. El empleo de aditivos químicos, como el Estabilizador Z basado en polímeros acrílicos, se da una alternativa de solución técnica viable para mejorar el comportamiento geotécnico de estos suelos, (Onyejekwe y Ghataora, 2015).

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, aplicando diferentes dosificaciones del Estabilizador (1:3, 1:4 y 1:5) sobre muestras de suelo extraídas de cuatro calicatas distribuidas estratégicamente a lo largo del tramo analizado. Las propiedades evaluadas incluyeron la capacidad de soporte mediante el ensayo CBR, la resistencia a la compresión no confinada, así como parámetros complementarios como granulometría, límites de consistencia, densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadísticos paramétricos, incluyendo pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de varianza (ANOVA), con el propósito de garantizar la confiabilidad y validez de las conclusiones.

La presente investigación se estructura en seis capítulos que abordan de manera secuencial y coherente todos los aspectos de la investigación:

Capítulo I: Detalla el planteamiento del problema, tanto a nivel general como específico, justificando la necesidad del estudio.

Capítulo II: Se menciona los objetivos e hipótesis, así como la justificación y delimitación del proyecto.



Capítulo III: Se encierra en el marco teórico, en el que se incluyen antecedentes de estudios previos nacionales e internacionales junto con los conceptos y fundamentos teóricos relevantes.

Capítulo IV: Se refiere a la metodología aplicada, que comprende el tipo, nivel y diseño de investigación, la población, muestra y las técnicas e instrumentos empleados.

Capítulo V: Se da conocer los resultados obtenidos y la discusión, en el que se tiene el análisis de resultados, contratación de hipótesis.

Capítulo VI: Se concluye en las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio, orientadas a la aplicación práctica y a futuras líneas de investigación.



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac, 2024. El tipo de estudio es aplicado, nivel explicativo y diseño experimental. Se extrajeron de puntos de muestreo distribuidas en el tramo 1+870 km, mediante ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, clasificación de suelos (AASHTO y SUCS), ensayo Proctor modificado, CBR y resistencia a compresión no confinada. Evaluando tres proporciones del estabilizador Z (1:3, 1:4 y 1:5) comparadas con el suelo, resultados del suelo patrón presentaron valores de CBR al 95 % entre 3.17 % y 6.72 %, clasificándose como materiales de baja capacidad portante. La proporción 1:4 es la más efectiva, incrementando el CBR hasta 17.85 % (aumento de 221 %), y la resistencia a la compresión no confinada aumentó de 1.43 kg/cm² a 1.67 kg/cm² (incremento del 16.8 %). El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Se concluye el estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene un efecto en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos, la dosificación 1:4 la óptima para mejorar el CBR y resistencia a compresión no confinada, representando una alternativa técnica viable para la estabilización de capas de rodadura en carreteras no pavimentadas de la región; en cuanto a las porciones 1:3, 1:5 no tienen el efecto la capacidad portante y resistencia a compresión no confinada.

Palabras clave: *estabilizador Z, polímeros acrílicos, geotécnicas, suelos cohesivos, rodadura.*



ABSTRACT

The present research aims to determine the effect of the Z stabilizer with acrylic polymers on the geotechnical properties of cohesive soils in the wearing layer of the AP605 road, Abancay, Apurimac, 2024. The type of study is applied, explanatory level and experimental design. They were extracted from sampling points distributed in the 1+870 km section, by means of moisture content tests, particle size analysis, Atterberg limits, soil classification (AASHTO and SUCS), modified Proctor test, CBR and unconfined compressive strength. Evaluating three proportions of the Z stabilizer (1:3, 1:4 and 1:5) compared to the soil, results of the standard soil presented CBR values at 95 % between 3.17 % and 6.72 %, classifying them as materials with low bearing capacity. The 1:4 ratio is the most effective, increasing CBR to 17.85% (221 % increase), and unconfined compressive strength increased from 1.43 kg/cm² to 1.67 kg/cm² (16.8 % increase). Statistical analysis using ANOVA confirmed significant differences ($p < 0.05$) between treatments. It is concluded that the Z stabilizer with acrylic polymers has an effect on the geotechnical properties of cohesive soils, the 1:4 dosage is the optimal to improve CBR and unconfined compressive strength, representing a viable technical alternative for the stabilization of tread layers on unpaved roads in the region; As for the 1:3 portions, 1:5 do not have the effect of unconfined bearing capacity and compressive strength.

Keywords: *Z stabilizer, acrylic polymers, geotechnics, soil cohesive, rolling.*



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

A nivel internacional, los suelos cohesivos representan un desafío constante para la construcción y mantenimiento de infraestructura vial. Según el informe más reciente de la Confederação Nacional do Transporte CNT (2023), Brasil tiene aproximadamente 1,720,700 km de carreteras, de los cuales 213,453 km están pavimentados (12.4 %) y 1,507,247 km no están pavimentados (87.6 %). Deterioro acelerado según Silva (2022), aproximadamente el 65 % de las carreteras brasileñas con suelos cohesivos en la capa de rodadura presentan deterioro prematuro, lo que resulta en costos de mantenimiento anuales en Brasil cuesta en promedio R\$ 15,000 a R\$ 25,000 por kilómetro por año, dependiendo de las condiciones del suelo y el clima según Associação Brasileira de Cimento Portland (2023); en cuanto a su baja capacidad de soporte Oliveira y Santos (2021) reportaron que el 40 % de las carreteras evaluadas en su estudio mostraron valores de CBR (California Bearing Ratio) inferiores al 6 % en suelos cohesivos no tratados, lo que indica una capacidad de soporte insuficiente, el 70 % de los suelos cohesivos analizados en carreteras brasileñas mostraron un aumento de volumen superior al 5 % cuando se expusieron a condiciones de alta humedad, lo que afecta la estabilidad de la capa de rodadura, en su expansión los suelos cohesivos expansivos en Brasil pueden presentar un potencial de expansión de 5-15 % sin tratamiento. Con la aplicación de estabilizadores, este valor puede reducirse a menos del 2 % Lima (2020), nos indica también las carreteras no pavimentadas tratadas con estabilizadores pueden aumentar su vida útil en un 50 - 100 % en comparación con las no tratadas, dependiendo de las condiciones locales y el tráfico.

En el Perú, algunos suelos tienen una capacidad de soporte (CBR) y una resistencia al corte significativamente bajas. Estos suelos no pueden soportar cargas pesadas, por lo que, para superar estos problemas, el suelo debe estabilizarse según Ninanya (2021), en la selva peruana las carreteras con capas de rodadura de suelos cohesivos no estabilizados presentan un deterioro hasta 3 veces más rápido que en otras regiones del país, debido a las intensas lluvias, vida útil promedio en Perú es de apenas 6 años, en comparación con



los 12 años para pavimentos adecuadamente estabilizados, estimaron que los costos de mantenimiento de carreteras con suelos cohesivos no estabilizados en Perú son aproximadamente un 40 % más altos en un período de 5 años, en comparación con carreteras donde se han aplicado estabilizadores. Así mismo en la actualidad cuando se desea ejecutar proyectos viales es común que a lo largo del tramo de la carretera, se encuentren con una variedad de suelos los cuales muchas veces son inadecuados para utilizarlo ya que las propiedades de estos suelos no son viables para la estabilidad adecuada. Para evaluar su estabilidad se determina la expansión, consolidación, límite líquido, límite plástico, índice plástico, CBR, resistencia al corte, entre otros.

Uno de los mayores problemas a tratar en una obra de construcción es la calidad del suelo. Se ha evidenciado que, durante las obras viales quedó claro que suelos con baja resistencia y reacción al agua pueden provocar aterrizajes o colapsos bruscos de la estructura en algunos sectores. Estos daños suelen ser causados por las características geológicas del paisaje y las actividades humanas, sin considerar que están directamente relacionados con las propiedades del suelo natural (Ramos y Lozano, 2019).

Estudios realizados en diversas zonas del país han mostrado resultados prometedores. Por ejemplo, un proyecto piloto “Mejoramiento de la Carretera Desvío Vilquechico – Coasiaen” la región de Puno, realizado en 2021, reportó un aumento del 150 % en la resistencia a la compresión no confinada y una reducción del 40 % en el índice de plasticidad en suelos arcillosos tratados con estos estabilizadores. En la región de Ucayali, un estudio de 2022 en la carretera Campo Verde - Nueva Requena, en la provincia de coronel Portillo, mostró una mejora del 70 % en el CBR (California Bearing Ratio) después de la aplicación del estabilizador Z. Sin embargo, la efectividad varía según las condiciones locales, y se necesitan más investigaciones a largo plazo para evaluar la durabilidad y el rendimiento en diferentes condiciones climáticas peruanas.

Aproximadamente el 55 % de las carreteras en la región Apurímac, donde se encuentra Abancay, muestran signos de deterioro prematuro debido a la inestabilidad de suelos cohesivos, En su investigación Chávez Ramírez (2022) reportaron que el CBR promedio en suelos cohesivos no tratados en carreteras de la región Apurímac es de 4.8 %, lo cual está por debajo del mínimo recomendado de 6 % para capas de rodadura, Abancay presentan un potencial de expansión promedio del 7.2 % bajo condiciones de alta humedad, costos anuales de mantenimiento son aproximadamente un 40 % más altos que



en carreteras donde se han aplicado estabilizadores; según datos de la Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de Apurímac, aproximadamente el 20 % de los accidentes en carreteras de la región, incluyendo la carretera AP605, están relacionados con problemas en la superficie de rodadura, incluyendo aquellos causados por la inestabilidad de suelos cohesivos.

El tramo de 1 + 870 km de la carretera AP. 605 ciudad de Abancay con una vida útil de 2 años, ubicado en la urbanización Fonavi que según el reporte complementario N° 570-27/12/2017/COEN-INDECI de fecha 11 de diciembre de 2017 se produjo afectación de viviendas y vías a consecuencia de la reptación del suelo. Así mismo las condiciones de servicio de este tramo se encuentran en un mal estado de conservación, presentando hundimientos, baches y deformaciones. Afectando la fluidez vehicular.

Por todo lo expuesto se plantea la necesidad de hacer una evaluación del efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas en los suelos cohesivos de la capa de rodadura de la carretera AP 605 de la ciudad de Abancay, ya que presenta un acelerado deterioro. Así mismo esta evaluación se hace con el propósito de plantear una alternativa de solución para mejorar las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, utilizando métodos más eficientes, duraderos y ambientalmente sostenibles. El estabilizador Z con polímeros acrílicos se presenta como una alternativa prometedora, pero su efectividad y comportamiento en las condiciones específicas de Abancay no han sido suficientemente estudiados.

El vacío científico (o la brecha de conocimiento) se centra en la falta de estudios empíricos específicos que evalúen el uso del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las condiciones particulares de los suelos de la carretera AP605 en Abancay, Apurímac, a continuación, se detalla el vacío científico principal la ausencia de Evidencia Específica Local, si bien existen antecedentes relacionados con el uso de polímeros acrílicos y otros estabilizantes químicos en suelos cohesivos a nivel general, y algunos estudios previos con el estabilizador Z en la región de Apurímac (como en la carretera AP-103), no hay estudios previos específicos que analicen la efectividad y el comportamiento de este aditivo en las condiciones geotécnicas particulares de la capa de rodadura de la carretera AP605 y el aporte a la investigación de la tesis busca generar evidencia empírica directa en un contexto geográfico y de suelo no estudiado previamente con esta solución.



1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas en los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac –2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos a la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac?
- ¿Cuál es el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac?

1.2.3 Justificación de la investigación

La presencia de suelos cohesivos en la carretera AP605, ubicada en el sector San Luis, Abancay, constituye un reto permanente para la construcción y conservación de la capa de rodadura, presentan propiedades geotécnicas desfavorables como baja capacidad portante, inestabilidad y susceptibilidad a la erosión ocasionan fallas recurrentes que generan elevados costos de intervención y mantenimiento para las autoridades competentes. Frente a esta problemática, se hace imprescindible evaluar alternativas de estabilización más eficientes y sostenibles, entre ellas, la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos, orientada a mejorar las propiedades de los suelos cohesivos y a garantizar la durabilidad y seguridad de la vía.

El estudio del efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos sobre las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos adquiere gran relevancia, ya que puede ofrecer soluciones innovadoras para la estabilización de este tipo de materiales en proyectos viales. En caso de que los resultados confirmen mejoras significativas en parámetros como la capacidad de soporte, la resistencia a la erosión y la estabilidad volumétrica, su implementación en la carretera AP605 y en otras vías con características similares podría contribuir a reducir

sustancialmente los costos de mantenimiento, al mismo tiempo que se optimiza la calidad y seguridad de la capa de rodadura.

Si bien se dispone de antecedentes relacionados con el uso de polímeros acrílicos y otros estabilizantes químicos en suelos cohesivos, la investigación orientada específicamente al análisis del estabilizador Z en las condiciones particulares de la carretera AP605 en el sector San Luis, Abancay, Apurímac, representa un aporte novedoso y original. La ausencia de estudios previos en la región sobre esta temática otorga al presente proyecto un valor adicional al generar evidencia empírica sobre el desempeño de este aditivo en un contexto local.

El aporte científico de la investigación radica en obtener conocimiento acerca del comportamiento y eficacia del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la mejora de las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos, con énfasis en su aplicación en la capa de rodadura de la carretera AP605. Los resultados obtenidos, sustentados en un proceso metodológico riguroso, podrán servir como referencia técnica para la implementación de estabilizadores similares en futuras obras viales que enfrenten problemáticas análogas, tanto a nivel regional como nacional.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas en los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605 en el distrito de Abancay, Apurímac, 2024.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.

- Determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, ciudad de Abancay, Apurímac, 2024.

2.2.2 Hipótesis específicas

- El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.

- El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.



2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Matriz de consistencia de variables de la tesis: Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Independiente Estabilizador Z con polímeros acrílicos	El estabilizador Z con polímeros acrílicos es un compuesto químico diseñado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos cohesivos. Está compuesto por polímeros acrílicos que interactúan con las partículas del suelo para modificar su comportamiento (Mousavi et al., 2014).	Se medirá en proporciones de estabilizador Z añadido al suelo cohesivo, típicamente en rangos de muestra de control, 1:3, 1:4 y 1:5 en proporciones a la cantidad de agua. La aplicación se realizará mediante mezcla mecánica en laboratorio, siguiendo las especificaciones del fabricante.	Adición de Estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción a la cantidad de agua	Aplicación en la muestra Adición de 1:3 Adición de 1:4 Adición de 1:5	Ficha de registro de datos
Dependiente Propiedades geotécnicas suelos cohesivos	Las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos son aquellas características físicas y mecánicas que describen su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y ambientales. Estas propiedades incluyen la capacidad de soporte (CBR) y la resistencia a compresión no confinada, la plasticidad, entre otras. Son fundamentales para entender y predecir el comportamiento del suelo en aplicaciones de ingeniería civil (Mitchell y Soga 2005).	Las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos se determinan mediante una serie de ensayos de laboratorio y de campo estandarizados. Estos incluyen, pero no se limitan a, ensayos de clasificación, ensayos de resistencia como la compresión no confinada y el ensayo triaxial, ensayos de compactación como el Proctor, ensayos de capacidad de soporte (CBR), y ensayos de consolidación. Los resultados de estos ensayos se utilizan para cuantificar y caracterizar el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga y ambientales (Das y Sobhan, 2014).	Capacidad de soporte (CBR)	- Clasificación de suelos - Compactación - Densidad - Humedad - Expansión	Ficha de registro de datos
			Resistencia a compresión no confinada	- Carga axial - Área	Ficha de registro de datos

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Internacional

- a) El estudio desarrollado por Yamaguchi, Tanaka y Watanabe (2023), publicado en *Japanese Geotechnical Journal*, analizó el efecto de los polímeros acrílicos sobre la resistencia a la compresión de suelos cohesivos empleados en capas de rodadura en Japón. El propósito central fue determinar cómo influye la incorporación de dichos polímeros en el comportamiento mecánico de estos suelos. La investigación se extendió a lo largo de 60 km de carreteras urbanas y consideró 120 ensayos de laboratorio. Basándose en modelos de comportamiento de suelos tratados con polímeros, se aplicó un diseño experimental con pruebas de compresión no confinada bajo diferentes dosificaciones. Los resultados evidenciaron un incremento del 55 % en la resistencia a la compresión con una dosificación óptima del 3 % de polímero. A partir de estos hallazgos, los autores concluyeron que los polímeros acrílicos representan una alternativa altamente efectiva para reforzar la resistencia a la compresión en suelos cohesivos de capas de rodadura.
- b) Por su parte, Johnson y Smith (2022), en un artículo publicado en el *International Journal of Geotechnical Engineering*, evaluaron la influencia de estabilizadores poliméricos acrílicos en suelos cohesivos de carreteras rurales en Estados Unidos. El objetivo principal consistió en analizar los efectos de dichos estabilizadores sobre la capacidad de soporte y la plasticidad del suelo. El estudio abarcó 100 km de carreteras rurales y contempló 200 muestras sometidas a análisis. Fundamentado en teorías de estabilización química y en el comportamiento de polímeros en medios granulares, el diseño metodológico adoptó un enfoque de pre-test y post-test mediante ensayos de CBR (California Bearing Ratio) y determinación de límites de Atterberg. Los resultados mostraron un aumento del 40 % en el CBR y una reducción del 25 % en el índice de plasticidad, concluyendo



que los estabilizadores poliméricos acrílicos son eficaces para mejorar las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en carreteras rurales.

- c) De igual manera, García López y Rodríguez Pérez (2021), en la Revista Iberoamericana de Geotecnia, llevaron a cabo un estudio orientado a evaluar el rendimiento a largo plazo de estabilizadores acrílicos en suelos arcillosos utilizados en carreteras de España. El propósito fue determinar la durabilidad y la eficacia del tratamiento con polímeros tras cinco años de aplicación. El proyecto comprendió 50 km de vías intervenidas, con 100 puntos de muestreo para análisis. Basado en teorías de envejecimiento de polímeros y mecánica de suelos, se aplicó un diseño longitudinal con ensayos periódicos de CBR, permeabilidad y resistencia al corte. Los resultados demostraron que, después de cinco años, se conservaba el 80 % de la mejora inicial en CBR y el 70 % en la reducción de la permeabilidad. En consecuencia, los autores concluyeron que los estabilizadores acrílicos constituyen una alternativa de gran durabilidad en suelos arcillosos, especialmente en proyectos viales de largo plazo.
- d) Finalmente, Serrano Rodríguez (2019) desarrolló una investigación en Bogotá, Colombia, sobre la incorporación de materiales poliméricos reciclados en suelos de subrasante. El objetivo fue recopilar y analizar estudios sobre la modificación de las propiedades mecánicas mediante la adición de fibras naturales y sintéticas, estableciendo fundamentos teóricos para su aplicación en construcción. El estudio incluyó tres grupos de pruebas: muestras reforzadas con diferentes contenidos de fibra (0,5 %, 0,75 %, 1 % y 1,25 %); muestras estabilizadas con cemento en tres proporciones (5 %, 8 % y 10 %); y finalmente, mezclas de suelo-cemento reforzadas con fibra bajo las mismas dosificaciones. Los resultados indicaron que aproximadamente el 65 % de los estudios se centraron en la resistencia a la compresión, un 30 % en el comportamiento a la tracción con fibras poliméricas y el 5 % restante en propiedades como la fatiga y la resistencia a tensión axial. La investigación concluyó que la resistencia a la compresión aumenta significativamente en función del material y su proporción: se requiere un 9 % de cemento para lograr eficiencia óptima, y en combinación con fibras (0,75 %), un 10 % de cemento puede incrementar la resistencia hasta un 35 %. Además, se identificó que fibras de 24 mm de longitud resultan más adecuadas. Paralelamente, Vargas Quispe reportó resultados significativos utilizando fibras de 40 mm en



proporciones de 0,50 % y 0,75 %, con incrementos de hasta un 28 % en el CBR respecto al suelo sin tratamiento.

- e) Según Ramírez Triviño (2018), en su investigación titulada Evaluación CBR de sub-base granular mezclada con tereftalato de polietileno (PET) para uso en vías terciarias, se planteó en Pereira, España, analizar la influencia de la adición de tereftalato de polietileno en materiales granulares de sub-base destinados a carreteras terciarias. El propósito fue determinar cómo el PET, al incorporarse al material granular, contribuye a la disipación de cargas vehiculares y, simultáneamente, fomenta el aprovechamiento de residuos plásticos reciclados en la mejora de capas de sub-base. El estudio se desarrolló con áridos de baja calidad, con el fin de evaluar el desempeño en condiciones adversas. Se realizaron ensayos de Proctor y CBR, comparando el comportamiento del material natural frente al material modificado con PET. Para el análisis se utilizaron tres muestras, considerando teorías sobre esfuerzos en materiales, comportamiento mecánico y resiliencia de agregados granulares, dentro de un enfoque de investigación experimental. La metodología incluyó la variación de porcentajes de PET incorporado en la sub-base seleccionada, procurando que esta cumpliera con los parámetros de CBR establecidos por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Los resultados demostraron que la mezcla de PET con material granular incrementó en 1,5 % el valor de resistencia, lo cual representa aproximadamente un 30 % de mejora en comparación con el material natural. Se identificó, además, que el porcentaje de cemento requerido para alcanzar la resistencia necesaria resultó superior al usado en mezclas de suelo-cemento convencionales. El autor concluyó que las alternativas de mejoramiento no deben limitarse a la incorporación de aditivos procesados, sino también contemplar técnicas innovadoras y materiales de menor costo, capaces de optimizar el comportamiento del material granular. Asimismo, recomendó que, dado el objetivo del estudio maximizar el contenido de PET sin incumplir los parámetros normativos del INVIAS, la adición de este material reciclado debe mantenerse por debajo del 1,5 % respecto al peso del agregado granular, en caso de requerirse un aumento del CBR. Finalmente, destacó la importancia de innovar mediante técnicas experimentales que permitan reutilizar residuos como el PET, cuyo creciente volumen está generando impactos ambientales negativos debido a las limitaciones de los sistemas de procesamiento actuales.



3.1.2 Nacional

En el campo de la estabilización de suelos para carreteras, diversos estudios han demostrado la efectividad de aditivos químicos y reciclados. Donde, Torres Vásquez y Mendoza Cáceres (2023) evaluaron el impacto de polímeros acrílicos en suelos cohesivos en carreteras de la selva peruana, abarcando 40 km en Loreto. Mediante ensayos de erosión por chorro de agua y mediciones de pérdida de suelo, concluyeron que el uso de polímeros redujo en un 60 % la tasa de erosión y aumentó en 45 % la cohesión del suelo, evidenciando su efectividad en climas tropicales.

De manera complementaria, Quispe Mamani y Huamán Cruz (2022) analizaron la estabilización con polímeros acrílicos en la región altiplánica de Puno, empleando 100 especímenes de suelo en carreteras rurales. A partir de ensayos de CBR, límites de Atterberg y resistencia a la compresión, demostraron un aumento del 35 % en CBR, una reducción del 20 % en índice de plasticidad y un incremento del 40 % en resistencia a la compresión, confirmando la utilidad de estos polímeros en condiciones de alta altitud.

En la costa peruana, García Ramírez y López Sánchez (2021) evaluaron estabilizadores acrílicos en suelos arcillosos de Lima. Mediante pruebas de CBR y deflectometría en 60 secciones de prueba, hallaron un incremento del 50 % en el CBR y una reducción del 30 % en deflexiones, demostrando la alta efectividad de los estabilizadores acrílicos en ambientes costeros.

Por otro lado, existen investigaciones que abordan alternativas con aditivos tradicionales como la cal. Angulo Roldán (2021) analizó la estabilización de suelos arcillosos en Iquitos, determinando que tanto la cal viva como la hidratada permiten reducir plasticidad y mejorar la capacidad de soporte en sectores con pavimentos deteriorados. Similarmente, Ramos Mamani (2020) trabajó con suelos arcillosos en Puno, donde al adicionar 5 % de cal se obtuvo un incremento del CBR natural de 4.40 % hasta 13.01 %, lo que representa una mejora del 295.68 % en la capacidad de soporte, cumpliendo con lo exigido por la normativa MTC. Estos antecedentes permiten evidenciar que la estabilización de suelos mediante polímeros acrílicos constituye una alternativa moderna y eficaz, capaz de adaptarse a distintas condiciones geográficas del Perú (selva, sierra y costa), mientras que la cal sigue siendo un método tradicional con resultados efectivos en suelos arcillosos



expansivos. La comparación entre ambos enfoques aporta bases sólidas para justificar nuevas investigaciones orientadas a mejorar la capacidad portante, la resistencia a la erosión y la durabilidad de las capas de rodadura en carreteras no pavimentadas.

3.1.3 Local

Visayda Condori y Zayda Huamaní (2018), en su tesis titulada Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento del valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera departamental AP-103, tramo puente Ullpuhuaycco – Karkatera (L= 14.050 km), Abancay – Apurímac, plantearon que el afirmado de la vía presentaba deficiencias que afectaban su capacidad de soporte y durabilidad, ya que el suelo natural no cumplía con los estándares necesarios para resistir las cargas vehiculares. El objetivo de su investigación fue determinar si la aplicación del estabilizador Z con polímero sintético incrementaba el valor del CBR del material utilizado como afirmado. La metodología fue de tipo aplicada con diseño experimental, comparando muestras tratadas y no tratadas, mediante ensayos de Proctor modificado y capacidad de soporte CBR bajo la Norma MTC. Los resultados mostraron mejoras notables: en la muestra patrón al 95 % el CBR fue de 12.55 %, mientras que con polímero aumentó a 13.09 %. Para la muestra patrón al 100 % el CBR fue de 15.44 %, incrementándose a 18.57 % con la adición de polímero. Asimismo, se observó un incremento en la curva esfuerzo-penetración: para 0.1 pulg. de penetración el suelo patrón registró 9.88 kg/cm² frente a 10.54 kg/cm² con polímero, y para 0.2 pulg. de penetración el suelo patrón fue 12.82 kg/cm² frente a 14.08 kg/cm² con polímero.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Estabilización de suelos

El uso de suelos presentes en la propia obra para rellenos de terraplenes, coronaciones y fondos de desmonte representa una alternativa recomendable desde el punto de vista medioambiental y económico, especialmente en proyectos de infraestructura de transporte como carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos. En estas aplicaciones, donde las exigencias de calidad son mayores debido a la proximidad con las cargas de tráfico, se requiere el empleo de productos y técnicas que permitan facilitar la puesta en obra de los suelos, reducir su sensibilidad al agua y aumentar su resistencia a la deformación bajo cargas (IECA, 2018). Para estos fines, los



conglomerantes más utilizados son los cementos con adiciones y las cales aéreas, que pueden emplearse en polvo o en forma de lechada. Estos se mezclan con el suelo, generalmente in situ, y posteriormente se someten a un proceso de compactación y curado. Si bien también pueden aplicarse ligantes bituminosos y productos químicos, su uso es menos frecuente debido principalmente a su mayor coste (IECA, 2018).

De acuerdo con Fundamentos de ingeniería geotécnica Braja M. (2015), el proceso de mejoramiento del suelo, comúnmente denominado estabilización del suelo, consiste en modificar las propiedades de ingeniería de un suelo, ya sea in situ o bajo condiciones controladas, con el fin de mejorar su comportamiento y reducir los costos asociados a la construcción. Las técnicas de estabilización pueden clasificarse en dos grandes categorías:

- a) **Estabilización mecánica:** basada en la modificación física del suelo a través de procesos como compactación, mezcla granulométrica o refuerzo con fibras.
- b) **Estabilización química:** que implica la incorporación de aditivos como cal, cemento, polímeros o productos químicos que alteran la estructura y propiedades del suelo.

Según el MTC (2014), la estabilización química implica la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos, que interactúan con el suelo para modificar sus propiedades. Los principales agentes estabilizadores químicos incluyen:

- **Estabilización con cemento**

El cemento es otro de los materiales más empleados en la estabilización de suelos, sobre todo en proyectos de construcción de carreteras y presas de tierra. Su aplicación controlada inició en Estados Unidos en 1935, específicamente en Johnsonville, Carolina del Sur de Fundamentos de ingeniería geotécnica (Braja M., 2015).

Este aditivo resulta eficaz tanto en suelos arenosos como en suelos arcillosos, pues contribuye a reducir el límite líquido, aumentar el índice de plasticidad y mejorar la trabajabilidad del material. Según Fundamentos de ingeniería geotécnica Braja M. (2015), la estabilización con cemento presenta mayor



efectividad en suelos arcillosos con límite líquido inferior a 45 – 50 y un índice de plasticidad menor a 25, condiciones consideradas óptimas para alcanzar resultados satisfactorios en función de la cantidad de cemento incorporado.

Tabla 2 — Requerimientos de cemento para una estabilización eficaz

Suelo según el sistema de clasificación unificado	Porcentaje de cemento por volumen
GP, SR, SW	6-10
CL, ML, MH	8-12
CL, CH	10-14
FUENTE: Braja M, 2015, pág. 269	

Tabla 3 — Rango típico de resistencia a la compresión no confinada para mezclas suelo-cemento (10 % de cemento por peso)

Suelo	Resistencia a la compresión no confinada q_u (kN/m ²)
Arena Grava Arena-arcilla bien clasificada Grava-arena-arcilla	3500-11 000
Arena limosa Arena arcillosa	1700-3500
Arcilla limosa	700-1700
Arcilla, suelo orgánico	<350-400
FUENTE: Braja M, 2015, pág. 269	

- **Estabilización con cal en campo**

La aplicación de cal en suelos puede realizarse de diferentes maneras:

- Mezcla in situ: el suelo natural o el extraído se mezcla con la cantidad adecuada de cal y humedad, para luego compactarse directamente en el sitio.
- Mezcla en planta: el suelo se combina con cal y agua en una planta de procesamiento, y posteriormente se transporta al lugar de compactación.



- Inyección de lechada de cal: consiste en introducir la lechada a presión en el suelo a profundidades de 4 a 5 metros, utilizando varillas de inyección montadas en un mástil hidráulico. La lechada se prepara generalmente en tanques de gran capacidad y se bombea a alta presión, siendo común una proporción de 1,13 kg de cal seca por cada galón de agua.

De acuerdo con Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Braja M. (2015), la adición de cal hidratada en suelos arcillosos produce un aumento inmediato del límite plástico, lo que transforma el suelo de un estado plástico a uno más sólido, mejorando su manipulabilidad y reduciendo problemas en zonas de difícil tránsito o terrenos fangosos. Asimismo, la cal viva ha mostrado efectividad en la estabilización de sub-bases y taludes mediante su aplicación en perforaciones dispuestas en forma de rejilla.

En este sentido, uno de los efectos más relevantes de la cal es la modificación de la plasticidad del suelo. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2014, p. 97), en suelos de baja plasticidad ($IP < 15$) se observa un aumento en los límites líquido y plástico, con una ligera variación del índice de plasticidad (IP). Por el contrario, en suelos de plasticidad media y alta ($IP > 15$), el IP tiende a disminuir, lo cual favorece el comportamiento mecánico del material.

- **Estabilización con ceniza volante**

Las cenizas volantes constituyen un subproducto generado en el proceso de combustión del carbón pulverizado en centrales termoeléctricas. Están compuestas principalmente por sílice, alúmina, óxidos metálicos y álcalis, lo que les confiere propiedades puzolánicas capaces de reaccionar con la cal hidratada para formar compuestos cementantes Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M., 2015).

En la estabilización de bases y sub-bases para carreteras, se utilizan mezclas que combinan entre 10 – 35 % de cenizas volantes con 2 – 10 % de cal, las cuales se compactan con la humedad óptima para garantizar capas de suelo



más resistentes y duraderas. Estas reacciones químicas generan productos de hidratación que mejoran la capacidad de soporte, reducen la plasticidad y aumentan la resistencia a la deformación de los suelos. Particularmente, las cenizas volantes de Tipo C, comunes en el oeste de Estados Unidos, presentan hasta un 25 % de cal libre, lo que en muchos casos elimina la necesidad de añadir cal adicional. En presencia de agua, esta cal libre reacciona con los compuestos de la ceniza, produciendo materiales cementantes que consolidan el suelo y aumentan su capacidad estructural, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M., 2015).

Por otro lado, el MTC (2014) señala que la estabilización del suelo, en sentido amplio, comprende tanto la mejora de las propiedades físicas mediante acciones mecánicas, como la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Así, dependiendo de las características del terreno, es posible aplicar metodologías de estabilización como suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto, entre otras variantes que combinan procesos mecánicos con tratamientos químicos.



Tabla 4 — Guía referencial para la selección del tipo de estabilizador

Área	Clase del suelo	Tipo de estabilizador recomendado		Restricción en LL y IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal-Cemento Cenizas volantes	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento Cenizas volantes	IP no excede de 25		
Área	Clase del suelo	Tipo de estabilizador recomendado		Restricción en LL y IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 C	SM o SC o S M - SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30 % en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45 % en peso de material que pasa la Malla N°4
		(3)	Cal	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM o GP-GM o GW-GC o GP-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45 % en peso de material que pasa la Malla N°4
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento Cenizas volantes	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM-GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No debe exceder el 30 % en peso	Solamente material bien graduado
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45 % en peso de material que pasa la Malla N°4
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento Cenizas volantes	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML-CL	(1)	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		
IP = índice plástico (b) $IP_{20} + (50 - \text{porcentaje que pasa la malla } N^{\circ}200) / 4$				Sin restricción u observación No es necesario aditivo estabilizador		Fuente: US Army Corps of Engineers
FUENTE: MTC, 2014, pág. 92						



3.2.1.1 Estabilización

La capacidad portante de los materiales que conforman las capas de subrasante y afirmado, evaluada generalmente mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio), debe ajustarse rigurosamente a los valores establecidos en el diseño vial, no admitiéndose valores inferiores (MTC, 2008). En los casos en que los suelos disponibles no cumplen con las características mínimas requeridas, se recurre a la estabilización del suelo, cuyo propósito fundamental es mejorar su resistencia, durabilidad e insensibilidad al agua.

Este proceso permite aprovechar suelos con condiciones marginales, que en estado natural no serían aptos para su uso, en la conformación de la subrasante o de las capas inferiores de la rodadura. Del mismo modo, posibilita la utilización de suelos granulares que, a pesar de poseer características aceptables, presentan deficiencias en su estabilidad al reflejar valores de CBR inferiores al mínimo requerido para emplearse como afirmado.

De acuerdo con la literatura técnica, la estabilización de suelos puede abordarse mediante dos enfoques principales:

- Estabilización granulométrica o mecánica: consiste en la mezcla de dos o más suelos con propiedades distintas, con el objetivo de obtener un material mejorado en términos de granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad.
- Estabilización con aditivos: se basa en la incorporación de materiales que modifican las propiedades del suelo a través de efectos físicos o químicos, con el fin de alcanzar los parámetros estructurales exigidos en el diseño vial.





FUENTE: Peruconstruye.net, 2017

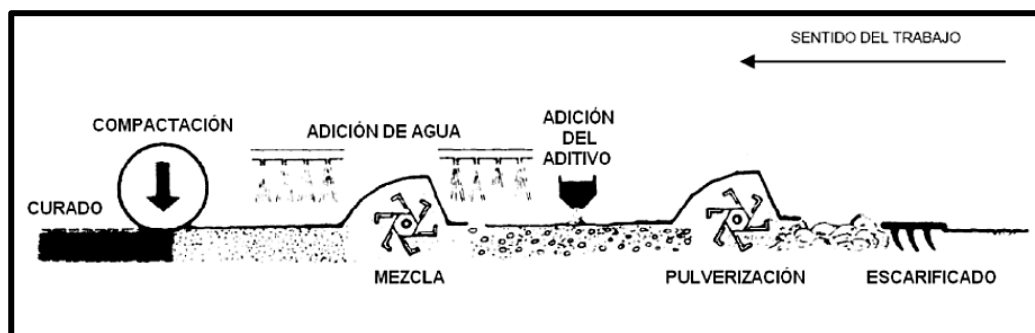
Figura 1 — Estabilización de suelos

3.2.2 Esquema de la ejecución de las estabilizaciones de suelos

El proceso de estabilización de suelos requiere que el material a tratar sea previamente escarificado y pulverizado antes de proceder a la mezcla. Esta operación, realizada generalmente in situ, implica la aplicación uniforme del aditivo y el agua sobre el suelo. La homogeneización del material puede efectuarse mediante el uso de motoniveladoras, realizando las pasadas necesarias hasta obtener una mezcla íntima; alternativamente, en obras de menor escala, es posible recurrir a la distribución manual o al empleo de maquinaria agrícola.

Una vez lograda la distribución uniforme, se procede a la compactación del suelo a su contenido óptimo de humedad. La elección del equipo de compactación constituye un factor clave en términos de eficiencia y rendimiento. Para suelos finos con cierto grado de cohesión se recomienda el uso de rodillos de pata de cabra o neumáticos; en cambio, los suelos granulares se compactan de manera más efectiva con rodillos vibratorios, lisos o de neumáticos. La compactación debe ejecutarse de manera enérgica hasta alcanzar las densidades especificadas en el diseño, que en la práctica no deben ser inferiores al 95 % o 100 % del Proctor modificado. Posteriormente, se lleva a cabo el curado del material, etapa indispensable para que el suelo tratado adquiera sus propiedades mecánicas definitivas. Finalmente, la colocación de capas superiores o la habilitación al tráfico solo será posible una vez que el material estabilizado haya alcanzado la resistencia requerida (MTC, 2008).





FUENTE: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, MTC, 2008, pág. 161

Figura 2 — Esquema de la ejecución de una estabilización por mezcla in situ

3.2.3 Polímeros acrílicos en estabilización de suelos

Los polímeros acrílicos han emergido en las últimas décadas como una alternativa innovadora y eficaz para la estabilización de suelos cohesivos en ingeniería geotécnica. Según Castro Fresno (2011), estos compuestos sintéticos, cuya estructura macromolecular deriva del ácido acrílico, presentan una elevada capacidad de interacción a nivel molecular con las partículas finas del suelo. Al incorporarse, los polímeros acrílicos forman enlaces estables que configuran una matriz tridimensional, lo que se traduce en una mejora significativa de las propiedades mecánicas de los suelos tratados.

Los principales beneficios de su aplicación incluyen:

- Incremento de la resistencia al corte.
- Reducción de la permeabilidad.
- Mayor estabilidad volumétrica, incluso frente a cambios en el contenido de humedad.

No obstante, la eficacia del tratamiento depende de diversos factores, tales como la concentración y tipo de polímero utilizado, las características mineralógicas del suelo y las condiciones ambientales durante la aplicación y el proceso de curado. En conjunto, la evidencia científica respalda que los polímeros acrílicos representan una alternativa prometedora a los métodos tradicionales de estabilización,

particularmente en proyectos que requieren soluciones rápidas, duraderas y sostenibles en suelos cohesivos.

3.2.4 Suelos cohesivos

Los suelos cohesivos se caracterizan por la atracción mutua de sus partículas, originada en fuerzas de naturaleza electroquímica. Presentan alta plasticidad y baja permeabilidad, condiciones que los hacen especialmente susceptibles a variaciones volumétricas frente a cambios en el contenido de humedad. Según Das (2015), “los suelos cohesivos contienen una proporción significativa de partículas finas, como limos y arcillas, que les confieren plasticidad y cohesión”.

3.2.4.1 Clasificación de suelos

La clasificación de suelos permite agrupar materiales con propiedades y comportamientos similares, facilitando así su análisis y aplicación en proyectos de ingeniería. Estos sistemas constituyen un lenguaje técnico común que resume las características esenciales de un suelo sin necesidad de una descripción exhaustiva.

En ingeniería geotécnica se emplean principalmente dos sistemas de clasificación:

- Sistema AASHTO (American Association of State Highway Officials): ampliamente utilizado por departamentos de carreteras estatales y locales, orientado a la evaluación de suelos para fines viales.
- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS): de uso frecuente por ingenieros geotécnicos debido a su enfoque más general y detallado.

Ambos métodos combinan la distribución granulométrica y los límites de plasticidad como parámetros fundamentales para identificar el comportamiento de los suelos. En este capítulo se abordará el procedimiento de clasificación utilizando tanto el sistema AASHTO como

el SUCS, siguiendo lo planteado por Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M., 2015).

a) Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO fue desarrollado originalmente en 1929 por la Administración de Carreteras de los Estados Unidos, con el propósito de proporcionar un criterio práctico para la evaluación de suelos empleados en la construcción de carreteras. Posteriormente, el sistema fue sometido a diversas revisiones, hasta llegar a la versión vigente propuesta en 1945 por la Comisión de Clasificación de Materiales para los Tipos de Carreteras, Subrasantes y Materiales Granulares de la Junta de Investigación de Carreteras. Su procedimiento actual se encuentra estandarizado en la Norma ASTM D3282 y en el método AASHTO M145.

Este sistema clasifica los suelos en siete grupos principales (A-1 a A-7), basándose en la granulometría (proporción de partículas retenidas en los tamices N.º 10, 40 y 200) y en los límites de consistencia (límite líquido e índice de plasticidad). Además, dentro de los grupos A-1, A-2 y A-7 se incluyen subgrupos que permiten una clasificación más precisa.

El sistema AASHTO emplea también un índice de grupo (IG), el cual se calcula a partir de los resultados de los límites de plasticidad y la fracción fina del suelo. Dicho índice cuantifica la calidad relativa del suelo como material de subrasante, siendo 0 el mejor valor (material excelente) y 20 el peor (material deficiente).

En términos generales:

- Los grupos A-1, A-2 y A-3 corresponden a suelos granulares, adecuados para la construcción de capas de afirmado o subrasante.
- Los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 representan a los suelos finos, que incluyen limos y arcillas de comportamiento menos favorable para las estructuras viales.

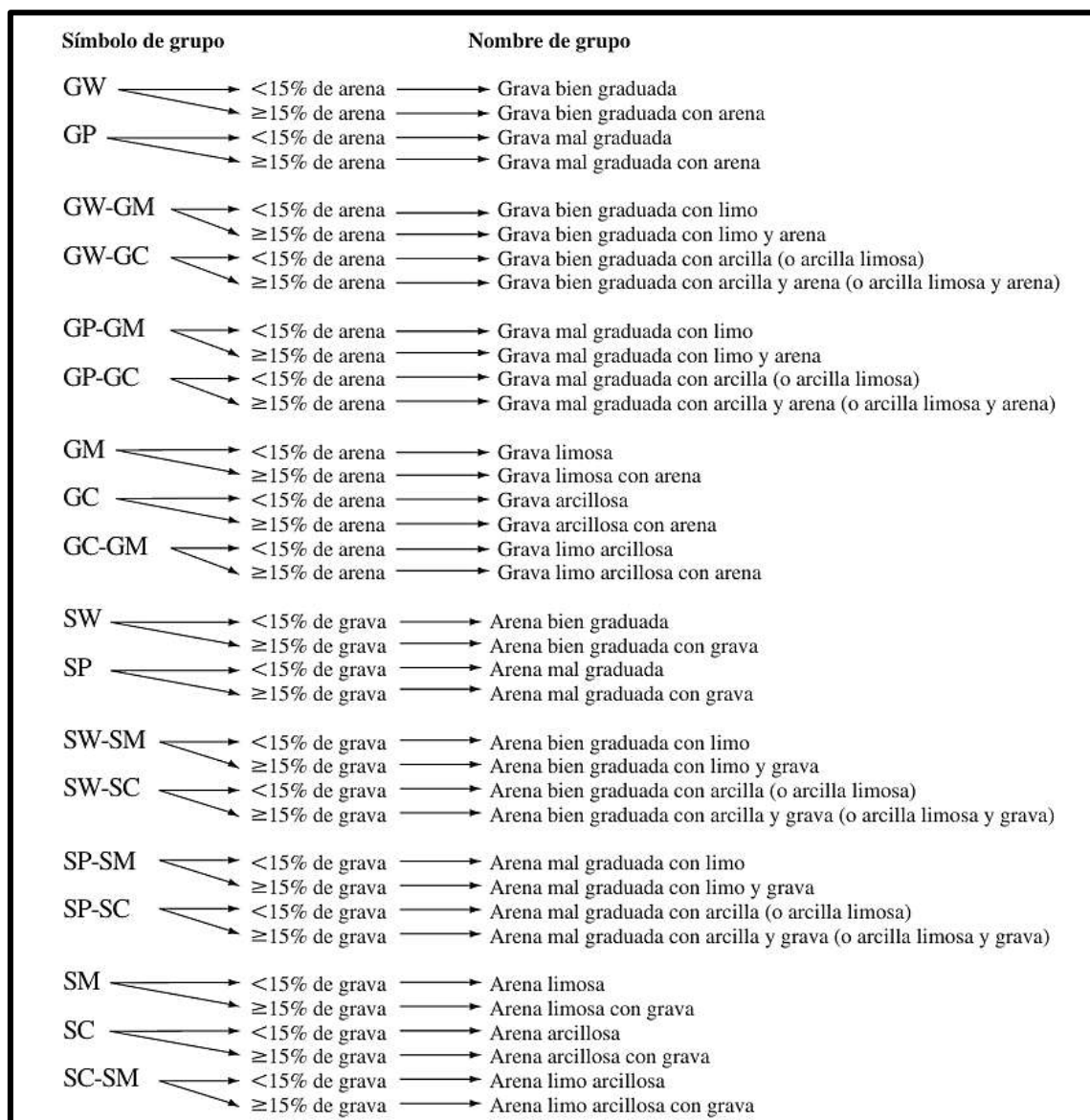


Este sistema es ampliamente utilizado en el ámbito vial debido a su simplicidad, practicidad y enfoque directo hacia el desempeño de los suelos como subrasantes.



Tabla 5 — Sistema de clasificación AASHTO: clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación general	Materiales granulares (35 % o menos del total de la muestra pasada por el N° 200)							Materiales granulares (35 % o menos del total de la muestra pasada por el N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis Granulométrico % que pasa por el tamiz: N° 10 N° 40 N° 200	Max. 50											
	Max. 30	Max. 50	Min. 51									
	Max. 15	Max. 25	Max. 10	Max. 35	Max. 35	Max. 35	Max. 35	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36
Características de la fracción de paso núm. 40 Límite líquido Índice de plasticidad												
				Max. 40	Min. 41	Max. 40	Min. 41	Max. 40	Min. 41	Max. 40	Min. 41	Min. 41
	Max. 6	Max. 6	NP	Max. 10	Max. 10	Min. 11	Min. 11	Max. 10	Max. 10	Min. 11	Min. 11 ^(a)	Min. 11 ^(b)
Tipos comunes de materiales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arenas limosas o arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	Excelente a bueno						Regular a malo					
* ^(a) Para A-7-5, PI ≤ LL- 30 * ^(b) Para A-7-6, PI > LL- 30												
FUENTE: Braja M, 2015, pág. 79												



FUENTE: Braja M, 2015, pág. 85

Figura 3 — Diagrama de flujo de nombres de los grupos de grava y arena del suelo

3.2.5 Propiedades geotécnicas de suelos cohesivos

a) Capacidad de soporte

La capacidad portante de los suelos cohesivos es un parámetro fundamental en el diseño y construcción de carreteras, ya que determina su comportamiento estructural frente a cargas de tráfico. Según Bañón Blázquez (2000), el indicador más utilizado para evaluar esta propiedad es el índice CBR (California Bearing Ratio), desarrollado inicialmente en el estado de California.

El ensayo CBR consiste en medir la resistencia a la penetración de una muestra de suelo compactada a la humedad óptima determinada mediante el ensayo Proctor. La prueba se realiza aplicando una presión creciente a través de un

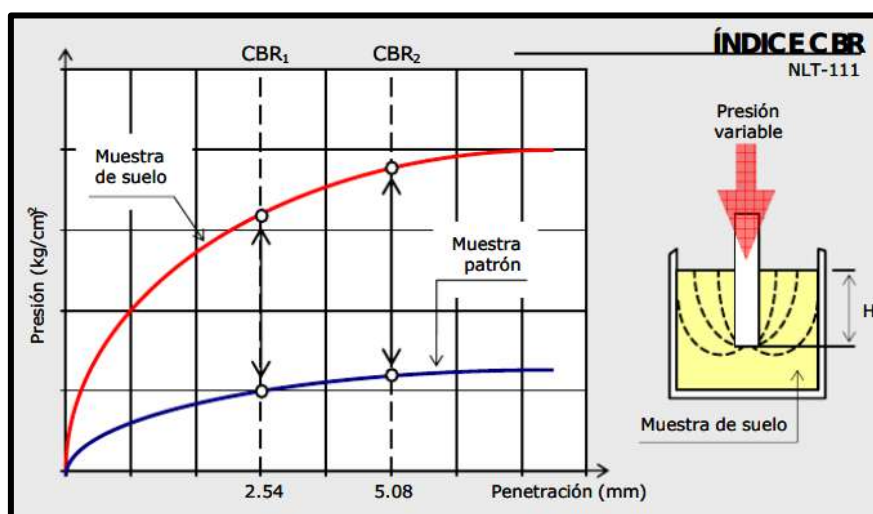
pistón de sección anular, utilizando una velocidad de penetración normalizada de 1,27 mm/min. El resultado se expresa como la relación entre la presión necesaria para alcanzar una profundidad determinada en la muestra de suelo analizada y la presión requerida para lograr la misma penetración en una muestra patrón de grava triturada, expresada en porcentaje.

Asimismo, en suelos arcillosos o con alto contenido de finos se evalúa el esponjamiento, fenómeno que se determina sometiendo la muestra a un proceso de inmersión durante cuatro días bajo una sobrecarga equivalente a la prevista en condiciones de servicio de la carretera. Para este ensayo se realizan dos lecturas (inicial y final), con el fin de cuantificar la expansión volumétrica inducida por la absorción de agua.

El índice CBR, complementado con la medición del esponjamiento, constituye una herramienta esencial para determinar la idoneidad de un suelo cohesivo como material de subrasante o de afirmado, así como para definir la necesidad de procesos de estabilización.

$$CBR = \frac{\text{Presión en muestra problema}}{\text{presión en muestra patrón}} \times 100 \quad (1)$$

El índice CBR del suelo será el mayor de los dos obtenidos



FUENTE: Bañon Blazquez, y otros, 2000

Figura 4 — Determinación del índice CBR



b) Plasticidad

La plasticidad se define como la capacidad de un suelo para deformarse de manera permanente sin llegar a romperse. Esta propiedad se evalúa a través de los límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), los cuales permiten identificar la consistencia y el comportamiento de los suelos cohesivos frente a variaciones en su contenido de humedad. El índice de plasticidad es particularmente relevante para clasificar suelos con fines de ingeniería, ya que valores altos suelen asociarse a problemas de expansividad y contracción, afectando la estabilidad de las estructuras viales.

c) Resistencia al corte

La resistencia al corte constituye una de las propiedades mecánicas más importantes de los suelos cohesivos, pues determina su capacidad para mantenerse estable frente a esfuerzos de corte inducidos por cargas externas o condiciones geotécnicas. Según *An Introduction to Geotechnical Engineering* (Braja M. et al., 2018), esta propiedad es esencial en la evaluación de la estabilidad de taludes y en la capacidad portante de cimentaciones y capas de pavimento.

- **Resistencia a la compresión no confinada (q_u)**

La resistencia a la compresión no confinada es definida como la capacidad de un suelo cohesivo para soportar cargas aplicadas en dirección axial sin ningún tipo de confinamiento lateral. En el contexto de carreteras, esta propiedad resulta fundamental para determinar la capacidad de soporte de la subrasante y otras capas conformadas por suelos cohesivos.

El ensayo de compresión simple se realiza aplicando carga axial a una probeta cilíndrica o prismática de suelo hasta que se produce la falla, registrándose la carga máxima por unidad de área. Su propósito principal es proporcionar un valor rápido y aproximado de la resistencia a la compresión de suelos con suficiente cohesión para mantenerse íntegros en estado no confinado (NTP 339.167, 2002).

De acuerdo con la norma INV E-152-13, este ensayo es aplicable únicamente a suelos cohesivos que no expulsan agua durante la aplicación de la carga y que conserven su resistencia intrínseca tras la eliminación de



presiones de confinamiento, como ocurre con arcillas consistentes o suelos cementados. No es recomendable su aplicación en suelos secos y friables, materiales fisurados o estratificados, limos, turbas o arenas, ya que en estos casos no se obtienen valores representativos de la resistencia a la compresión no confinada.

- **Definiciones de términos de especímenes**

- **Resistencia a la compresión no confinada (q_u):**

Se define como la tensión mínima de compresión axial que provoca la falla de una muestra cilíndrica de suelo no confinado bajo condiciones normalizadas de ensayo. De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), la resistencia a la compresión no confinada se toma como:

La carga máxima por unidad de área alcanzada durante la prueba, o la carga por unidad de área correspondiente a una deformación axial del 15 %, lo que ocurra primero.

Este criterio asegura uniformidad en la determinación del parámetro, independientemente de las características particulares del suelo ensayado.

- **Resistencia al corte (s_u):**

Para los especímenes sometidos al ensayo de compresión no confinada, la resistencia al corte se determina como:

$$s_u = 0.5q_u \quad (2)$$

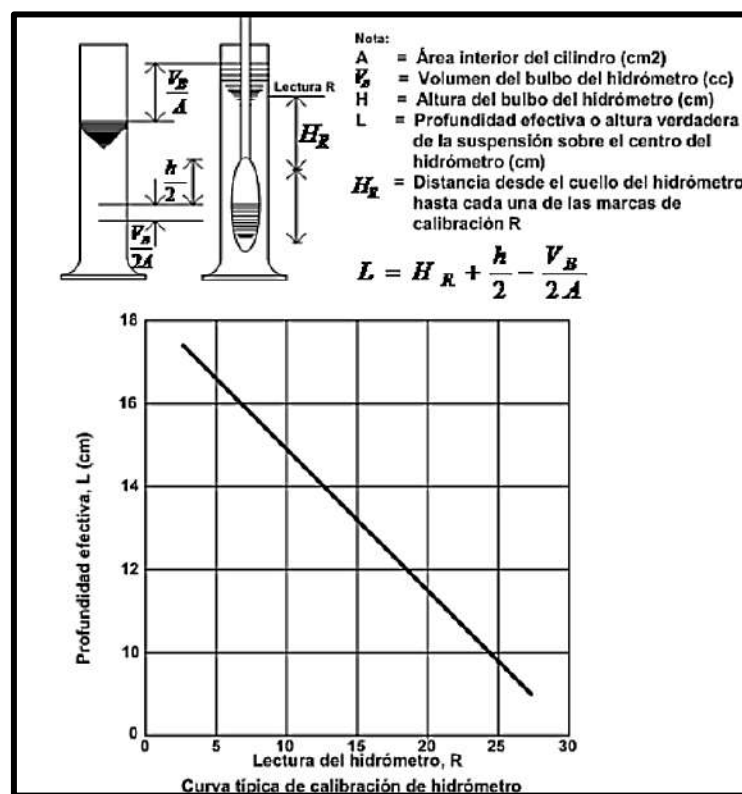
Según la norma NTP 339.167 (2002). Este valor representa la capacidad del suelo para resistir esfuerzos cortantes, derivada directamente de la resistencia a compresión no confinada, y constituye un parámetro fundamental en el diseño de cimentaciones, estabilidad de taludes y pavimentos sobre suelos cohesivos.



Tabla 6 — Consistencia del suelo de acuerdo con el valor obtenido

Consistencia del suelo	Resistencia a la compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kpa)
Muy blanda	< 0.25	< 25
Blanda	0.25 – 0.50	25-50
Mediana	0.50 – 1.00	50 - 100
Firme	1.00 – 2.00	100 – 200
Muy firme	2.00 – 4.00	200 – 400
Dura	> 4.00	> 400

FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, pág. 160



FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, pág. 153

Figura 5 — Ensayo de compresión no confinada

3.2.6 Aditivo estabilizador Z con polímeros

Según Z Aditivos (2022), el estabilizador en base a polímeros acrílicos se presenta como un producto líquido de color blanco, diseñado para cohesionar las partículas del suelo, permitiendo su utilización tanto en materiales de prestación como el afirmado, así como en suelos naturales. Este aditivo cumple con la norma MTC 1109 – 2004, lo que garantiza su idoneidad en aplicaciones de ingeniería vial.



Asimismo, el fabricante destaca que el empleo del estabilizador Z aporta múltiples beneficios, tales como: prolongar la vida útil de las vías no asfaltadas, disminuir los procesos de erosión durante la temporada de lluvias, y en épocas secas, mitigar los problemas de polución y contaminación ambiental.

3.2.6.1 Aplicación

De acuerdo con Z Aditivos (2022), el producto presenta una amplia versatilidad de uso, siendo aplicable en:

- La construcción de pavimentos rígidos y flexibles.
- La ejecución y mejoramiento de vías no asfaltadas y de suelos naturales.
- Aplicaciones superficiales como supresor de polvo.
- Espacios de tránsito o estacionamiento que no contemplen la colocación de losa de concreto ni de capa asfáltica.

3.2.7 Efecto de los estabilizadores poliméricos en las propiedades geotécnicas

Los estabilizadores poliméricos han mostrado un impacto relevante en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos. Según Naeini (2012), la incorporación de polímeros en suelos arcillosos produjo una mejora significativa en sus características mecánicas, evidenciada en un incremento de hasta el 130 % en la resistencia a la compresión no confinada (UCS) respecto al suelo sin tratamiento. Asimismo, se observó una reducción en el índice de plasticidad y un aumento del límite líquido, lo que refleja un mejor comportamiento en condiciones de carga y humedad. El estudio también señaló que la eficacia del estabilizador depende directamente de la dosificación aplicada y de las características mineralógicas del suelo. En consecuencia, los autores concluyeron que los polímeros constituyen una alternativa eficaz para la estabilización de suelos problemáticos, con aplicaciones potenciales en proyectos de ingeniería civil, tales como la construcción de carreteras y cimentaciones.



3.2.8 Capa de rodadura

La capa de rodadura sin pavimentar constituye una superficie de tránsito compuesta por material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito, requiriendo cantidades apropiadas de material fino cohesivo que permitan mantener aglutinadas las partículas (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2016). Este tipo de superficie funciona como capa de rodadura en caminos y carreteras no pavimentadas donde las condiciones de circulación dependen significativamente de factores climáticos y sistemas de drenaje eficientes. Lambe y Whitman: mecánica de suelos (1981) señalan que el terreno sirve de cimentación para soportar estructuras y el suelo se emplea como material de construcción en diversas aplicaciones, la conformación adecuada de estas capas mediante compactación controlada resulta esencial para garantizar su capacidad estructural y durabilidad ante las sollicitaciones del tráfico vehicular y las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestas.

3.2.9 Trabajos de laboratorio

De acuerdo con las recomendaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del MTC (2014), los trabajos de laboratorio constituyen una etapa fundamental para la evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos y materiales de cantera. Las muestras disturbadas obtenidas en las exploraciones geotécnicas serán sometidas a una serie de ensayos normalizados, cuyo objetivo es caracterizar el comportamiento del suelo bajo distintas condiciones de sollicitación, aportando información confiable para el diseño y la validación de las soluciones de estabilización propuestas.



Tabla 7 — Cuadro de ensayos de laboratorio

ENSAYO	USO	AASHTO	ASTM	PROPÓSITO
Análisis granulométrico por tamizado	clasificación	T88	D422	Determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo
Limite líquido	clasificación	T89	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados líquidos y plástico
Limite plástico	clasificación	T90	D4318	Hallar el contenido de agua entre los estados plástico y semisólido
Índice plástico >	clasificación	T90	D4318	Hallar el rango contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico
Equivalente de arena	Calidad agregada	T176	D2419	Determinación rápida de la cantidad de finos en los agregados
Abrasión (los Ángeles)	Calidad agregada	T96	C131 C535	Cuantificación de la dureza o resistencia al impacto de los agregados gruesos.
Proctor modificado	Diseño de espesores	T180	DI 557	Determinación del Optimo Contenido de Humedad y de la máxima densidad seca del material.
CBR	Diseño de espesores	T193	D1883	Determina la capacidad de soporte del suelo, el cual permite inferir el módulo resiliente del suelo
Compresión no confinada	Resistencia al corte de suelos cohesivos	T 208	D2166	Permite calcular la resistencia a la compresión no confinada (qu)

FUENTE: Manual de Ensayos de Materiales de Carreteras Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016

3.3 Marco conceptual

a) Suelos cohesivos

Los suelos cohesivos son aquellos cuyas partículas presentan una fuerte atracción mutua debido a fuerzas electroquímicas. Están constituidos principalmente por arcillas y limos, y se caracterizan por su alta capacidad de retención de agua, además de su tendencia a experimentar cambios volumétricos en función de las variaciones de humedad. Estas propiedades los convierten en suelos de comportamiento complejo en proyectos viales. Según Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Braja Das (2015), este tipo de suelos plantea desafíos importantes en la construcción de carreteras debido a su baja estabilidad y susceptibilidad a deformaciones.



b) Propiedades geotécnicas

Las principales propiedades geotécnicas que condicionan el comportamiento de los suelos cohesivos incluyen:

Resistencia al corte: fundamental para evaluar la estabilidad de taludes y la capacidad portante.

- Compresibilidad; refleja la deformación del suelo bajo carga.
- Permeabilidad; indica la facilidad con que el agua circula a través del suelo.
- Plasticidad; relacionada con la capacidad del suelo para deformarse sin romperse.

De acuerdo con Brown (2018), estas propiedades son determinantes para predecir la respuesta del suelo bajo cargas aplicadas en obras de infraestructura.

c) CBR (California Bearing Ratio)

El índice CBR es un parámetro ampliamente utilizado para medir la capacidad portante de los suelos y materiales granulares en proyectos viales. Se define como el valor relativo de soporte de un suelo, determinado por la penetración de un pistón en una muestra previamente compactada y comparada con una muestra patrón de grava triturada, (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2013).

d) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se evalúa mediante un ensayo en el cual una muestra cilíndrica de suelo se somete a cargas crecientes en una prensa hasta su rotura o falla estructural. Este ensayo proporciona información sobre la capacidad del suelo para soportar esfuerzos axiales, (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2013).

e) Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en aplicar técnicas que permiten mejorar o controlar la estabilidad volumétrica, aumentar la resistencia y rigidez (módulo esfuerzo-deformación), optimizar la permeabilidad y durabilidad y reducir la susceptibilidad al



agua. Su implementación requiere de ensayos de laboratorio y pruebas de campo para validar la eficacia de la técnica, (Yapes, 2014).

f) Estabilizador de suelo

Se define como un producto químico, natural o sintético que, por su acción directa o en combinación con el suelo, permite mejorar una o más de sus propiedades geotécnicas, optimizando su comportamiento en aplicaciones de ingeniería civil, (MTC, 2016).

g) Estabilizador Z con polímeros acrílicos

El estabilizador Z es un aditivo líquido formulado a base de polímeros acrílicos. Su acción se orienta a cohesionar las partículas del suelo, incrementando la resistencia y prolongando la vida útil de las vías no asfaltadas. De acuerdo con Smith y Johnson (2020), los polímeros acrílicos forman enlaces moleculares entre las partículas, mejorando la cohesión, reduciendo la erosión en épocas lluviosas y disminuyendo la generación de polvo en temporadas secas.

h) Polímeros acrílicos

Los polímeros acrílicos son materiales sintéticos derivados del ácido acrílico. Al aplicarse en suelos cohesivos, generan enlaces interparticulares que aumentan la cohesión y la resistencia mecánica del material tratado, constituyendo una alternativa innovadora frente a los métodos tradicionales de estabilización, (Smith y Johnson, 2020).

i) Carretera

Una carretera es una vía destinada al tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, diseñada con características geométricas definidas conforme a las normas técnicas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2013).

j) Capa de rodadura

La capa de rodadura sin pavimentar constituye una superficie de tránsito compuesta por material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito requiriendo cantidades apropiadas de material fino cohesivo que permitan mantener aglutinadas las partículas, (Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como aplicada, dado que utiliza conocimientos teóricos y científicos para resolver un problema específico en el campo de la ingeniería vial: la estabilización de suelos cohesivos mediante la incorporación del estabilizador Z con polímeros acrílicos.

De acuerdo con Vargas Cordero (2009), la investigación aplicada, también denominada práctica o empírica, se orienta hacia la utilización del conocimiento adquirido, al mismo tiempo que genera nuevos aprendizajes derivados de la sistematización de experiencias en contextos reales. En este estudio, la variable independiente corresponde al uso del estabilizador Z con polímeros acrílicos, mientras que las variables dependientes se relacionan con las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos. Su aplicación práctica está dirigida a mejorar el desempeño de la capa de rodadura de la carretera AP605, lo que resalta el carácter aplicado del trabajo.

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, pues busca establecer una relación de causa-efecto entre la aplicación del estabilizador polimérico y las variaciones observadas en las propiedades geotécnicas del suelo. Según Hernández Sampieri (2014), los estudios explicativos van más allá de la mera descripción de fenómenos, ya que se orientan a responder por las causas que los originan y las condiciones bajo las cuales se manifiestan. En esta misma línea, Borja Suárez (2012) señala que en ingeniería este tipo de investigación tiene como propósito identificar las razones que producen un fenómeno, mediante la comprobación de hipótesis causales de tercer grado. Asimismo, Arias (2016) enfatiza que este nivel de investigación constituye la fase más profunda del conocimiento científico, al centrarse en el establecimiento de relaciones causales y en la validación de hipótesis tanto post facto como



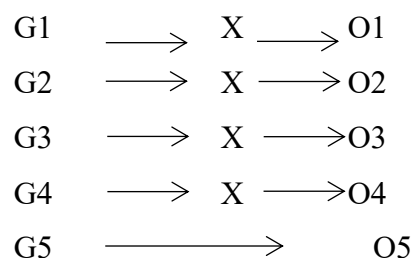
experimentales. En consecuencia, este trabajo es explicativo, ya que pretende determinar cómo la incorporación del estabilizador Z con polímeros acrílicos (causa) incide en la modificación de las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos (efecto).

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental según Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2014) definen el diseño experimental como "un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador" (p. 129). En este contexto, la variable independiente corresponde a la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos en tres dosificaciones diferentes (1:3, 1:4 y 1:5), mientras que las variables dependientes son las propiedades geotécnicas del suelo: capacidad de soporte (CBR) y resistencia a compresión no confinada.

En esta investigación se manipula la variable independiente (dosificación del estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporciones 1:3, 1:4 y 1:5) y se compara con un grupo control (suelo natural sin estabilizador), evaluando los cambios en las propiedades geotécnicas mediante mediciones antes y después del tratamiento.

El diseño se representa de la siguiente manera:



donde

G1, G2, G3, G4, Muestra de suelo.

G5 Muestra de suelo.

O_{1,2,3,4,5} Medición de un grupo de control.

O5 Medición de un grupo experimental.

X Tratamiento con "estabilizador Z con polímeros acrílicos" en proporciones de 1:3, 1:4 y 1:5



4.3 Descripción ética de la investigación

La presente investigación se desarrolló en concordancia con los principios éticos establecidos por la comunidad científica internacional para estudios en ingeniería geotécnica, se enmarca en las directrices de integridad académica promovidas por organizaciones como American Society for Testing and Materials (ASTM) y American Society of Civil Engineers ASCE (2020), las cuales establecen estándares rigurosos y reporta transparencia de resultados para la experimentación con materiales de construcción.

La investigación se desarrolló en estricto cumplimiento del marco normativo peruano para estudios técnicos en infraestructura vial, se siguieron las especificaciones del Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del MTC (2014), que constituyen una etapa fundamental para la evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos.

Para trabajos de campo se verifico la extracción de los puntos de muestreo y los resultados obtenidos en laboratorio mediante protocolos estandarizados, los datos fueron manejados con claridad, sin manipulación ni alteración, contribuyendo así al conocimiento técnico regional sobre estabilización de suelos cohesivos.

La investigación se redactó según el reglamento de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y los principios éticos universales de la investigación científica. Se garantizó la redacción intelectual mediante la citación apropiada de todas las fuentes consultadas, utilizando el sistema de referencias ISO 690 para asegurar el reconocimiento adecuado de los aportes previos de otros investigadores. Se mantuvo la objetividad en la recolección, análisis e interpretación de datos, evitando sesgos que pudieran comprometer la validez de los resultados. En esta investigación sobre el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en suelos cohesivos, se tomó en cuenta los principios éticos de contribuir al conocimiento y responsabilidad social, buscando aportar soluciones técnicamente viables y éticamente sustentables para el mejoramiento de la capa de rodadura de la carretera.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

Según Hernández et al. (2014, p. 174), la población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.



4.4.2 Muestra

Según Hernández (2014), en muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación. La selección de puntos de muestreo se justifica por:

- Representatividad de diferentes condiciones del suelo a lo largo del tramo.
- Accesibilidad para la extracción de muestras.
- Cumplimiento con los lineamientos del Manual de Carreteras (MTC, 2014) para estudios de suelos en proyectos viales.

La determinación del número de calicatas se sustenta en lo establecido en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección de Suelos y Pavimentos), considerando además la necesidad de obtener material suficiente para la ejecución de múltiples ensayos de laboratorio que aseguren la confiabilidad de los resultados.

La muestra fue seleccionada mediante muestreo no probabilístico por conveniencia y está conformada por 4 puntos de muestreo con calicatas de 1.50 m de profundidad distribuidas estratégicamente a lo largo del tramo de estudio (0+000 a 1+870 km de la carretera AP605), ubicadas en las progresivas:

Tabla 8 — Puntos de muestreo y progresiva

Calicata	Progresiva en km
Calicata 1	0+370
Calicata 2	0+690
Calicata 3	1+120
Calicata 4	1+580

La selección de los cuatro puntos de muestreo se estableció considerando criterios técnicos de representatividad espacial y accesibilidad operativa a lo largo del tramo de estudio (1+870 km de la carretera AP605). Según el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC (2014), la frecuencia mínima recomendada de exploración para estudios de suelos en carreteras no pavimentadas es de una calicata cada 500 metros en promedio, criterio que se cumple en esta investigación con calicatas ubicadas en las progresivas 0+370 km (Calicata 1), 0+690 km (Calicata 2), 1+120 km (Calicata 3) y 1+580 km (Calicata 4), logrando intervalos



aproximados de 320 a 460 metros. Esta distribución estratégica permite capturar la variabilidad geotécnica del suelo cohesivo a lo largo del tramo, abarcando sectores con distintas condiciones de drenaje, exposición y tránsito vehicular. Asimismo, la profundidad de 1.50 m establecida para cada calicata garantiza la extracción de material representativo de la capa de rodadura y la subrasante inmediata, asegurando volúmenes suficientes para la ejecución de múltiples ensayos (contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR y compresión no confinada) tanto en condiciones naturales como con las tres proporciones del estabilizador Z (1:3, 1:4 y 1:5) según la ficha técnica del estabilizador Z donde menciona la dosificación del producto es 1:4, a mi criterio personal deseo demostrar una proporción mayor y una proporción menor a la proporción 1:4, cumpliendo así con los requerimientos metodológicos del diseño experimental y con la normativa técnica vigente para estudios de estabilización de suelos en la capa de rodadura de la carretera.

4.5 Procedimiento

Consistió en: extracción de muestras de suelo de los 4 puntos de muestreo definidos en progresivas (0 + 370 km, 0 + 690 km, 1 + 120 km y 1 + 580 km); caracterización física completa (granulometría, límites de Atterberg, clasificación AASHTO/SUCS); ensayos mecánicos del suelo natural; Proctor modificado, CBR al 95 % y 100 %, y compresión no confinada; preparación de muestras con estabilizador Z con polímero acrílico en dosificaciones 1:3, 1:4 y 1:5, y ejecutando ensayos CBR (inmersión 96 h) y compresión no confinada bajo normas MTC/ASTM; y análisis estadístico. El procedimiento de esta manera fijando un orden, tal como se detalla a continuación:



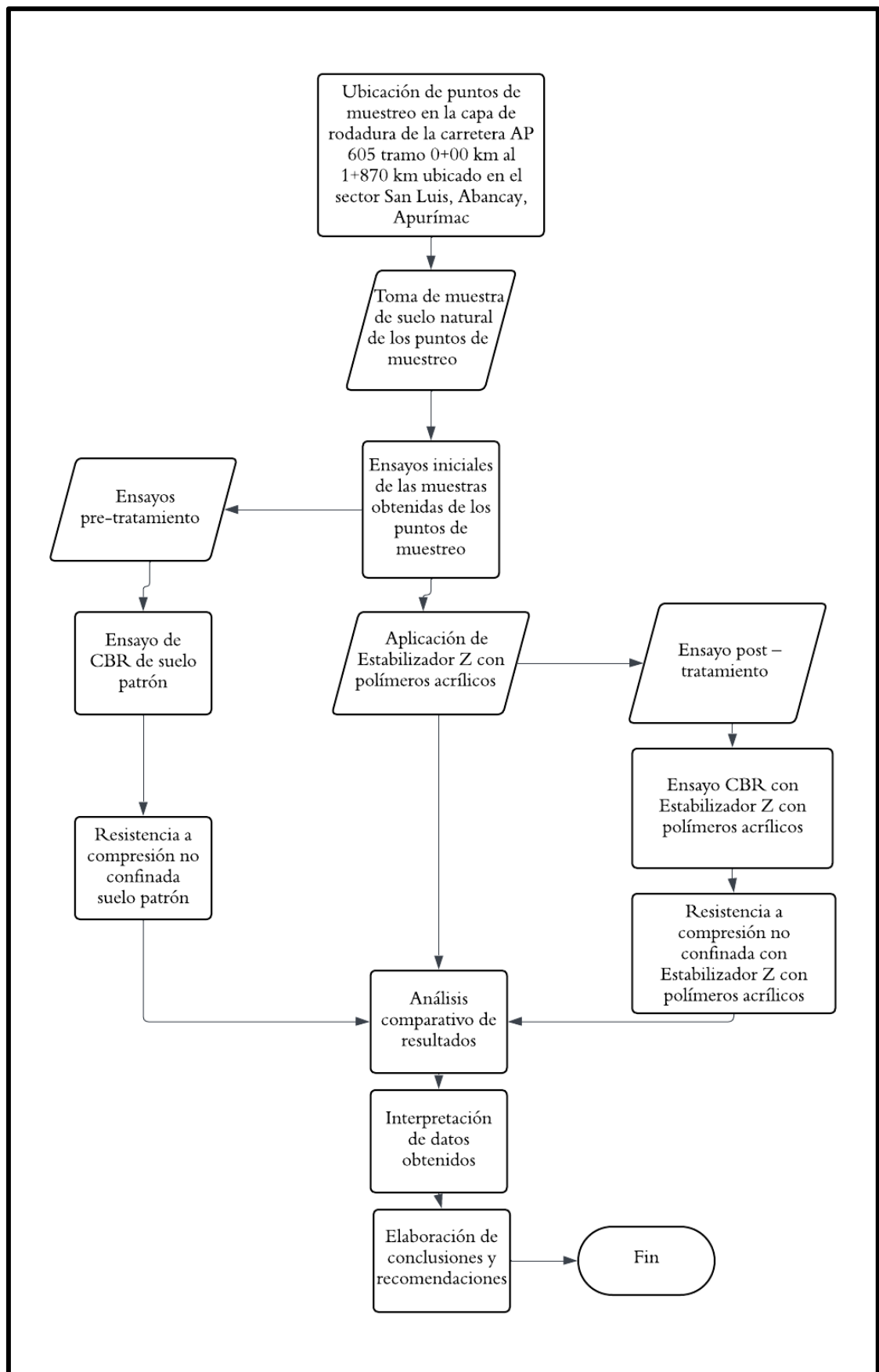


Figura 8 — Diagrama de procedimiento de la investigación

4.6 Técnica e instrumentos

4.6.1 Técnica

Según Arias (2016), Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.

Para este estudio, las técnicas principales son:

- Observación directa

Según Arias (2016) La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.

En el contexto del estudio, se aplicaría para observar el comportamiento del suelo durante los ensayos de laboratorio y en campo.

Según Tamayo y Tamayo (2003), la experimentación es una "técnica que consiste en provocar voluntariamente una situación que se quiere estudiar (variable independiente) para analizar los efectos que se producen (variable dependiente)".

En este estudio se emplearon dos técnicas fundamentales: la observación directa, definida como la técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista y la otra técnica se empleó la experimentación de laboratorio como técnica principal, mediante la cual se aplicaron diferentes dosificaciones del estabilizador Z (1:3, 1:4, 1:5) a muestras de suelo cohesivo bajo condiciones controladas, complementada con observación sistemática durante los ensayos para registrar los datos de cada ensayo.

4.6.2 Instrumentos

Arias (2016) define un instrumento de recolección de datos como "cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.

Para este estudio, los instrumentos principales serían:



a) **Fichas de registro de datos**

Según Robledo Mérida (2006), las fichas son instrumentos de investigación documental y de campo que permiten registrar los datos significativos de las fuentes consultadas.

Según Das (2015), los equipos de laboratorio geotécnico son "instrumentos diseñados para medir las propiedades físicas y mecánicas de los suelos bajo condiciones controladas".

Los instrumentos facilitaron para registrar los resultados de los ensayos de laboratorio y las observaciones de campo.

- **Instrumento N° 1** «Método de prueba de CBR “California Bearing Ratio” (relación de soporte de california) para suelos compactados en laboratorio».
- **Instrumento N° 2** «Ensayo de compresión no confinada (capacidad de un suelo cohesivo para soportar cargas aplicadas a una dirección axial) para muestras cilíndrica de suelo cohesivo».

4.6.3 Índice de validez

El índice de validez según Hernández Sampieri y Mendoza (2018) se refiere a la medida en que un instrumento o método de investigación mide con precisión lo que pretende medir. Es un indicador cuantitativo que expresa el grado de validez de una medición o estudio.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), la encuesta es definida como un "cuestionario de preguntas o ítems elaborados, estructurados para ser formulados por el encuestador frente al encuestado, quien brindará sus respuestas".

En este caso, el instrumento utilizado fue un cuestionario, el cual aplicó una escala de medición ordinal tipo Likert, compuesta por preguntas politómicas. Este cuestionario fue validado mediante el juicio de 5 expertos en las variables de estudio, lo que permitió evaluar la validez del contenido del instrumento.



Tabla 9 — Expertos de validación de los instrumentos de investigación

N°	Expertos	Especialista
1	Dr. Sc. Justo Juan Viza Astulli	Metodólogo de investigación
2	Dr. Edwar Ilasaca Cahuata	Ingeniero Estadístico
3	Mag. Rómulo Gómez Noblega	Ing. Civil
4	Mag. Edwin Meza Tintaya	Ing. Civil
5	Mag. Americo Huachaca Barazorda	Ing. Civil

NOTA
La fuente se obtiene a partir de validación de instrumentos que se tiene en los anexos

El coeficiente alfa de Cronbach es una de las medidas más utilizadas para evaluar la confiabilidad o consistencia interna de un instrumento. Este coeficiente se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_T^2} \right] \quad (3)$$

donde

k	Número de ítems
$\sum_{i=1}^k S_i^2$	Sumatoria de varianza de ítem
S_T^2	Varianza de la sumatoria de ítem
α	Coficiente alfa de Cronbach

El coeficiente alfa de Cronbach es una medida de la consistencia interna o confiabilidad de un instrumento de medición, este coeficiente puede variar entre 0 a 1, se considera que el rango de valores del coeficiente alfa de Cronbach es el siguiente:

Tabla 10 — Valores de Alfa de Cronbach

Valores de α	Interpretación
$\alpha > 0.9$	Excelente
$0.9 > \alpha \geq 0.7$	Bueno
$0.7 > \alpha \geq 0.6$	Aceptable
$0.6 > \alpha \geq 0.5$	Pobre
$0.5 \geq \alpha$	Inaceptable

FUENTE: George y Mallery, 2003

$\alpha = 0.79$, se encuentra dentro del rango de confiabilidad «bueno», el análisis de realizo con 5 encuestados especialistas donde están conformados por un estadístico, un metodólogo y tres ingenieros civiles.

4.7 Análisis estadístico

Diseño experimental factorial: Según Montgomery (2017) es el método que permite estudiar los efectos de dos o más factores en un experimento, evaluando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores.

Por lo tanto, se recomienda un diseño de experimentos factorial, que permita evaluar los efectos principales y las interacciones entre el estabilizador Z con polímeros acrílicos y las propiedades del suelo.

El análisis estadístico se desarrolló en dos niveles complementarios: descriptivo e inferencial, utilizando el software estadístico SPSS versión 26.0 y Microsoft Excel para el procesamiento y análisis de datos.

4.7.1 Estadística descriptiva

Nos indica Wackerly (2008) que es el método para resumir y presentar datos numéricos, incluyendo medidas de tendencia central y dispersión. Calcular medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación para las propiedades geotécnicas antes y después.

4.7.2 Estadística inferencial

La estadística inferencial permitió realizar generalizaciones sobre la población a partir de los datos muestrales, mediante pruebas de hipótesis que evalúan si las diferencias observadas son estadísticamente significativas o producto del azar (Devore, 2012).

- **Nivel de significancia**

La probabilidad de cometer un error tipo I, también llamada nivel de significancia, se denota con la letra griega α , (WALPOLE, y otros, 2012 pág. 323)

$$\alpha = 0.05 (5 \%) \quad (4)$$



Lo que equivale a un nivel de confianza del 95 %, criterio estándar en investigaciones de ingeniería civil según, (Montgomery, 2017).

- **Tipos de error en una prueba de hipótesis**

Con base en una regla de decisiones, se decide rechazar o no la hipótesis nula, pero sabemos que en estadística los resultados encontrados no son 100 % confiables puesto que siempre dependen de las condiciones aleatorias de la variabilidad del fenómeno en estudio. Por este motivo, al tomar una decisión con respecto a la validez de la hipótesis nula estamos propensos a cometer uno de los dos, errores que trataremos sean lo más pequeños posibles (Gutiérrez Gonzales, y otros, 2016, pág. 174).

- **Error tipo I** Rechazar la hipótesis nula (H_0) cuando en realidad es verdadera. Probabilidad = $\alpha = 0.05$.
- **Error tipo II** cuando no se rechaza la hipótesis nula, aunque en realidad es falsa.

- **Grados de libertad**

Representan el número de segmentos de información independientes útiles para calcular la variabilidad.

$$gl = n_1 + n_2 - 2 \quad (5)$$

donde

n_1, n_2 Tamaño de la muestra

- **Prueba de normalidad**

La prueba de normalidad es crucial para determinar si los datos siguen una distribución normal, lo cual es un supuesto importante para muchas pruebas estadísticas paramétricas Ghasemi (2012). Para su estudio, recomendamos utilizar la prueba de Shapiro-Wilk, que es especialmente adecuada para tamaños de muestra pequeños a medianos ($n < 50$).

En contraste con el intervalo de confianza, la validez de los intervalos de predicción y tolerancia descritos en esta sección están estrechamente vinculados a la suposición de normalidad:



- H_0 : Los datos presentan una distribución normal
- H_1 : Los datos NO presentan una distribución normal

El nivel de significancia se asume como el 5 % ($\alpha = 0.05$).

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk es aplicable cuando se analizan muestras compuestas por menos de 50.

- **Criterio de decisión**

- Si $p\text{-valor} \geq 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0 (los datos son normales, se aplican pruebas paramétricas).
- Si $p\text{-valor} < 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 (los datos no son normales, se aplican pruebas no paramétricas).

La normalidad de los datos es un supuesto importante para muchas pruebas estadísticas paramétricas, como el ANOVA, que se utilizara para comparar el efecto del estabilizador Z en diferentes concentraciones.

- **Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene**

Para verificar el supuesto de homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) entre grupos, requisito fundamental para la aplicación del ANOVA, se utilizó la prueba de Levene (Kutner et al., 2005).

- **Hipótesis estadísticas**

- H_0 : Las varianzas de los grupos son homogéneas ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$).
- H_1 : Al menos una varianza difiere de las demás.

- **Criterio de decisión**

- Si $p\text{-valor} \geq 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0 (varianzas homogéneas, se puede aplicar ANOVA).
- Si $p\text{-valor} < 0.05 \rightarrow$ Se rechaza H_0 (varianzas heterogéneas, se requieren ajustes o pruebas alternativas).



- **Análisis de varianza de un factor (ANOVA)**

Gutierrez Pulido y De la Vara Salazar (2012) definen ANOVA como "una técnica estadística que permite comparar varias medias en diversas situaciones; muy utilizada en la comparación de los tratamientos o niveles del factor de interés".

Montgomery (2022) indica que el análisis de varianza (ANOVA) es una técnica estadística paramétrica que permite comparar las medias de tres o más grupos simultáneamente, determinando si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. En esta investigación se aplicó ANOVA de un factor para comparar el efecto de las diferentes proporciones del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4, 1:5) y el suelo natural (patrón) sobre las propiedades geotécnicas evaluadas.

- **Prueba post-hoc de Tukey (HSD)**

Cuando el ANOVA detecta diferencias significativas, es necesario identificar específicamente cuáles grupos difieren entre sí. Para ello se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (Honestly Significant Difference - HSD), que controla el error tipo I en comparaciones simultáneas, (Montgomery, 2017).



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Resultados del objetivo general

El objetivo general de la presente investigación es determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos presentes en la capa de rodadura de la carretera AP605, en el distrito de Abancay, región Apurímac - 2024. Para ello, se realizaron ensayos de laboratorio sobre muestras de suelo cohesivo extraídas directamente de la capa de rodadura de dicho tramo carretero. Las propiedades geotécnicas evaluadas fueron:

- Contenido de humedad natural.
- Análisis granulométrico.
- Límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad).
- Clasificación de suelos.
- Densidad seca máxima y humedad óptima (ensayo Proctor).
- CBR (California Bearing Ratio).

Los resultados obtenidos permiten establecer comparaciones entre el comportamiento del suelo en su estado natural y aquel modificado mediante la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos, proporcionando evidencia técnica sobre su eficacia en la mejora de capas de rodadura de carreteras con suelos cohesivos.



La Tabla (29) de los anexos muestra los resultados del contenido de humedad natural de los puntos de muestreo que se aprecia en la parte de los anexos, se muestran mediante la siguiente figura (9)

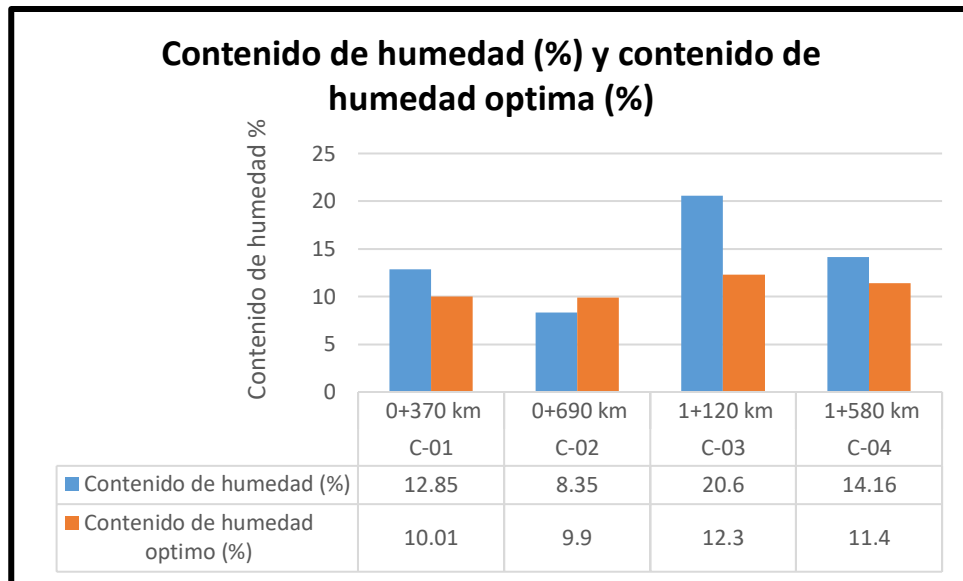


Figura 9 — Gráfico comparativo de los valores de contenido de humedad (%) y contenido de humedad optima (%)

En la figura (9) se muestra los resultados de los puntos de muestreo de las calicatas (Calicata 1, Calicata 3 y Calicata 4) presentan humedades naturales mayores a las óptimas, lo cual sugiere que el suelo tiende a estar en condiciones húmedas óptimas según (MTC, 2014) en varios tramos de la vía. Esto puede afectar negativamente en la compactación y la resistencia del material en la capa de rodadura si no se realiza un adecuado control de humedad durante el proceso constructivo.



Tabla 11 — Resultado del análisis granulométrico de las calicatas

Tamiz		Porcentaje que pasa (%)			
Pul.	Abertura (mm)	C-01	C-02	C-03	C-04
3"	76.2	100	100	100	100
2 1/2"	63.5	100	100	100	100
2"	50.8	100	100	100	100
1 1/2"	38.1	100	100	100	100
1"	25.4	100	93.2	100	100
3/4"	19	100	92.1	100	98.6
1/2"	12.7	98.5	90.6	99.3	94.3
3/8"	9.51	96.3	88.1	98.7	91.4
1/4"	6.35	93.7	84.2	96.9	87.7
Nº 4	4.76	91.0	79.9	95.9	84.9
Nº 10	2	80.6	58.0	90.3	75.8
Nº 20	0.84	67.9	35.6	82.5	65.1
Nº 30	0.59	65.8	30.4	79.7	61.8
Nº 40	0.42	59.5	25.0	75.3	53.5
Nº 60	0.25	52.3	20.3	70.7	48.9
Nº 100	0.149	49.1	16.2	65.2	43.7
Nº 200	0.074	42.5	11.2	58.3	36.2
FUENTE: Elaboración propia					

La Tabla (11) presenta los resultados del análisis granulométrico de las muestras de suelo obtenida, en la calicata C - 01, los valores de paso disminuyen gradualmente, alcanzando 42.5 % en el tamiz Nº 200, lo que muestra un contenido significativo de finos; la calicata C - 02 presenta la curva más abierta, con un 11.2 % de paso en el tamiz Nº 200, lo que evidencia un suelo más grueso, con menor cantidad de finos respecto a las otras muestras, pero menor plasticidad; en la calicata C - 03, se aprecia un mayor porcentaje de finos, llegando a 58.3 % en el tamiz Nº 200, lo que la convierte en la muestra con mayor proporción de material fino, característica de un suelo más cohesivo y con mayor susceptibilidad a la humedad y la calicata C - 04 muestra un comportamiento intermedio, con 36.2 % en el tamiz Nº 200, lo cual sugiere un balance entre fracción arenosa y fina.

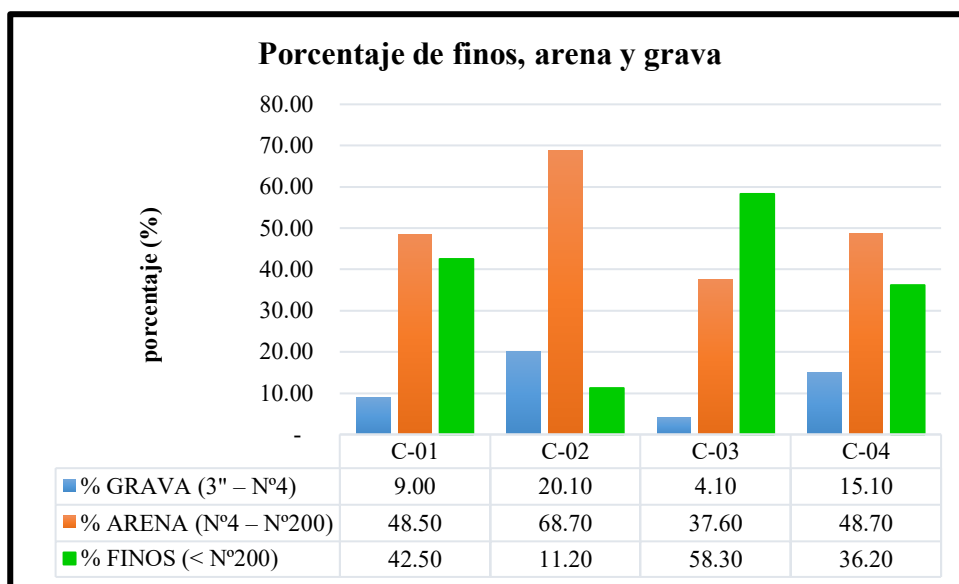


Figura 10 — Gráfico comparativo de los valores de porcentaje de finos, arena y grava

En la figura (10) la calicata C - 01 posee un equilibrio relativo entre arena (48.5 %) y finos (42.5 %), mientras que la C - 02 se caracteriza por ser predominantemente arenosa (68.7 %) con un bajo contenido de finos (11.2 %), lo que favorece la permeabilidad y el drenaje. En contraste, la calicata 3 que presenta el mayor porcentaje de finos (58.3 %) y la menor proporción de arena y grava, lo que refleja un suelo con alta cohesión y mayor susceptibilidad a variaciones de humedad. Por su parte la calicata 4 combina porcentajes intermedios con 15.1 % de grava, 48.7 % de arena y 36.2 % de finos, mostrando un comportamiento mixto entre granular y cohesivo. Esta distribución indica que, mientras algunos sectores del tramo analizado tienen suelos más drenantes y fáciles de compactar (como C - 02), otros sectores, especialmente C - 03, presentan condiciones menos favorables para el soporte de cargas debido al predominio de fracciones finas.



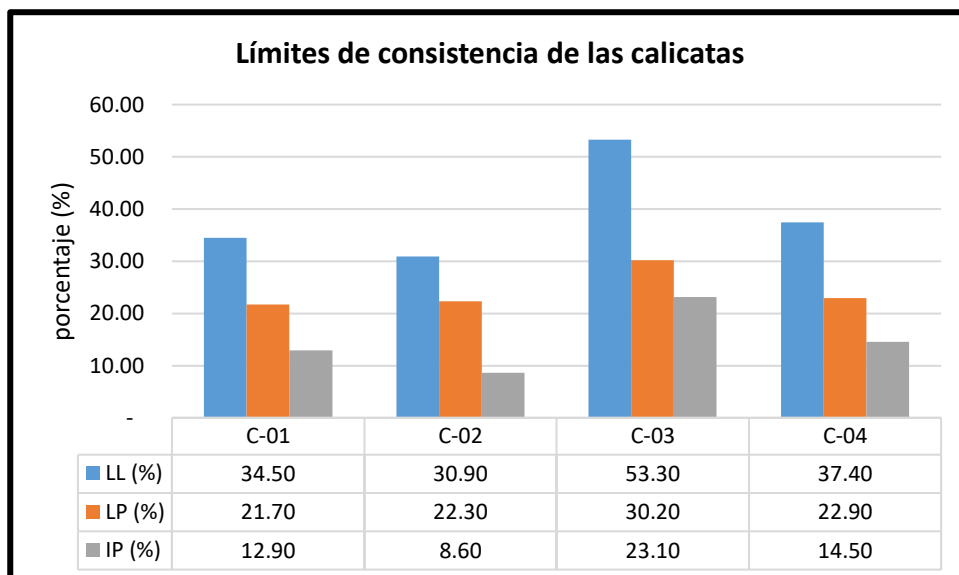


Figura 11 — Resultado de límites de consistencia de las calicatas

En la figura (11) muestro los resultados que reflejan a lo largo del tramo, los suelos presentan variabilidad significativa en su plasticidad la calicata 3 muestra mayor índice de plasticidad de 23.1 %, lo que repercute directamente en su comportamiento geotécnico y en la respuesta a procesos de estabilización.

Tabla 12 — Clasificación de suelo en los puntos de muestreo

Calicata	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS	Descripción técnica	Interpretación cualitativa
Calicata 1	A-6(2)	SC	Suelo arcilloso con plasticidad baja a media	Arcilla negra
Calicata 2	A-2-4(0)	SP-SC	Arena mal gradada con algo de arcilla y baja plasticidad	Arena arcillosa ligeramente plástica
Calicata 3	A-7-5(12)	MH	Suelo muy fino, de alta plasticidad (limos orgánicos o inorgánicos)	Limo arcilloso de alta plasticidad, limo gris.
Calicata 4	A-6(1)	SC	Suelo arcilloso de plasticidad baja a media	Arena arcillosa de color oscuro

Fuente: Elaboración propia

En la tabla (12) se visualiza la clasificación de los 4 puntos de muestreo, colocando la descripción técnica y la interpretación cuantitativa, según cada calicata efectuada.



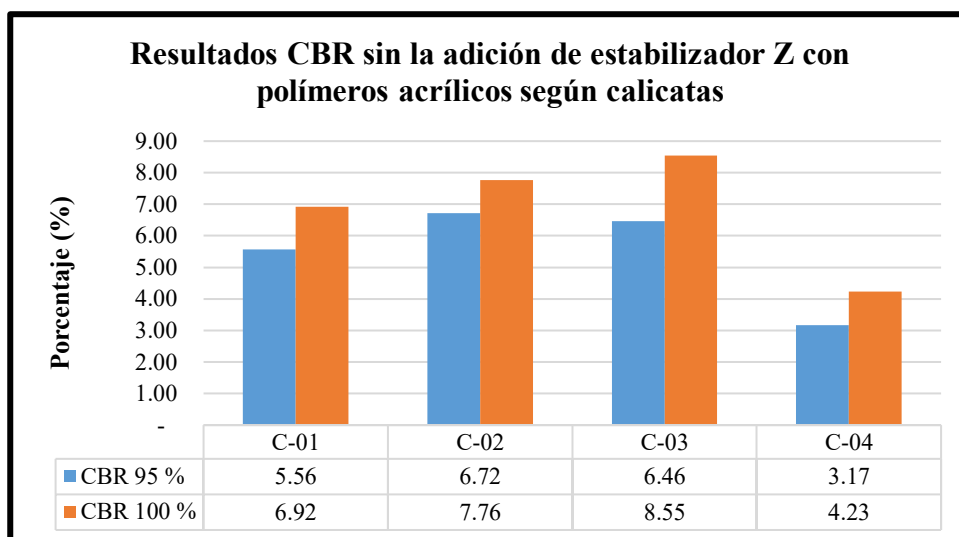


Figura 12 — Resultados CBR al 95 % y 100 % de los puntos de muestreo sin la adición de estabilizador Z con polímeros acrílicos según puntos de muestreo

En la figura (12) se visualiza los resultados de CBR al 95 % de compactación de (5.56 %, 6.72 %, 6.46 % y 3.17 %) y al 100 % se tiene (6.92 %, 7.76 %, 8.55% y 4.23 %) de los 4 puntos de muestreo de suelo patrón demostrando la capacidad portante inadecuado lo cual debe considerarse la estabilización.

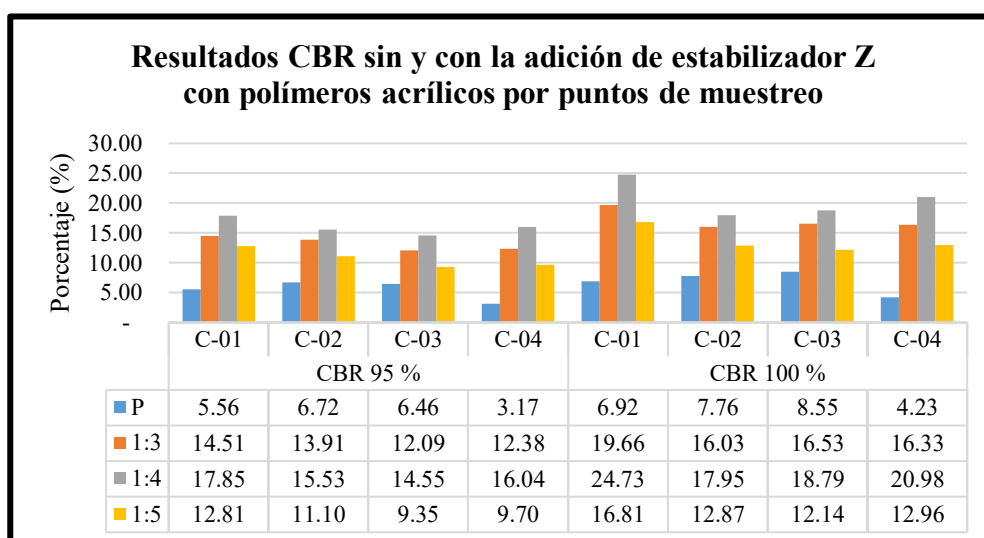


Figura 13 — Resultados de CBR al 95 % y 100 % de los puntos de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (patrón, 1:3, 1:4 y 1:5)

En la figura (13) se visualiza los resultados de CBR al 95 % y al 100 % con y sin la adición del estabilizador Z con polímeros acrílicos a distintas proporciones (patrón;



1:3; 1:4 y 1:5), donde la proporción 1:4 nos da a conocer el efecto del estabilizador Z en todos los puntos de muestreo.

5.1.2 Resultados del objetivo específico 1

El objetivo específico 1: determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.

En la Tabla (38) de los anexos se muestra los valores de CBR obtenidos en las calicatas sin la adición del estabilizador Z con polímeros acrílicos, revelando una capacidad portante baja en todos los casos y la tabla (43) de los anexos el resumen de los resultados se muestra la dosificación del aditivo:

Dado que las muestras extraídas de los puntos de muestreo calicatas del tramo 00 al 1+870 km de la ruta AP605 en el sector San Luis de la ciudad de Abancay, teniendo en cuenta la humedad del suelo por lo que estas fueron sustituidas por el aditivo estabilizador Z con polímeros en diferentes proporciones de 1:3, 1:4 y 1:5 con la humedad de cada punto de muestreo respecto al suelo con la finalidad de obtener la dosificación óptima cuantificando en el valor de la capacidad de soporte (CBR).

- **Gráficos comparativos de los resultados obtenidos**

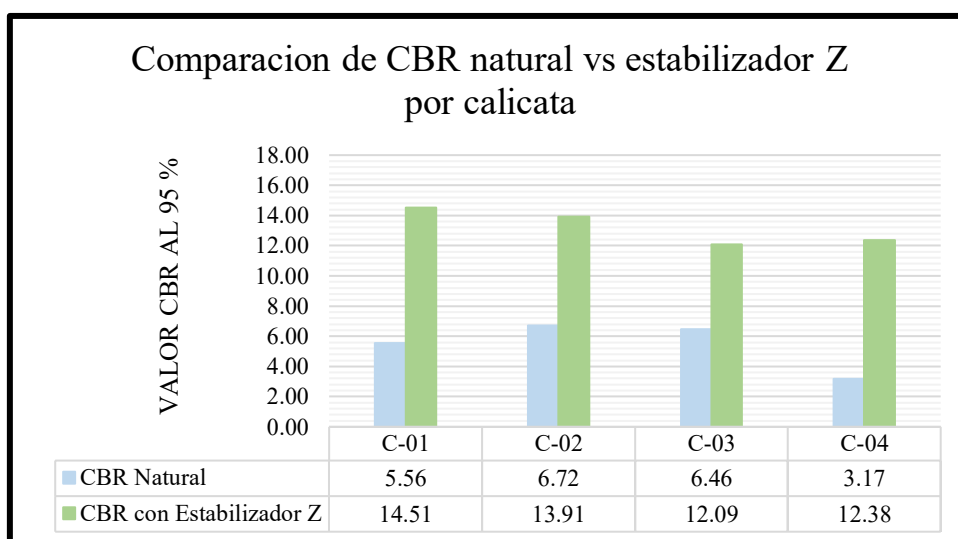


Figura 14 — Gráfico comparativo de los valores promedio de CBR natural y CBR con estabilizador Z (1:3) al 95 % de la densidad máxima seca para cada calicata



En la figura (14) se muestra en todas las calicatas, el efecto en el valor de CBR al aplicar el estabilizador Z con polímeros acrílicos en la proporción de 1:3.

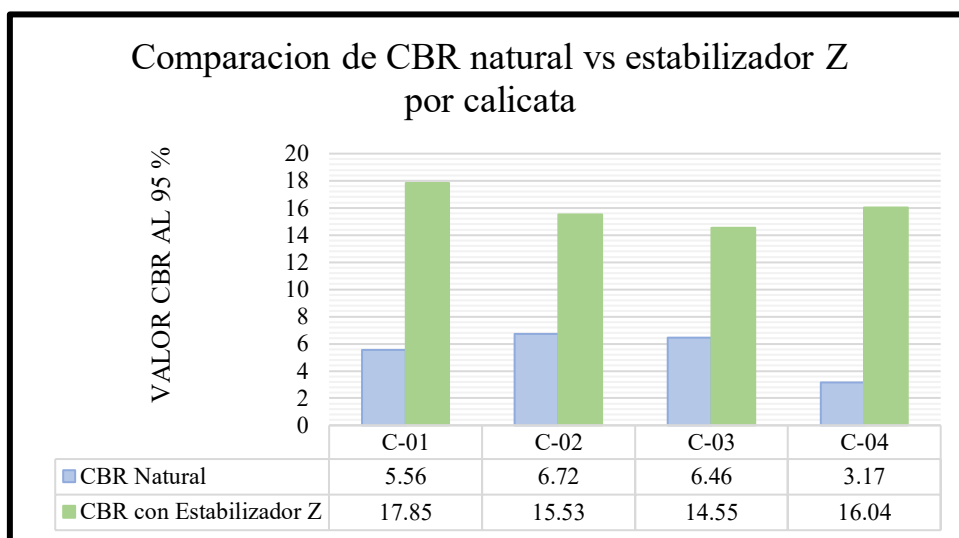


Figura 15 — Gráfico comparativo de los valores promedio de CBR natural y CBR con estabilizador Z (1:4) al 95 % de la densidad máxima seca para cada calicata

En la figura (15) se muestra en todas las calicatas el efecto en el valor de CBR al aplicar el estabilizador Z con polímeros acrílicos en la proporción de 1:4.

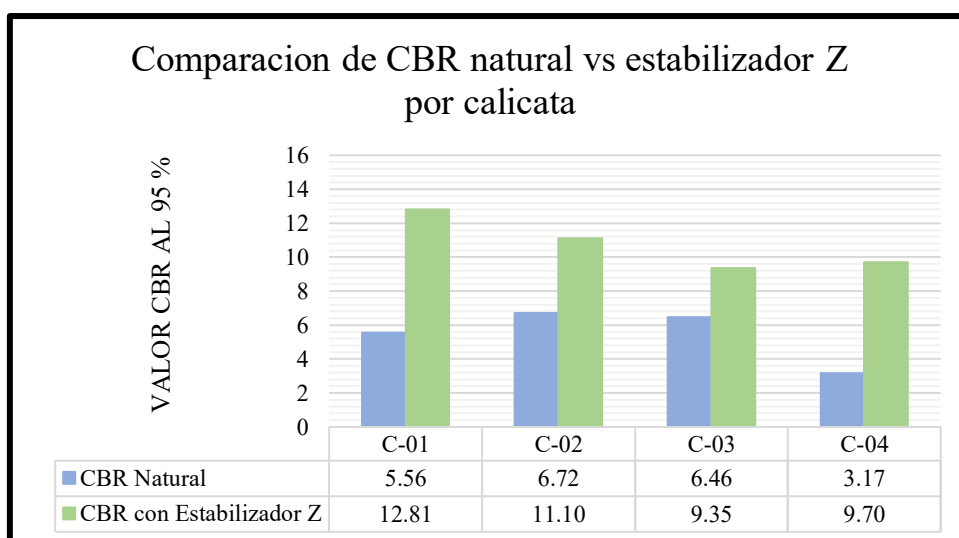


Figura 16 — Gráfico comparativo de los valores promedio de CBR natural y CBR con estabilizador Z (1:5) al 95 % de la densidad máxima seca para cada calicata



En la figura (16) se visualiza en todos los puntos de muestreo el efecto en el valor de CBR al aplicar el estabilizador Z con polímeros acrílicos en la proporción de 1:5.

- **Interpretación general:** El uso del estabilizador Z con polímeros acrílicos multiplica el valor CBR natural en todos los puntos de muestreo, lo cual indica un efecto en la resistencia del suelo cohesivo en la capa de rodadura, esto es especialmente importante para la carretera AP605 en el sector San Luis de la ciudad de Abancay, con un soporte estructural y durabilidad en la vía.
- **Gráficos comparativos de valores promedio de CBR natural vs estabilizador Z con polímeros acrílicos**

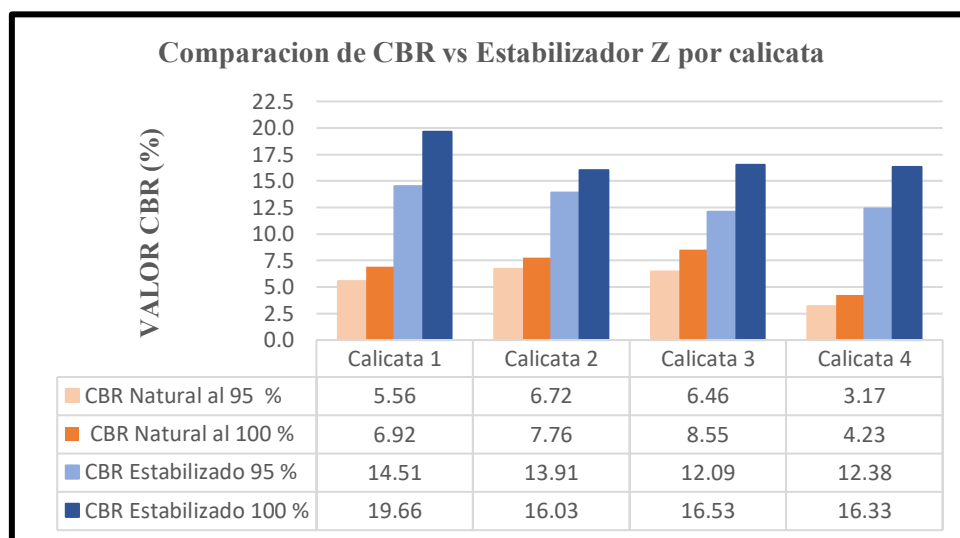


Figura 17 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CBR natural y el CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en proporción de 1:3 para el estabilizado)

En la figura (17) se ve el efecto en el CBR tras la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos en el punto de muestreo de la calicata 1, en el suelo patrón al 100 % de compactación fue de 6.92 %, mientras que con estabilizador Z con polímeros acrílicos aumentó hasta 19.66 %, esto demuestra que el estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la capacidad de soporte (CBR).



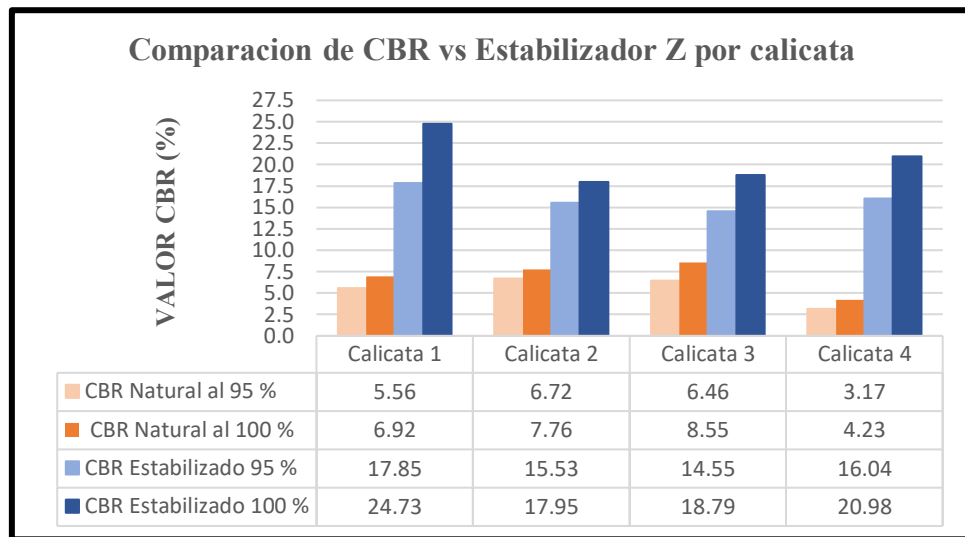


Figura 18 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CBR natural y el CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en este caso, con dosificación 1:4 para el estabilizado)

En la figura (18) se ve el efecto en el CBR tras la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos en el punto de muestreo de la calicata 1, en el suelo patrón al 100 % de compactación fue de 6.92 %, mientras que con estabilizador Z con polímeros acrílicos aumentó hasta 24.73 %, esto demuestra que el estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la capacidad de soporte (CBR).

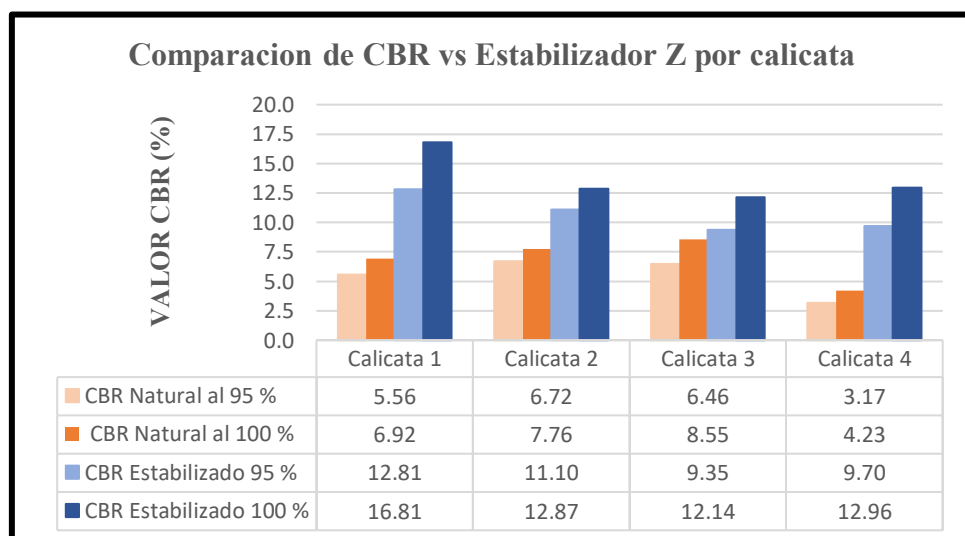


Figura 19 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CBR natural y el CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en este caso, con dosificación 1:5 para el estabilizado)



En la figura (19) se ve el efecto en el CBR tras la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos en el punto de muestreo de la calicata 1, en el suelo patrón al 100 % de compactación fue de 6.92 %, mientras que con estabilizador Z con polímeros acrílicos aumentó hasta 16.81 %, esto demuestra que el estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la capacidad de soporte (CBR).

- **Interpretación general:** Se muestra a más del doble el valor del CBR natural, esto demuestra que el estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto considerable en la resistencia del suelo.

Asimismo, la compactación tiene efecto, pero menos que la estabilización: Aunque al pasar de 95 % a 100 % de compactación mejora el CBR, la adición del estabilizador Z con polímeros acrílicos con el efecto mucho más marcado, lo que puede ser clave para el diseño de capas de rodadura durables en suelos cohesivos.

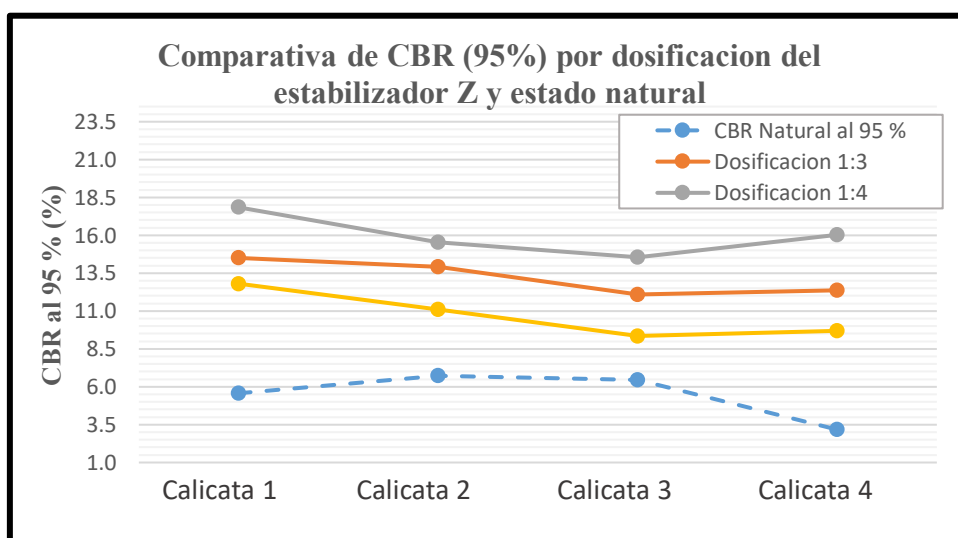


Figura 20 — Comparativa de CBR 95 % según dosificaciones del estabilizador Z y natural

En la figura (20) los resultados obtenidos evidencian un efecto en la resistencia de los suelos cohesivos tras la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos, especialmente al evaluar el CBR al 95 % de compactación, en los puntos de muestreo, se ve que el valor del CBR natural, que oscila entre 3.17 % y 6.72 %, tiene efecto al incorporar el estabilizador Z con polímeros acrílicos La proporción 1:3 representa tiene efecto en la capacidad portante aunque en



menor proporción, sin embargo, en la proporción 1:4 donde se alcanza un efecto, con valores de hasta 17.85 % de CBR, lo que implica más del triple de la resistencia natural del suelo. La dosificación 1:5 también tiene efecto en los resultados respecto al suelo sin tratamiento, aunque en menor proporción.

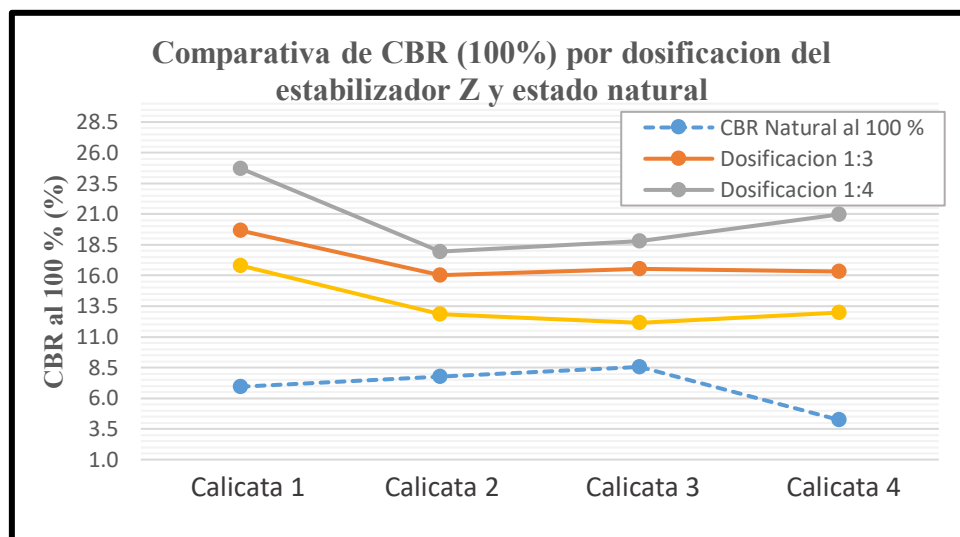


Figura 21 — Comparativa de CBR 100 % según dosificaciones del estabilizador Z y natural

Los resultados obtenidos evidencian el efecto en la resistencia de los suelos cohesivos tras la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos, especialmente al evaluar el CBR al 100 % de compactación, en los puntos de muestreo, se observa que el valor del CBR natural, que oscila entre 4.23 % y 8.55 %, se incrementa considerablemente al incorporar el estabilizador. La proporción 1:3 ya representa un efecto importante en la capacidad portante, sin embargo, es con la proporción 1:4 donde se alcanza el mejor desempeño, con valores de hasta 24.73 % de CBR, lo que implica más del triple de la resistencia natural del suelo y la dosificación 1:5 también tiene un efecto en los resultados respecto al suelo sin tratamiento, aunque en menor proporción.

- **Interpretación general:** Estos resultados permiten concluir que la dosificación 1:4 del estabilizador Z con polímeros acrílicos es la más eficiente y tiene efecto en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura, optimizando la resistencia sin un uso excesivo del aditivo.



En cuanto a los ensayos de CBR mostraron un efecto considerable al incorporar el estabilizador. El CBR natural en los suelos evaluados no superaba el 8 % en condiciones óptimas de compactación, lo cual es característico de suelos cohesivos de baja capacidad portante. Sin embargo, tras aplicar el estabilizador en distintas proporciones, se logró un efecto al 95 % que alcanzó hasta el 17.85 % y al 100 % alcanzo hasta 24.73 % en la dosificación 1:4, lo que representa más del triple del valor inicial. Este efecto no solo confirma la validez de los resultados, sino que además evidencia que el uso de este tipo de estabilizador puede transformar suelos poco aptos en materiales viables para capas de rodadura en carreteras, coincidiendo con lo expuesto por Ramírez et al. (2020), quienes destacan que los polímeros sintéticos pueden mejorar significativamente la capacidad de soporte de suelos finos.

5.1.3 Resultados del objetivo específico 2

El objetivo específico 2: Determinar el efecto en la compresión no confinada de los suelos cohesivos tras la aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.

En la tabla (44) de los anexos en este cuadro de compresión no confinada de suelo natural por puntos de muestreo se aprecia el resumen de las muestras del suelo natural de la Calicata 1 se presentó una resistencia a compresión no confinada con un promedio de 1.45 kg/cm², asimismo, la carga aplicada varió entre 67.13 y 69.85 kgf en las cuatro muestras evaluadas; de la calicata 2 la cual presentó una resistencia a compresión no confinada promedio de 1.43 kg/cm², asimismo, la carga aplicada varió entre 66.23 y 68.95 kgf en las cuatro muestras evaluadas; de la calicata 3 la cual presentó una resistencia a la compresión no confinada promedio de 1.33 kg/cm², asimismo, la carga aplicada varió entre 61.69 y 64.41 kgf en las cuatro muestras evaluadas; de la calicata 4 la cual presentó una resistencia a la compresión no confinada promedio de 1.52 kg/cm², asimismo, la carga aplicada varió entre 69.85 y 73.48 kgf en las cuatro muestras evaluadas.



- **Ensayo de compresión no confinada + aditivo (estabilizador Z con polímeros acrílicos)**

De las tablas (49) (50) (51) de los anexos, teniendo en cuenta los valores obtenidos del suelo natural en las cuatro calicatas evaluadas, se procedió a calcular las diferentes dosificaciones del aditivo estabilizador Z con polímeros, sustituyendo el material en proporciones de 1:3, 1:4 y 1:5, con la finalidad de determinar la dosificación óptima que proporcione la mayor resistencia a la compresión no confinada, mejorando así las propiedades mecánicas del suelo frente a su condición natural.

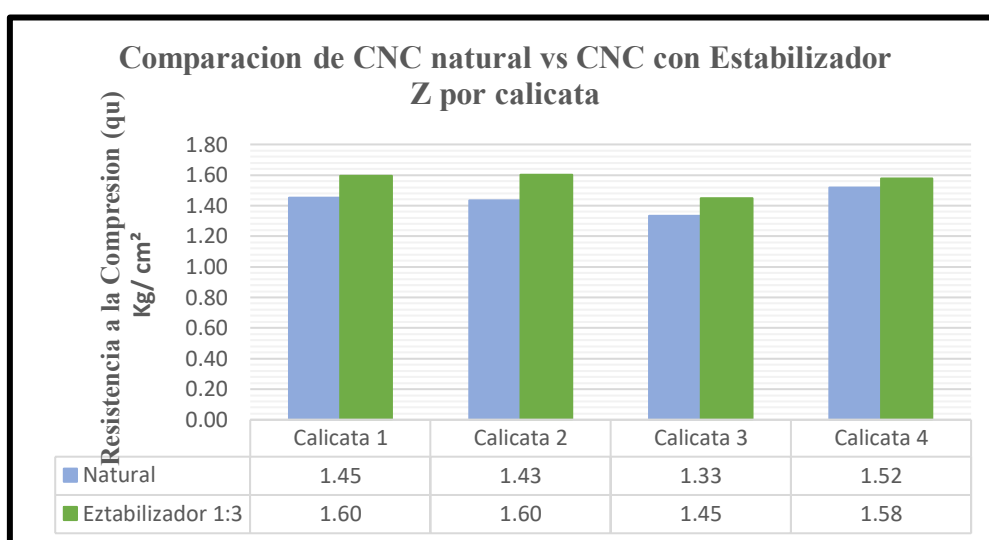


Figura 22 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CNC natural y el CNC con estabilizador Z con polímeros acrílicos para los distintos puntos de muestreo (la proporción 1:3)

En la figura (22) muestra que según la dosificación 1:3 del estabilizador tiene efecto en la resistencia a la compresión no confinada en los puntos de muestreo evaluadas, destacando el incremento que tiene.



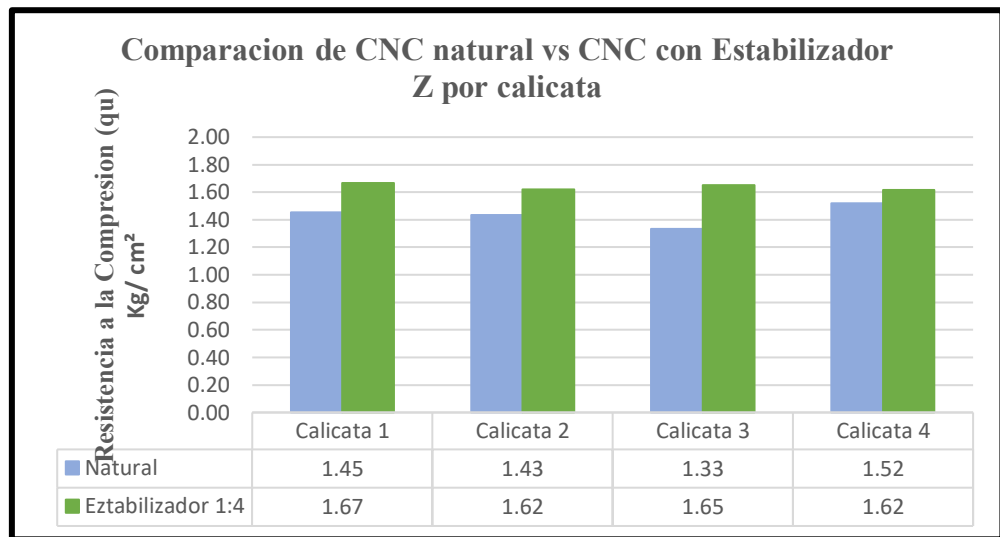


Figura 23 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CNC natural y el CNC con estabilizador Z con polímeros acrílicos para los distintos puntos de muestreo (en proporción 1:4)

En la figura (23), se muestra según la dosificación 1:4 del estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la resistencia a compresión no confinada en los puntos de muestreo evaluadas, destacando un incremento mínimo respectivamente.

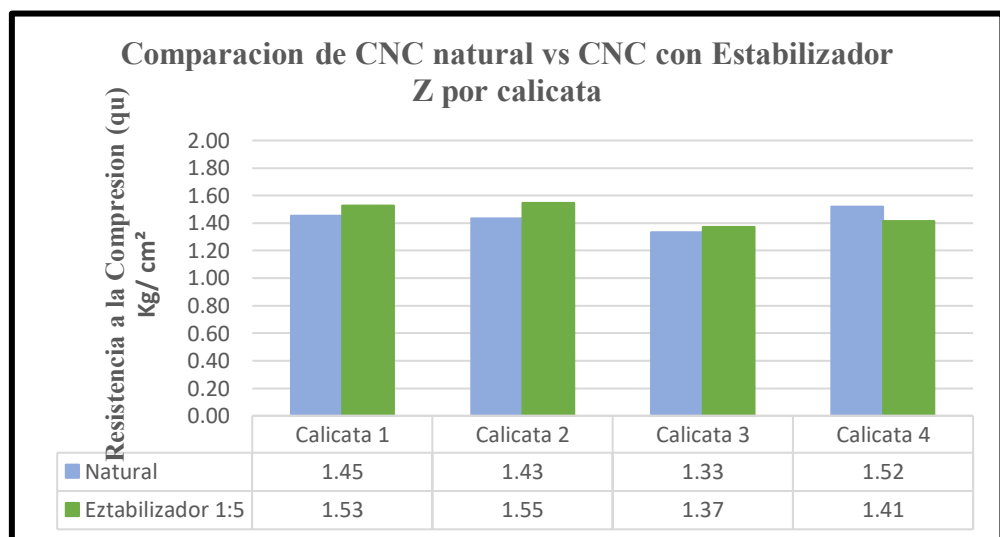


Figura 24 — Gráfico comparativo de los valores promedio del CNC natural y el CNC con estabilizador Z con polímeros acrílicos para las distintas calicatas (en proporción 1:5)



En la figura (24), se muestra la proporción 1:5 el estabilizador tiene efecto en la resistencia a compresión no confinada en las calicatas evaluadas, destacando con efecto mínimo respectivamente en los puntos de muestreo.

El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en el Ensayo de Compresión no confinada en todas las dosificaciones frente al suelo natural, la dosificación más que tiene efecto es de la proporción 1:4, indicando que mejora su resistencia a la compresión del suelo.

5.2 Contratación de hipótesis

5.2.1 Contratación de hipótesis general

El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, ciudad de Abancay, Apurímac.

a) Hipótesis estadística

- **Hipótesis nula (H_0):** El estabilizador Z con polímeros acrílicos TIENE EFECTO en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, ciudad de Abancay, Apurímac.
- **Hipótesis alterna (H_1):** El estabilizador Z con polímeros acrílicos NO TIENE EFECTO en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, ciudad de Abancay, Apurímac.
- **Criterio de decisión:**
 - Si $\text{Sig.} \geq 0.05 \rightarrow$ se acepta H_0 y se rechaza H_1
 - Si $\text{Sig.} < 0.05 \rightarrow$ se rechaza H_0 y se acepta H_1

b) Nivel de significancia

Se utilizó un valor de significancia $\alpha = 0.05$ (95 % de confianza).

c) Prueba de normalidad

Según Shapiro y Wilk (1965), esta prueba es la más apropiada para muestras $n < 50$.



Tabla 13 — Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Shapiro Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.
CBR 100 %	0.970	47	0.249
CBR 95 %	0.959	47	0.089
Resistencia a compresión no confinada	0.985	47	0.792

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla (13), se aprecian en los casos presentados las significancias las cuales son mayores al $p > 0.05$, no rechaza H_0 por ende, se optará por una prueba paramétrica, siendo el ANOVA es una prueba estadística paramétrica que se usa para determinar si tres o más grupos tienen diferencias significativas en sus promedios. El cual podría utilizarse para comparar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en diferentes concentraciones.

d) **Prueba de homogeneidad de varianzas**

Para verificar si los grupos presentan varianzas iguales, se aplicó la **prueba de Levene**, la cual permite comprobar uno de los supuestos fundamentales para la aplicación del análisis de varianza ANOVA.

Tabla 14 — Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
CBR 100 %	Se basa en la media	1.877	3	44	0.147
	Se basa en la mediana	1.191	3	44	0.324
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.191	3	37.485	0.326
	Se basa en la media recortada	1.748	3	44	0.171
CBR 95 %	Se basa en la media	0.655	3	44	0.584
	Se basa en la mediana	0.425	3	44	0.736
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.425	3	43.059	0.736
	Se basa en la media recortada	0.629	3	44	0.600
Resistencia a compresión no confinada	Se basa en la media	0.154	3	44	0.926
	Se basa en la mediana	0.165	3	44	0.919
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.165	3	42.887	0.919
	Se basa en la media recortada	0.158	3	44	0.924

La tabla (14) todos los valores de significancia son superiores a 0.05 en las tres variables analizadas, independientemente de la base estadística utilizada, esto confirma que las varianzas entre los grupos (suelo patrón, dosificación 1:3, 1:4 y 1:5) son homogéneas, cumpliendo con el segundo supuesto fundamental del ANOVA según, Montgomery (2017)

Todas las pruebas muestran Sig. > 0.05, confirmando homogeneidad de varianzas entre grupos. Esto valida el uso de ANOVA según, Montgomery (2017).

e) ANOVA de un factor

Tabla 15 — Prueba de ANOVA para CBR y compresión no confinada

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CBR 100 %	Entre grupos	123.800	3	412.933	86.301	0.000
	Dentro de grupos	210.532	44	4.785		
	Total	1449.332	47			
CBR 95 %	Entre grupos	718.660	3	239.553	108.972	0.000
	Dentro de grupos	96.725	44	2.198		
	Total	815.385	47			
Resistencia a compresión no confinada	Entre grupos	0.213	3	0.071	10.244	0.000
	Dentro de grupos	0.304	44	0.007		
	Total	0.517	47			
NOTA						
Resultados obtenidos de softwasre spss						

La tabla (15) los valores del estadístico F son altamente significativos en las tres variables ($p = 0.000 < 0.05$), lo que permite rechazar contundentemente la hipótesis nula de igualdad de medias. Esto demuestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre al menos dos de los grupos de tratamiento (patrón, 1:3, 1:4 y 1:5). La magnitud de los estadísticos F indica que la variabilidad entre grupos es sustancialmente mayor que la variabilidad dentro de cada grupo, siendo particularmente notable en CBR al 95 % ($F = 108.972$) y CBR al 100 % ($F = 86.301$). Estos resultados confirman que el estabilizador Z con polímeros acrílicos produce efecto significativo en las propiedades geotécnicas evaluadas, aunque no especifica entre qué grupos específicos se encuentran estas diferencias, lo cual requiere el análisis post-hoc de Tukey.



f) Comparación múltiple post-hoc de Tukey

Para identificar **que tiene efecto**, se aplicó la prueba de Tukey según Montgomery (2017).

Tabla 16 — Prueba de múltiple post-hoc de Tukey

Variable dependiente	Grupos	Grupos	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %	
						Límite inferior	Límite superior
CBR 100 %	Patrón	1:3	-10,27250*	,89301	,000	-12,6568	-7,8882
		1:4	-13,74750*	,89301	,000	-16,1318	-11,3632
		1:5	-6,83167*	,89301	,000	-9,2160	-4,4473
	1:3	Patrón	10,27250*	,89301	,000	7,8882	12,6568
		1:4	-3,47500*	,89301	,002	-5,8593	-1,0907
		1:5	3,44083*	,89301	,002	1,0565	5,8252
	1:4	Patrón	13,74750*	,89301	,000	11,3632	16,1318
		1:3	3,47500*	,89301	,002	1,0907	5,8593
		1:5	6,91583*	,89301	,000	4,5315	9,3002
	1:5	Patrón	6,83167*	,89301	,000	4,4473	9,2160
		1:3	-3,44083*	,89301	,002	-5,8252	-1,0565
		1:4	-6,91583*	,89301	,000	-9,3002	-4,5315
CBR 95 %	Patrón	1:3	-7,74500*	,60530	,000	-9,3611	-6,1289
		1:4	-10,51167*	,60530	,000	-12,1278	-8,8955
		1:5	-5,26083*	,60530	,000	-6,8770	-3,6447
	1:3	Patrón	7,74500*	,60530	,000	6,1289	9,3611
		1:4	-2,76667*	,60530	,000	-4,3828	-1,1505
		1:5	2,48417*	,60530	,001	,8680	4,1003
	1:4	Patrón	10,51167*	,60530	,000	8,8955	12,1278
		1:3	2,76667*	,60530	,000	1,1505	4,3828
		1:5	5,25083*	,60530	,000	3,6347	6,8670
	1:5	Patrón	5,26083*	,60530	,000	3,6447	6,8770
		1:3	-2,48417*	,60530	,001	-4,1003	-8,8680
		1:4	-5,25083*	,60530	,000	-6,8670	-3,6347
Resistencia a compresión no confinada	Patrón	1:3	-,12167*	,03395	,005	-,2123	-,0310
		1:4	-,16417*	,03395	,000	-,2548	-,0735
		1:5	-,12167	,03395	,005	-,2123	,0310
	1:3	Patrón	,12167*	,03395	,005	,0310	,2123
		1:4	-,16417	,03395	,000	-,2548	,0735
		1:5	,09167*	,03395	,047	,0010	,1823
	1:4	Patrón	,16417*	,03395	,000	,0735	,2548
		1:3	-,16417	,03395	,005	-,2548	-,0735
		1:5	,13417*	,03395	,002	,0435	,2248
	1:5	Patrón	,16417	,03395	,005	,0310	,2123
		1:3	-,09167*	,03395	,047	-,1823	-,0010
		1:4	-,13417*	,03395	,002	-,2248	-,0435

La tabla (16) todas las dosificaciones del estabilizador superan significativamente al suelo patrón en las tres variables evaluadas, confirmando el efecto positivo del tratamiento, la dosificación 1:4 es estadísticamente superior a todas las demás alternativas, mostrando las mayores diferencias de medias tanto en CBR como en resistencia a compresión no confinada, existe una jerarquía clara de efectividad: 1:4 > 1:3 > 1:5 > Patrón, siendo estadísticamente



diferenciables entre sí, las diferencias más pronunciadas se observan en las comparaciones contra el suelo patrón, evidenciando el efecto sustancial del estabilizador en las propiedades del suelo.

Tabla 17 — Prueba subconjuntos homogéneos de Tukey

	Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
CBR 95 %	Patrón	12	6,8650			
	1:5	12		13,6967		
	1:3	12			17,1375	
	1:4	12				20,6125
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
CBR 100 %			1	2	3	4
	Patrón	12	6,8650			
	1:5	12		13,6967		
	1:3	12			17,1375	
	1:4	12				20,6125
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	
Resistencia a compresión no confinada			1	2		
	Patrón	12	1,4350			
	1:5	12	1,4650			
	1:3	12		1,5567		
	1:4	12		1,5992		
Sig.		1,000	1,000			

La tabla (17) presenta los subconjuntos homogéneos generados por la prueba de Tukey, agrupando los tratamientos que no difieren significativamente entre sí en columnas independientes. Para CBR al 95 % y 100 %, cada grupo de tratamiento forma su propio subconjunto (columnas 1, 2, 3 y 4), indicando que todos los grupos son estadísticamente diferentes entre sí. En contraste, para resistencia a compresión no confinada, el Patrón y la dosificación 1:5 comparten el subconjunto 1, mientras que las dosificaciones 1:3 y 1:4 comparten el subconjunto 2.

g) Conclusión

Para CBR (95 % y 100 %): La formación de cuatro subconjuntos completamente independientes confirma que existe una jerarquía estadísticamente diferenciable entre todos los tratamientos. Cada nivel de dosificación produce un efecto distinto y significativo sobre la capacidad de soporte del suelo. El orden ascendente de efectividad es: Patrón (6.865 %) < 1:5 (13.697 %) < 1:3 (17.138 %) < 1:4 (20.613 %). La dosificación 1:4 se consolida como la óptima, diferenciándose estadísticamente de todas las demás alternativas.



Para Resistencia a Compresión No Confinada la formación de solo dos subconjuntos indica que, aunque el estabilizador tiene efecto esta propiedad, las diferencias son menos pronunciadas que en CBR. El Patrón (1.435 kg/cm²) y la dosificación 1:5 (1.465 kg/cm²) no difieren significativamente entre sí, sugiriendo que una dosificación insuficiente (1:5) no logra activar completamente los mecanismos de cohesión polimérica. Por el contrario, las dosificaciones 1:3 (1.557 kg/cm²) y 1:4 (1.599 kg/cm²), aunque estadísticamente superiores al patrón, no difieren significativamente entre sí, indicando que ambas concentraciones son suficientes para maximizar la resistencia cohesiva del suelo, aunque 1:4 muestra una tendencia hacia valores superiores.

Los subconjuntos homogéneos confirman que la dosificación 1:4 representa el punto óptimo de aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos, maximizando tanto la capacidad de soporte (CBR) como la resistencia a compresión no confinada, diferenciándose estadísticamente de las demás alternativas en la mayoría de las variables analizadas.

5.2.2 Contrastación de hipótesis específico 1

El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.

a) Hipótesis estadística

- **Hipótesis nula (H₀):** El estabilizador Z con polímeros acrílicos TIENE EFECTO en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.
- **Hipótesis alterna (H₁):** El estabilizador Z con polímeros acrílicos NO TIENE EFECTO en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.
- **Criterio de decisión:**
 - Si Sig. ≥ 0.05 \rightarrow se acepta H₀ y se rechaza H₁
 - Si Sig. < 0.05 \rightarrow se rechaza H₀ y se acepta H₁



b) Nivel de significancia

Se utilizó un valor de significancia $\alpha = 0.05$ (95 % de confianza).

c) Prueba de normalidad

Según Shapiro y Wilk (1965), esta prueba es la más apropiada para muestras $n < 50$.

Tabla 18 — Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Shapiro Wilk			
	Estadístico	Gl	Sig.
CBR 100 %	0.970	47	0.249
CBR 95 %	0.959	47	0.089
Resistencia a compresión no confinada	0.985	47	0.792

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla (18), se aprecian en los casos presentados las significancias las cuales son mayores al $p > 0.05$, no rechaza H_0 por ende, se optará por una prueba paramétrica, siendo el ANOVA es una prueba estadística paramétrica que se usa para determinar si tres o más grupos tienen diferencias significativas en sus promedios. El cual podría utilizarse para comparar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en diferentes concentraciones.

d) Prueba de homogeneidad de varianzas

Para verificar si los grupos presentan varianzas iguales, se aplicó la **prueba de Levene**, la cual permite comprobar uno de los supuestos fundamentales para la aplicación del análisis de varianza ANOVA.

Tabla 19 — Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
CBR 100 %	Se basa en la media	1.877	3	44	0.147
	Se basa en la mediana	1.191	3	44	0.324
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.191	3	37.485	0.326
	Se basa en la media recortada	1.748	3	44	0.171
CBR 95 %	Se basa en la media	0.655	3	44	0.584
	Se basa en la mediana	0.425	3	44	0.736
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.425	3	43.059	0.736
	Se basa en la media recortada	0.629	3	44	0.600

La tabla (19) todas las pruebas muestran Sig. > 0.05, confirmando homogeneidad de varianzas entre grupos. Esto valida el uso de ANOVA según Montgomery (2017).

e) ANOVA de un factor

Tabla 20 — Prueba de ANOVA de un factor para CBR

Fuente		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CBR 100 %	Entre grupos	123.800	3	412.933	86.301	0.000
	Dentro de grupos	210.532	44	4.785		
	Total	1449.332	47			
CBR 95 %	Entre grupos	718.660	3	239.553	108.972	0.000
	Dentro de grupos	96.725	44	2.198		
	Total	815.385	47			

En la tabla (20) los valores del estadístico F son extraordinariamente altos (86.301 y 108.972), con significancias $p = 0.000$, confirmando efecto altamente entre tratamientos. La magnitud de estos estadísticos F indica que el efecto del estabilizador sobre el CBR es el más pronunciado de todas las propiedades evaluadas.

f) Comparación múltiple post-hoc de Tukey

Para identificar **que tiene efecto**, se aplicó la prueba de Tukey según (Montgomery, 2017).



Tabla 21 — Prueba múltiple post-hoc de tukey

Variable dependiente	Grupos	Grupos	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %		
						Límite inferior	Límite superior	
CBR 100 %	Patrón	1:3	-10,27250*	,89301	,000	-12,6568	-7,8882	
		1:4	-13,74750*	,89301	,000	-16,1318	-11,3632	
		1:5	-6,83167*	,89301	,000	-9,2160	-4,4473	
	1:3	Patrón	10,27250*	,89301	,000	7,8882	12,6568	
		1:4	-3,47500*	,89301	,002	-5,8593	-1,0907	
		1:5	3,44083*	,89301	,002	1,0565	5,8252	
	1:4	Patrón	13,74750*	,89301	,000	11,3632	16,1318	
		1:3	3,47500*	,89301	,002	1,0907	5,8593	
		1:5	6,91583*	,89301	,000	4,5315	9,3002	
	1:5	Patrón	6,83167*	,89301	,000	4,4473	9,2160	
		1:3	-3,44083*	,89301	,002	-5,8252	-1,0565	
		1:4	-6,91583*	,89301	,000	-9,3002	-4,5315	
	CBR 95 %	Patrón	1:3	-7,74500*	,60530	,000	-9,3611	-6,1289
			1:4	-10,51167*	,60530	,000	-12,1278	-8,8955
			1:5	-5,26083*	,60530	,000	-6,8770	-3,6447
1:3		Patrón	7,74500*	,60530	,000	6,1289	9,3611	
		1:4	-2,76667*	,60530	,000	-4,3828	-1,1505	
		1:5	2,48417*	,60530	,001	,8680	4,1003	
1:4		Patrón	10,51167*	,60530	,000	8,8955	12,1278	
		1:3	2,76667*	,60530	,000	1,1505	4,3828	
		1:5	5,25083*	,60530	,000	3,6347	6,8670	
1:5		Patrón	5,26083*	,60530	,000	3,6447	6,8770	
		1:3	-2,48417*	,60530	,001	-4,1003	-8,6680	
		1:4	-5,25083*	,60530	,000	-6,8670	-3,6347	

En la tabla (21) los resultados de la prueba de Tukey revelan una jerarquía perfectamente definida en la efectividad de las dosificaciones sobre el CBR: 1:4 > 1:3 > 1:5 > Patrón, con diferencias efectos entre todos los pares. La dosificación 1:4 logra casi duplicar y triplicar (según el nivel de compactación) el valor de CBR del suelo patrón, cumpliendo y superando ampliamente el umbral normativo del MTC (≥ 20 % para suelos estabilizados en capas de rodadura). Los intervalos de confianza estrechos y alejados de cero indican alta precisión en las estimaciones y robustez estadística de las diferencias detectadas. Particularmente notable es que incluso la dosificación más baja (1:5) produce mejoras estadísticamente significativas de más del 100 %, aunque insuficientes comparadas con 1:3 y 1:4.



Tabla 22 — Prueba de subconjuntos homogéneos de Tukey para CBR

Variable	Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
CBR 95 %	Patrón	12	6,8650			
	1:5	12		13,6967		
	1:3	12			17,1375	
	1:4	12				20,6125
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
CBR 100 %			1	2	3	4
	Patrón	12	6,8650			
	1:5	12		13,6967		
	1:3	12			17,1375	
	1:4	12				20,6125
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	

En la tabla (22) cada dosificación produce un nivel de CBR claramente efecto del resto, sin ambigüedades estadísticas, se observa un incremento progresivo y consistente desde el patrón (6.865 %) hasta la dosificación óptima 1:4 (20.613 %), con incrementos intermedios para 1:5 y 1:3; la dosificación 1:4 ocupa el subconjunto superior de forma exclusiva, confirmando su superioridad estadística indiscutible sobre todas las demás alternativas, todos los tratamientos con estabilizador Z con polímeros acrílicos superan el umbral mínimo del MTC para afirmados (≥ 6 % según categorías de subrasante), mientras que solo las dosificaciones 1:3 y 1:4 alcanzan el estándar para capas estabilizadas de alto desempeño ($\geq 15 - 20$ %).

g) Conclusión

El estabilizador Z con polímeros acrílicos SÍ tiene un efecto altamente significativo ($p < 0.001$) en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac. Incrementos de hasta 199.7 % (casi 3 veces el valor original) en CBR al 100 % y 153.2 % en CBR al 95 % con la dosificación óptima 1:4; Significancia estadística: Valores F extraordinariamente altos (86.301 para CBR 100 %; 108.972 para CBR 95 %; 168.01 en análisis específico de C-01), todos con $p = 0.000$; formación de cuatro subconjuntos homogéneos completamente independientes, confirmando que cada dosificación produce un nivel de CBR estadísticamente distinto; La dosificación 1:4 alcanza valores de CBR (20.613 % al 95 %; 24.73 % al 100 %) que cumplen y superan los umbrales del Manual de Carreteras del MTC para capas estructurales de alto desempeño (≥ 20 %).



5.2.3 Contratación de hipótesis específico 2

a) Hipótesis estadística

- **Hipótesis nula (H_0):** El estabilizador Z con polímeros acrílicos TIENE EFECTO en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.
- **Hipótesis alterna (H_1):** El estabilizador Z con polímeros acrílicos NO TIENE EFECTO en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.
- **Criterio de decisión:**
 - Si Sig. $\geq 0.05 \rightarrow$ se acepta H_0 y se rechaza H_1
 - Si Sig. $< 0.05 \rightarrow$ se rechaza H_0 y se acepta H_1

b) Nivel de significancia

Se utilizó un valor de significancia $\alpha = 0.05$ (95 % de confianza).

c) Prueba de normalidad

Según Shapiro y Wilk (1965), esta prueba es la más apropiada para muestras $n < 50$.

Tabla 23 — Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Shapiro Wilk			
	Estadístico	GI	Sig.
CBR 100 %	0.970	47	0.249
CBR 95 %	0.959	47	0.089
Resistencia a compresión no confinada	0.985	47	0.792

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla (23), se aprecian en los casos presentados las significancias las cuales son mayores al $p > 0.05$, no rechaza H_0 por ende, se optará por una prueba paramétrica, siendo el ANOVA es una prueba estadística paramétrica que se usa para determinar si tres o más grupos tienen

diferencias significativas en sus promedios. El cual podría utilizarse para comparar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en diferentes concentraciones.

d) Prueba de homogeneidad de varianzas

Para verificar si los grupos presentan varianzas iguales, se aplicó la **prueba de Levene**, la cual permite comprobar uno de los supuestos fundamentales para la aplicación del análisis de varianza ANOVA.

Tabla 24 — Prueba de e homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Resistencia a compresión no confinada	Se basa en la media	0.154	3	44	0.926
	Se basa en la mediana	0.165	3	44	0.919
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.165	3	42.887	0.919
	Se basa en la media recortada	0.158	3	44	0.924

En la tabla (24) todas las pruebas muestran Sig. > 0.05, confirmando homogeneidad de varianzas entre grupos. Esto valida el uso de ANOVA según (Montgomery, 2017).

e) Prueba de ANOVA

Tabla 25 — Prueba de ANOVA de la resistencia a compresión no confinada

Fuente		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Resistencia a compresión no confinada	Entre grupos	0.213	3	0.071	10.244	0.000
	Dentro de grupos	0.304	44	0.007		
	Total	0.517	47			

En la tabla (25) aunque el estadístico F = 10.244 es significativamente menor que los obtenidos para CBR (F = 86.301 y 108.972), sigue siendo altamente significativo (p = 0.000 < 0.05), lo que permite rechazar contundentemente la hipótesis nula de igualdad de medias. Esto confirma que existen efectos estadísticamente significativos en la resistencia a compresión no confinada entre al menos dos de los grupos de tratamiento.



f) **Comparación múltiple post-hoc de tukey**

Para identificar que tiene efecto, se aplicó la prueba de Tukey según (Montgomery, 2017).

Tabla 26 — Comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey para resistencia a compresión no confinada

Variable	Grupos	Grupos	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %	
						Límite inferior	Límite superior
Resistencia a compresión no confinada	Patrón	1:3	-,12167*	,03395	,005	-,2123	-,0310
		1:4	-,16417*	,03395	,000	-,2548	-,0735
		1:5	-,12167	,03395	,005	-,2123	,0310
	1:3	Patrón	,12167*	,03395	,005	,0310	,2123
		1:4	-,16417	,03395	,000	-,2548	,0735
		1:5	,09167*	,03395	,047	,0010	,1823
	1:4	Patrón	,16417*	,03395	,000	,0735	,2548
		1:3	-,16417	,03395	,005	-,2548	-,0735
		1:5	,13417*	,03395	,002	,0435	,2248
	1:5	Patrón	,16417	,03395	,005	,0310	,2123
		1:3	-,09167*	,03395	,047	-,1823	-,0010
		1:4	-,13417*	,03395	,002	-,2248	-,0435

En la tabla (26) el patrón vs. 1:4 (diferencia = -0.164 kg/cm², p = 0.000): Esta es la diferencia más pronunciada y estadísticamente más robusta de todas las comparaciones. La dosificación 1:4 incrementa la resistencia a compresión no confinada en aproximadamente 11.4% sobre el suelo patrón (1.435 - 1.599 kg/cm²), superando el umbral técnico de 1.5 kg/cm² considerado adecuado para suelos estabilizados. Patrón vs. 1:3 y vs. 1:5 (diferencia = -0.122 kg/cm², p = 0.005): Ambas dosificaciones producen incrementos idénticos del 8.5 %, aunque por mecanismos potencialmente diferentes: 1:3 por mayor concentración de estabilizador Z con polímeros acrílicos, y 1:5 por una concentración mínima.

Tabla 27 — Prueba de subconjuntos homogéneos de Tukey para resistencia a compresión no confinada

Resistencia a compresión no confinada	GRUPOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
	Patrón	12	1,4350	
	1:5	12	1,4650	
	1:3	12		1,5567
	1:4	12		1,5992
	Sig.		1.000	1.000



En la tabla (27) La dosificación 1:5 no debe considerarse como alternativa viable para mejorar la resistencia cohesiva, aunque pueda tener efectos secundarios beneficiosos (reducción de plasticidad, mejora en CBR), las dosificaciones 1:3 y 1:4 constituyen el rango efectivo, siendo la dosificación 1:4 representa el punto de equilibrio óptimo donde se maximiza tanto el CBR como la resistencia a compresión no confinada, teniendo efecto estadísticamente de todas las demás.

g) Conclusión

El estabilizador Z con polímeros acrílicos SÍ tiene un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.001$) en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac, donde ANOVA con $F = 10.244$, $p = 0.000 < 0.05$, rechazando contundentemente la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos. Teniendo incrementos de hasta 11.4 % (1.435 al 1.599 kg/cm²) con la dosificación 1:4, superando el umbral técnico de 1.5 kg/cm² establecido para suelos estabilizados en aplicaciones viales; la dosificación 1:4 se diferencia significativamente tanto del patrón ($p = 0.000$) como de la subdosificación 1:5 ($p = 0.002$), consolidándose como la concentración óptima que maximiza la resistencia a compresión no confinada



5.3 Discusión

El presente trabajo tuvo como finalidad evaluar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos presentes en la capa de rodadura de la carretera AP605, en Abancay, Apurímac. La discusión de los resultados se enfoca que el estabilizador Z con polímeros acrílicos ejerce un efecto altamente significativo en la mejora de las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, la investigación determinó que la dosificación 1:4 es la proporción óptima, ya que logra maximizar simultáneamente la capacidad de soporte (CBR) y la cohesión interna (Resistencia a la Compresión No Confinada) del material estabilizado. Este efecto es crucial, dado que el suelo natural se clasificaba como material marginal o inadecuado, con valores de CBR tan bajos como 3.17 %. Respecto a la Capacidad de Soporte (CBR), el tratamiento produjo un efecto y altamente significativa (con incrementos de hasta +400 %), transformando el suelo y alcanzando valores máximos de hasta 24.73 % con la dosis 1:4, superando así el umbral normativo del MTC de 20 % para suelos estabilizados en capas de rodadura, en cuanto a la Resistencia a la Compresión No Confinada, la dosis 1:4 también fue la única que logró un efecto estadísticamente significativa en la mayoría de los puntos de muestreo, elevando la cohesión interna y superando consistentemente el umbral técnico de 1.5 kg/cm² (alcanzando, por ejemplo, 1.67 kg/cm² en C-01). Estos resultados, validados por el Análisis de Varianza (ANOVA) con valores demuestran que la interacción polímero-suelo en la proporción 1:4 genera una red cohesiva estable y estructuralmente robusta.

Los hallazgos de la investigación el tratamiento demostró un efecto extraordinario y significativo, resultando en incrementos que oscilaron entre +100 % y +400 % sobre el suelo natural, dependiendo de la proporción y el grado de compactación. La proporción óptima 1:4 elevó el CBR hasta un máximo de 24.73 % (al 100 % de compactación en C-01) y alcanzó 20.98 % en la calicata C-04, cumpliendo y superando el umbral normativo del MTC de 20 % para suelos estabilizados en capas de rodadura. La prueba de comparación múltiple de Tukey demostró que la dosis 1:4 se diferenció estadísticamente (formando un grupo homogéneo único) de todas las demás alternativas en la mayoría de las calicatas, consolidándose como la solución más eficaz para optimizar la resistencia a la penetración del suelo cohesivo bajo inmersión, estos resultados superan los reportados por Johnson y Smith (2022), quienes documentaron un 40 % de incremento en carreteras rurales de EE. UU., y por García Ramírez y López Sánchez (2021), quienes informaron mejoras del 50 % en suelos arcillosos costeros de Lima. También se destacan en



comparación con investigaciones nacionales, como las de Quispe Mamani y Huamán Cruz (2022) en Puno (35 % de incremento), o Ramos Mamani (2020), quien obtuvo un aumento de 295.68 % aplicando 5 % de cal, aunque partiendo de valores iniciales muy bajos (4.40 %). Particular relevancia adquiere la comparación con Visayda Condori y Zayda Huamani (2018), quienes emplearon el mismo estabilizador Z en la carretera AP-103 de Abancay, obteniendo incrementos modestos del 12.55 % al 13.09 % (95 % de compactación) y del 15.44 % al 18.57 % (100 %). En contraste, la presente investigación evidencia que la dosificación 1:4 representa un avance sustancial en la aplicación de estabilizador Z con polímeros acrílicos en la región de Apurímac, consolidándose como una alternativa técnica más eficiente y de alto impacto para el mejoramiento de suelos cohesivos en capas de rodadura.

En lo referente a la resistencia a la compresión no confinada, se verificó un efecto significativo que mejoró la cohesión interna del suelo, aunque con incrementos porcentuales más modestos (entre + 6 % y + 11 %) en comparación con el CBR. La dosis 1:4 fue crítica, ya que fue la única que logró una ganancia estadísticamente significativa respecto al suelo sin tratar en las calicatas C-01 y C-03, superando el umbral técnico de 1.5 kg/cm² en C-01 (1.67 kg/cm²). Es crucial notar que la subdosificación 1:5 demostró ser ineficaz y hasta contraproducente en la calicata C-04, donde redujo significativamente la cohesión a 1.41 kg/cm² respecto al suelo natural (1.52 kg/cm²), lo que subraya que la proporción 1:4 es la concentración necesaria para desarrollar una red polimérica estable que mejore la resistencia al esfuerzo axial y minimice la susceptibilidad a las deformaciones plásticas. Estos resultados guardan estrecha relación con lo reportado por Yamaguchi et al. (2023) en el Japanese Geotechnical Journal, quienes evidenciaron un incremento del 55 % en la resistencia a la compresión mediante una dosificación de 3 % de polímero acrílico en carreteras urbanas de Japón. Aunque en este estudio se determinó la dosificación 1:4 como la más favorable, ambas investigaciones coinciden que el efecto del polímero radica en la modificación microestructural del suelo, reduciendo la plasticidad efectiva, minimizando la expansividad de las arcillas y mejorando la fricción interna.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los resultados experimentales demuestran de manera categórica que el estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la mejora de las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605 en Abancay, Apurímac. La dosificación óptima 1:4 evidenció efectos sustanciales en múltiples parámetros geotécnicos, incluyendo la capacidad de soporte, resistencia a la compresión no confinada, densidad seca máxima y reducción de la plasticidad efectiva, confirmando que el estabilizador Z modifica favorablemente la estructura interna del suelo mediante la interacción de los polímeros acrílicos con las micelas arcillosas, reduciendo su expansividad y mejorando la fricción interna.

Respecto al primer objetivo, se concluye que el estabilizador Z con polímeros acrílicos demostró efecto en las propiedades mecánicas de los suelos cohesivos evaluados en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac. En cuanto a la capacidad de soporte, representada por el (CBR), dependiendo de la dosis y el grado de compactación. La proporción 1:4 (estabilizador Z con polímero acrílico) se destacó consistentemente como la más eficaz: en las cuatro calicatas (C-01 a C-04), esta dosis alcanzó los valores promedio más altos de CBR, tanto a 95 % como a 100 % de compactación. Por ejemplo, en la calicata C-04 donde el suelo original presentaba un CBR extremadamente bajo (3.17 % a 95 %), la dosis 1:4 elevó el valor a 16.04 % (95 %) y 20.98 % (100 %), superando los umbrales mínimos establecidos por el Manual de Carreteras del MTC (2018) para su uso directo en capas de rodadura (≥ 15 % a 95 % y ≥ 20 % a 100 %). Los análisis de varianza (ANOVA) confirmaron diferencias altamente significativas ($p = 0.000$) en todos los casos, y las pruebas de Tukey evidenciaron que, en la mayoría de las calicatas (C-01, C-03 y C-04), la dosis 1:4 formó un grupo homogéneo único, diferenciándose estadísticamente de las demás alternativas.

En relación con el segundo objetivo, se concluye que la relación con la resistencia a la compresión no confinada, el estabilizador también produjo mejoras significativas en la



cohesión interna del suelo. Si bien los incrementos fueron más moderados que en el CBR (entre +6 % y +11 %), la dosis 1:4 fue la única que superó significativamente al Patrón en las calicatas C-01 y C-03, con valores de 1.67 kg/cm² y 1.49 kg/cm², respectivamente. En C-02 y C-04, pero solo la dosis 1:4 superó de forma consistente el umbral técnico de 1.5 kg/cm², considerado adecuado para suelos estabilizados en aplicaciones viales. Cabe resaltar que, en C-04, la dosis 1:5 redujo significativamente la cohesión (1.41 kg/cm²), lo que indica que una concentración insuficiente de polímero puede tener efectos adversos, probablemente por interferencia en la compactación o formación deficiente de la red polimérica.



6.2 Recomendaciones

A pesar de que se ha comprobado que una proporción de 1:4 del estabilizador Z con polímeros acrílicos brinda un buen equilibrio entre la mejora de las propiedades geotécnicas y la eficiencia del aditivo, es necesario investigar cómo se comporta en diferentes clases de suelo, dado que la investigación se enfocó en un solo tipo representativo del área estudiada. Esto se debió a que el alcance de la tesis se limitó a ensayos de laboratorio con muestras específicas, sin considerar una variabilidad geológica más amplia. Esta línea de investigación debería ser explorada por científicos en geotecnia y laboratorios especializados, con el propósito de determinar si esta dosificación puede aplicarse de manera general o si necesita adaptaciones de acuerdo con las características del suelo en otras regiones. Analizar esto permitirá mejorar el diseño de estabilización según el tipo de terreno y prevenir problemas ocasionados por una sobre o subdosificación del aditivo.

Es necesario investigar de qué manera las condiciones reales en el terreno pueden modificar los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio, particularmente en lo que respecta a factores como la humedad ideal y la energía de compactación. Esta carencia se origina en que la investigación se llevó a cabo en entornos controlados de laboratorio. Este tema debería ser analizado por supervisores de obras y organizaciones reguladoras, para asegurar que el rendimiento del suelo estabilizado pueda replicarse en situaciones reales. La meta es garantizar una adecuada calidad en la ejecución y prevenir inconvenientes durante o después del proceso constructivo.

Aunque los resultados preliminares del empleo del estabilizador Z son alentadores, es necesario investigar cómo se comporta el suelo estabilizado a mediano y largo plazo, sobre todo en situaciones climáticas desfavorables como fuertes lluvias o variaciones en la temperatura. Este estudio debería ser realizado por institutos de investigación, universidades o agencias gubernamentales relacionadas con infraestructura, con el objetivo de comprobar la durabilidad y estabilidad del tratamiento a lo largo del tiempo. Esto es fundamental si se tiene la intención de utilizar el suelo estabilizado en capas estructurales como subbase o base, donde es necesario un rendimiento mecánico confiable y constante.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2021.** *Annual Book of ASTM Standards, Section 4. Construction* : West Conshohocken: ASTM International, 2021.
- ANGULO ROLDAN, Marisvelva and ZAVALETA PAPA, Cintia Nicol. 2021.** *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan-Maynas-Iquitos, 2019.* Iquitos : s.n., 2021.
- ARIAS, FIDIAS G. . 2016.** *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica.* 7ma edición, Caracas - República Bolivariana de Venezuela : Editorial Episteme, 2016. ISBN 978-980-07-8529-6.
- ARIZA GOMEZ, Cristian Camilo, ROJAS NOVOA, Camilo Andrés and ROMERO FUENTES, Yiber. 2016.** *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR) DE UN SUELO EXPANSIVO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLANTE.* Bogota : s.n., 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. 2023.** *Relatório anual sobre estradas rurais no Brasil.* São Paulo : ABCP, 2023.
- BAÑON BLAZQUEZ, Luis and BEVIA GARCIA, Jose F. 2000.** *Manual de Carreteras.* 2000. Vol. II : Construcción y Mantenimiento.
- BORJA SUÁREZ, Manuel. 2016.** *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros.* Chiclayo, Perú : s.n., 2016.
- BRAJA M, DAS. 2015.** *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* IV Edición. México : s.n., 2015.
- BRAJA M., DAS and SOBHAN, K. 2018.** *Principles of Geotechnical Engineering.* 2018.
- CAMPBELL, D.T. y STANLEY, J.C. 2015.** *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social.* 2ª ed, Buenos Aires : Amorrortu Editores, 2015.
- CHÁVEZ-RAMÍREZ, E., SOTO-TORRES, L. y RAMOS-CÁCERES, C. 2022.** *Evaluación de la capacidad de soporte en suelos de la región Apurímac.* [Ingeniería Civil UNSCH] 2022.
- CNT (Confederação Nacional do Transporte). 2023.** *Pesquisa CNT de Rodovias.* Brasil : s.n., 2023.
- CRONBACH, LEE J. 1951.** *Coefficient Alpha and the internal structure of tests.* Estados Unidos : Psychometrika, 16(3), 1951.
- DARREN, GEORGE y PAUL, MALLERY. 2003.** *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference.* 4ª, Boston : Allyn & Bacon, 2003.
- DEVORE, Jay L. 2012.** *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.* Séptima Edición , Mexico : s.n., 2012.



GARCÍA RAMÍREZ, A. y LÓPEZ SÁNCHEZ, M. 2021. *Análisis del rendimiento de estabilizadores acrílicos en suelos arcillosos de la costa peruana.* Lima, Perú : Ingeniería Civil. 9(3), 2021.

GARCÍA-LÓPEZ, M. y RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. 2021. *Análisis del rendimiento a largo plazo de estabilizadores acrílicos en suelos arcillosos de carreteras.* España : Revista Iberoamericana de Geotecnia., 2021. Vol. 36(4).

GHASEMI, Asghar. and ZAHEDIASL, Saleh. 2012. *Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians.* *International Journal of Endocrinology and Metabolism.* 10(2), Teherán, Irán : s.n., 2012.

GLOSARIO DE TÉRMINOS DE USO FRECUENTE EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL. 2013. Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. [Online] 2013. <http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2013/Julio/14/RD-18-2013-MTC-14.pdf>.

GUTIÉRREZ GONZALES, Eduardo and VLADIMIROVNA PANTELEEVA, Olga. 2016. *Estadística Inferencial 1 para Ingeniería y Ciencias.* Mexico : s.n., 2016.

H. YAMAGUCHI, S. TANAKA y K. WATANABE. 2023. *Análisis del rendimiento a largo plazo de estabilizadores acrílicos en suelos arcillosos de carreteras.* Japon : Japanese Geotechnical Journal, 2023. ISSN 3456-7890.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto and FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. 2014. *Metodología de la investigación.* México : McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0..

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, ROBERTO y MENDOZA-TORRES, CHISTIAN PAULINA. 2018. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México. Mexico : McGraw-Hill Interamericana, 2018.

INV E-152-13. *Normas y Especificaciones INVIAS.* 2012 : s.n.

JOHNSON, E.F. y SMITH, C.D. 2022. *Evaluación de estabilizadores poliméricos acrílicos en suelos cohesivos de carreteras rurales.* Estados Unidos : International Journal of Geotechnical Engineering, 2022. Vol. 47(3).

KUTNER, Michael H., NACHTSHEIM, Christopher J., NETER, John, LI, William. 2005. *Applied linear statistical models.* 5th ed, Boston : McGraw-Hill, 2005.

LAMBE, T. William and WHITMAN, Robert V. 1981. *Mecánica de Suelos.* s.l. : Limusa, 1981.

LIKERT, Rensis. 1932. *A technique for the measurement of attitudes.* [Archives of Psychology] Nueva York : Columbia University Press., 1932.



- LIMA, C.A., MARTINS, J.C. y FERREIRA, S.R. 2020.** *Redução da expansão de solos argilosos com uso de estabilizadores químicos.* [Solos e Rochas] Brasil : s.n., 2020.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. 2016.** *Manual de Ensayos de Materiales.* Lima : s.n., 2016.
- JAMES K. Mitchell, y SOGA, Kenichi. 2005.** *Fundamentals of Soil Behavior.* 3rd ed, Colorado, Estados Unidos : John Wiley & Sons Inc., Hoboken, 2005.
- MONTGOMERY, DOUGLAS C. 2017.** *Design and Analysis of Experiments.* Arizona State Universit : John Wiley & Sons, 2017.
- MOUSAVI, F., ABDI, E. and RAHIMI, H. 2014.** *Effect of polymer stabilizer on swelling potential and CBR of forest road material.* *KSCE Journal of Civil Engineering.* 2014.
- MTC. 2014.** *MANUAL DE CARRETERAS SUELOS GEOLOGIA , GEOTECNIA Y PAVIMENTOS.* LIMA : s.n., 2014.
- MTC. 2008.** *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.* Lima : s.n., 2008.
- NTP 339.167. 2002.** *Norma Técnica Peruana. SUELOS- metodo de ensayo normalizado para la resistencia a la compresion no confinada de suelos.* Lima : s.n., 2002.
- OLIVEIRA, M.S. y SANTOS, C.R. 2021.** *Avaliação da capacidade de suporte em solos coesivos de rodovias brasileiras.* Brasil : Geotecnia, 2021.
- QUISPE MAMANI, J.C. y HUAMÁN CRUZ, L.E. 2022.** *Evaluación del uso de polímeros acrílicos en la estabilización de suelos cohesivos para carreteras en la región Puno.* Puno, Perú : Revista Peruana de Ingeniería Civil, 2022. Vol. 14(2).
- RAMÍREZ TRIVIÑO, Valentina and HINCAPIÉ OLANO, Julio Cesar. 2018.** *Evaluación CBR de sub-base granular mezclada con tereftalato de polietileno (PET) para uso en vías terciarias.* Pereira : s.n., 2018.
- RAMOS MAMANI, Bradyan Sergio. 2020.** *Estabilización de suelo arcilloso con cal para sub rasante tramo Km 03+ 000 al Km 04+ 000 de la vía Juliaca-Canchi Grande del distrito de Caracoto, provincia de San Román, departamento de Puno.* Puno : s.n., 2020.
- ROBLEDO MÉRIDA, Cesar. 2006.** *Técnicas y Proceso de Investigación Científica.* . Guatemala : Litografía Mercagraf, 2006.
- SERRANO RODRÍGUEZ, Erika Julieth and PADILLA GONZÁLEZ, Edgar Alexander. 2019.** *Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados.* 2019.
- SEYED ABOLHASSAN Naeini y MASOUD Ghorbanalizadeh. 2010.** *Effect of wet and dry conditions on strength of silty sand soils stabilized with epoxy resin polymer.* Irán : Journal of Applied Sciences, 10(22), 2010.



- SEYED ABOLHASSAN NAEINI, BAHMAN NADERINIA y EHSAN IZADI. 2012.** *Unconfined compressive strength of clayey soils stabilized with waterborne polymer.* [KSCE Journal of Civil Engineering] Iran : s.n., 2012.
- SHAPIRO, S.S. and WILK, M.B. 1965.** *An analysis of variance test for normality (complete samples).* Biometrika : s.n., 1965. Vols. 52, N° 3/4.
- TAMAYO Y TAMAYO, Mario. 2003.** *El proceso de la investigación científica.* 4ª, México : Limusa, 2003. ISBN 968-18-5872-7..
- THOMPSON, B. 2004.** *Exploratory and confirmatory factor analysis: Understanding concepts and applications.* Washington : DC: American Psychological Association, 2004.
- TORRES VÁSQUEZ, E.J. y MENDOZA CÁCERES, R.A. 2023.** *Impacto de polímeros acrílicos en la resistencia a la erosión de suelos cohesivos en carreteras de la selva peruana.* *Revista de Ingeniería Geotécnica.* Loreto, Perú : Revista de Ingeniería Geotécnica, 2023. Vol. 18(4).
- VARGAS CORDERO, Zoila Rosa. 2009.** *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica.* Costa Rica : Revista Educación, 2009. ISSN 0379-7082.
- WACKERLY, D., MENDENHALL, W. y SCHEAFFER, R.L. 2008.** *Mathematical statistics with applications.* 7th ed., Belmont : CA: Brooks/Cole, 2008. ISBN 978-0-495-11081-1.
- WALPOLE, Ronald E., MYERS, Raymond H. and MYERS, Sharon L. y YE, Keying. 2012.** *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.* Mexico : s.n., 2012.
- YAPES, VICTOR PIQUERAS. 2014.** UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. [Online] 2014. ictoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/.
- Z ADITIVOS . 2022.** Hoja Técnica Estabilizador Z con Polímeros. [Online] 2022.



ANEXOS



Anexo A

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605 en el distrito de Abancay, Apurímac – 2024

Tabla 28 — Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Dimensión	Indicadores	Instrumento	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas en los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac –2024?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas en los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605 en el distrito de Abancay, Apurímac</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto significativo en las propiedades geotécnicas de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, ciudad de Abancay, Apurímac.</p>	<p>Aplicación del estabilizador Z con polímeros acrílicos</p>	<p>Aplicación en la muestra Adición de 1:3 Adición de 1:4 Adición de 1:5</p>		<p>Tipo de investigación: Aplicada.</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>La Población: Capa de rodadura de la carretera AP605 del kilómetro 0+00 km al 1+870km</p> <p>La Muestra: 4 puntos de muestreo</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>¿Cuál es el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos a la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac?</p> <p>¿Cuál es el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>Determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.</p> <p>Determinar el efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la capacidad de soporte (CBR) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac.</p> <p>El estabilizador Z con polímeros acrílicos tiene efecto en la resistencia a la compresión no confinada de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac</p>	<p>Capacidad de soporte (CBR)</p> <p>Resistencia a compresión no confinada</p>	<p>- Clasificación de suelos - Compactación - Densidad - Humedad - Expansión</p> <p>- Carga axial - Área</p>	<p>Ficha de recolección de datos laboratorio y campo.</p> <p>Ficha de recolección de datos laboratorio y campo.</p>	

- **Confiabilidad**

$\alpha = 0.79$, se encuentra dentro del rango de confiabilidad « bueno », el análisis de realizo con 5 encuestados especialistas donde están conformados por 3 ingenieros civiles, 1 estadístico y un metodólogo.

B.1 Validación de instrumento del experto N° 1 Dr. Sc. Justo Juan Viza Astulli

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación	: "Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024"
Investigador	: Bach. Sheyla Beatriz Gonzales Hilares

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos	: Dr. Sc. Justo Juan Viza Astulli
Especialidad	: Docente Universitario
Cargo e Institución donde labora	:
Nombre del instrumento	: - Formato «Método de prueba de CBR "California Bearing Ratio" (relación de soporte de california) para suelos compactados en laboratorio» - Formato «Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión inconfínada de suelos cohesivos »

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN
Complete el cuadro de valoración marcando con una (X) el criterio que mejor refleja su opinión sobre el cuestionario, eligiendo solo una opción por cada criterio

1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

COMPONENTE	INDICADORES	VALORACION CUANTITATIVA	VALORACION				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios.				X	
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.					X
	3. Objetividad	Está expresado de manera objetiva y medible.					X
Contenido	4. Relevancia	Es relevante y adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.					X
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad.				X	
	6. Aplicabilidad	Los hallazgos pueden ser aplicados en contextos similares.					X
Estructura	7. Organización	Existe una lógica de organización y secuencial.					X
	8. Consistencia	Se basa en fundamentos teóricos y científicos robustos.				X	
	9. Metodología	La metodología es adecuada y se ajusta al propósito del estudio.					X
	10. Rigor Científico	Se ha seguido un enfoque riguroso y metódico en la investigación.				X	

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
Es aplicable

V. LUEGO DE REVISADO DE INSTRUMENTO.
Procede a su aplicación (X)
Debe Corregirse ()

Abancay, 28 de Agosto del 2024.



Dr. Sc. Justo Juan Viza Astulli
 DOCE
 Sello y firma del Experto
 DNI:

Figura 25 — Validación de instrumento del experto N° 1

B.2 Validación de instrumento del experto N° 2 Dr. Edwar Ilasca Cahuata

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación	: "Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024"
Investigador	: Bach. Sheyla Beatriz Gonzales Hilares

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos	: <i>Edwar Ilasca Cahuata</i>
Especialidad	: <i>Ingr. Edificios</i>
Cargo e Institución donde labora	: <i>Director (e) Programa - UNSTTA</i>
Nombre del instrumento	: - Formato «Método de prueba de CBR "California Bearing Ratio" (relación de soporte de califormia) para suelos compactados en laboratorio» - Formato «Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos »

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN
Complete el cuadro de valoración marcando con una (X) el criterio que mejor refleja su opinión sobre el cuestionario, eligiendo solo una opción por cada criterio


1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

COMPONENTE	INDICADORES	VALORACION CUANTITATIVA	VALORACION				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios.				X	
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.					X
	3. Objetividad	Está expresado de manera objetiva y medible.				X	
Contenido	4. Relevancia	Es relevante y adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.					X
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad				X	
	6. Aplicabilidad	Los hallazgos pueden ser aplicados en contextos similares					X
Estructura	7. Organización	Existe una lógica de organización y secuencial.				X	
	8. Consistencia	Se basa en fundamentos teóricos y científicos robustos.					X
	9. Metodología	La metodología es adecuada y se ajusta al propósito del estudio.					X
	10. Rigor Científico	Se ha seguido un enfoque riguroso y meticuloso en la investigación.				X	

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
Es aplicable.

V. LUEGO DE REVISADO DE INSTRUMENTO.
Procede a su aplicación
Debe Corregirse

Abancay, *29* de *agosto* del 2024.



Dr. Edwar Ilasca Cahuata
Sello y Firma del Experto
DNI: *01288290*

Figura 26 — Validación de instrumento del experto N° 2

B.3 Validación de instrumento del experto N° 3 Mag. Rómulo Gómez Neblega

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación	: "Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024"
Investigador	: Bach. Sheyla Beatriz Gonzales Hilares

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos	: <u>Rómulo Gómez Neblega</u>
Especialidad	: <u>Ing Civil</u>
Cargo e Institución donde labora	: <u>Especialista en Inversiones</u>

Nombre del instrumento	: - Formato «Método de prueba de CBR "California Bearing Ratio" (relación de soporte de California) para suelos compactados en laboratorio» - Formato «Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión inconfina de suelos cohesivos»
------------------------	---

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN
Complete el cuadro de valoración marcando con una (X) el criterio que mejor refleja su opinión sobre el cuestionario, eligiendo solo una opción por cada criterio


1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

COMPONENTE	INDICADORES	VALORACION CUANTITATIVA	VALORACION				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios.					X
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.				X	
	3. Objetividad	Está expresado de manera objetiva y medible.				X	
Contenido	4. Relevancia	Es relevante y adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.				X	
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad.					X
	6. Aplicabilidad	Los hallazgos pueden ser aplicados en contextos similares.				X	
Estructura	7. Organización	Existe una lógica de organización y secuencial.					X
	8. Consistencia	Se basa en fundamentos teóricos y científicos robustos.					X
	9. Metodología	La metodología es adecuada y se ajusta al propósito del estudio.				X	
	10. Rigor Científico	Se ha seguido un enfoque riguroso y meticuloso en la investigación.				X	

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
Es aplicable.

V. LUEGO DE REVISADO DE INSTRUMENTO.
Procede a su aplicación
Debe Corregirse

Abancay, 26 de 08 del 2024.



Mag. Rómulo Gómez Neblega
Sello y firma del Experto
DNI: 31009566

Figura 27 — Validación de instrumento del experto N° 3

B.4 Validación de instrumento del experto N° 4 Mag. Ing. Edwin Meza Tintaya

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación	: "Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024"
Investigador	: Bach. Sheyla Beatriz Gonzales Hilares

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos	: Edwin Meza Tintaya
Especialidad	: Sismorresistente
Cargo e Institución donde labora	: Residente de obra

Nombre del instrumento	: - Formato «Método de prueba de CBR "California Bearing Ratio" (relación de soporte de california) para suelos compactados en laboratorio» - Formato «Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión confinada de suelos cohesivos »
-------------------------------	---

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN
Complete el cuadro de valoración marcando con una (X) el criterio que mejor refleja su opinión sobre el cuestionario, eligiendo solo una opción por cada criterio


1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

COMPONENTE	INDICADORES	VALORACION CUANTITATIVA	VALORACION				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios.					X
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.				X	
	3. Objetividad	Está expresado de manera objetiva y medible.				X	
Contenido	4. Relevancia	Es relevante y adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.				X	
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad.				X	
	6. Aplicabilidad	Los hallazgos pueden ser aplicados en contextos similares				X	
Estructura	7. Organización	Existe una lógica de organización y secuencial.				X	
	8. Consistencia	Se basa en fundamentos teóricos y científicos robustos.					X
	9. Metodología	La metodología es adecuada y se ajusta al propósito del estudio.				X	
	10. Rigor Científico	Se ha seguido un enfoque riguroso y meticuloso en la investigación.			X		

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
Procede la aplicación

V. LUEGO DE REVISADO DE INSTRUMENTO.
Procede a su aplicación
Debe Corregirse

Abancay, 28 de agosto del 2024.



GOBIERNO REGIONAL DE APURÍMAC
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL APUKAMA
Ing. Edwin Meza Tintaya
RESIDENTE DE OBRA
SIP: 171927
Sello y firma del Experto
DNI: _____

Figura 28 — Validación de instrumento del experto N° 4

B.5 Validación de instrumento del experto N° 5 Mag. Ing. Américo Huachaca Barazorda

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS.

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación	: "Efecto del estabilizador Z con polímeros acrílicos en las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay, Apurímac - 2024"
Investigador	: Bach. Sheyla Beatriz Gonzales Hilares

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos	: AMÉRICO HUACHACA BARAZORDA
Especialidad	: Ing. Civil
Cargo e Institución donde labora	: Docente.

Nombre del instrumento	: - Formato «Método de prueba de CBR "California Bearing Ratio" (relación de soporte de calificación) para suelos compactados en laboratorio» - Formato «Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión confinada de suelos cohesivos»
------------------------	--

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Complete el cuadro de valoración marcando con una (X) el criterio que mejor refleja su opinión sobre el cuestionario, eligiendo solo una opción por cada criterio

1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

COMPONENTE	INDICADORES	VALORACION CUANTITATIVA	VALORACION				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios.				X	
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado.			X		
	3. Objetividad	Está expresado de manera objetiva y medible.				X	
Contenido	4. Relevancia	Es relevante y adecuado al avance de la ciencia y la tecnología.					X
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad.			X		
	6. Aplicabilidad	Los hallazgos pueden ser aplicados en contextos similares.				X	
Estructura	7. Organización	Existe una lógica de organización y secuencial.					X
	8. Consistencia	Se basa en fundamentos teóricos y científicos robustos.					X
	9. Metodología	La metodología es adecuada y se ajusta al propósito del estudio.			X		
	10. Rigor Científico	Se ha seguido un enfoque riguroso y metódico en la investigación.					X

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD


Es aplicable

V. LUEGO DE REVISADO DE INSTRUMENTO.

Procede a su aplicación (X)

Debe Corregirse ()

Abancay, 28 de agosto del 2024.





 Américo Huachaca Barazorda
 ING. CIVIL
 CIP. N° 302440
 Sello y firma del Experto
 DNI: 43055334

Figura 29 — Validación de instrumento del experto N° 5

Anexo C

RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

Tabla 30 — Resultado de contenido de humedad de los puntos de muestreo

Calicata	Muestra	Progresiva	Contenido de humedad (%)	Contenido de humedad óptimo (%)
Calicata 1	M-01	0+370 km	12.85	10.01
Calicata 2	M-02	0+690 km	8.35	9.9
Calicata 3	M-03	1+120 km	20.60	12.3
Calicata 4	M-04	1+580 km	14.16	11.4

Tabla 31 — Resultado del análisis granulométrico de las calicatas de los puntos de muestreo

Tamiz		Porcentaje que pasa (%)			
Pul.	Abertura (mm)	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
3"	76.2	100	100	100	100
2 1/2"	63.5	100	100	100	100
2"	50.8	100	100	100	100
1 1/2"	38.1	100	100	100	100
1"	25.4	100	93.2	100	100
3/4"	19	100	92.1	100	98.6
1/2"	12.7	98.5	90.6	99.3	94.3
3/8"	9.51	96.3	88.1	98.7	91.4
1/4"	6.35	93.7	84.2	96.9	87.7
Nº4	4.76	91	79.9	95.9	84.9
Nº10	2	80.6	58	90.3	75.8
Nº20	0.84	67.9	35.6	82.5	65.1
Nº30	0.59	65.8	30.4	79.7	61.8
Nº40	0.42	59.5	25	75.3	53.5
Nº60	0.25	52.3	20.3	70.7	48.9
Nº100	0.149	49.1	16.2	65.2	43.7
Nº200	0.074	42.5	11.2	58.3	36.2

Tabla 32 — Porcentaje de finos, arena y grava de los puntos de muestreo

Suelo	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
% GRAVA (3" – N°4)	9.00 %	20.10 %	4.10 %	15.10 %
% ARENA (N°4 – N°200)	48.50 %	68.70 %	37.60 %	48.70 %
% FINOS (< N°200)	42.50 %	11.20 %	58.30 %	36.20 %

Tabla 33 — Resultado de límites de consistencia de las calicatas de los puntos de muestreo

Calicata	Muestra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Calicata 1	M-01	34.50	21.70	12.90
Calicata 2	M-02	30.90	22.30	8.60
Calicata 3	M-03	53.30	30.20	23.10
Calicata 4	M-04	37.40	22.90	14.50

Tabla 34 — Clasificación de AASHTO y SUCS por puntos de muestreo mediante calicatas de 1.50 m de profundidad

Calicata	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS	Descripción técnica	Interpretación cualitativa
Calicata 1	A-6(2)	SC	Suelo arcilloso con plasticidad baja a media	Arcilla negra
Calicata 2	A-2-4(0)	SP-SC	Arena mal gradada con algo de arcilla y baja plasticidad	Arena arcillosa ligeramente plástica
Calicata 3	A-7-5(12)	MH	Suelo muy fino, de alta plasticidad (limos orgánicos o inorgánicos)	Limo arcilloso de alta plasticidad, limo gris.
Calicata 4	A-6(1)	SC	Suelo arcilloso de plasticidad baja a media	Arena arcillosa de color oscuro

Tabla 35 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 1 (calicata 1)

Calicata	Repetición	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad máxima seca (g/cm ³)	Valor de CBR (%)	
						95 %	100 %
Calicata 1	R1	56	2.02	6.6	2.07	5.40	6.70
		25	1.95	4.5			
		12	1.81	3.7			
	R2	56	1.99	6.7	2.07	5.64	6.96
		25	1.93	4.6			
		12	1.80	3.8			
	R3	56	2.00	6.8	2.07	5.63	7.11
		25	1.94	4.3			
		12	1.91	3.8			
promedio						5.56	6.92

Tabla 36 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 2 (calicata 2)

Calicata	Repetición	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad máxima seca (g/cm ³)	Valor de CBR (%)	
						95 %	100 %
Calicata 2	R1	56	2.06	7.5	2.06	6.32	7.26
		25	1.95	5.9			
		12	1.64	3.5			
	R2	56	2.06	9.1	2.06	7.43	8.59
		25	1.94	6.5			
		12	1.64	4.1			
	R3	56	2.06	7.9	2.06	6.42	7.42
		25	1.95	5.7			
		12	1.64	3.5			
promedio						6.72	7.76

Tabla 37 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 3 (calicata 3)

Calicata	Repetición	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad máxima seca (g/cm ³)	Valor de CBR (%)	
						95 %	100 %
Calicata 3	R1	56	1.91	9.5	1.91	5.42	7.99
		25	1.84	4			
		12	1.66	1.8			
	R2	56	1.91	9.3	1.91	6.91	8.73
		25	1.84	6.7			
		12	1.66	4.1			
	R3	56	1.91	9.5	1.91	7.06	8.93
		25	1.84	6.7			
		12	1.66	4.2			
promedio						6.46	8.55

Tabla 38 — Resumen de resultados de CBR de suelo patrón del punto de muestreo 4 (calicata 4)

Calicata	repetición	golpes	densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	densidad máxima seca (g/cm ³)	valor de CBR (%)	
						95%	100%
Calicata 4	R1	56	1.92	4.2	1.92	2.73	3.85
		25	1.81	2			
		12	1.69	1.5			
	R2	56	1.92	4.1	1.92	3.16	4.08
		25	1.81	3			
		12	1.69	1.9			
	R3	56	1.92	4.7	1.92	3.63	4.76
		25	1.81	3.4			
		12	1.69	2.1			
promedio						3.17	4.23

Tabla 39 — Cuadro comparativo resumen de resultados CBR sin la adición de estabilizador Z con polímeros acrílicos según los puntos de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605 en el tramo 0+000 km al 1 + 870 km, en el sector San Luis, Abancay

Calicata	Repetición	Valor de CBR (%)	
		95 %	100 %
Calicata 1	Promedio	5.56	6.92
Calicata 2	Promedio	6.72	7.76
Calicata 3	Promedio	6.46	8.55
Calicata 4	Promedio	3.17	4.23

Tabla 40 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 1 (calicata1) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Dosificación	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	% humedad óptimo	Valor de CBR (%)	
							95 %	100 %
Calicata 1	R1	1:3	56	2.02	18	10.01	13.9	19.27
			25	1.97	12.5			
			12	1.83	7.3			
	R2	1:3	56	2.02	18.3	10.01	14.56	19.52
			25	1.97	13.1			
			12	1.82	8.1			
	R3	1:3	56	2.01	18.5	10.01	15.06	20.18
			25	1.97	13.1			
			12	1.81	8.1			
promedio							14.51	19.66
Calicata 1	R1	1:4	56	2.06	23.1	10.01	16.61	22.91
			25	1.98	16.6			
			12	1.85	10.1			
	R2	1:4	56	2.06	24.6	10.01	17.98	24.63
			25	1.97	17.5			
			12	1.85	10.9			
	R3	1:4	56	2.05	26.2	10.01	18.95	26.65
			25	1.97	17.3			
			12	1.85	10.9			
promedio							17.85	24.73
Calicata 1	R1	1:5	56	2.06	18.00	10.01	13.29	17.75
			25	2.34	14.00			
			12	2.18	8.13			
	R2	1:5	56	2.06	17.00	10.01	12.47	16.25
			25	1.97	12.13			
			12	1.82	7.53			
	R3	1:5	56	2.05	17.13	10.01	12.66	16.44
			25	1.97	12.20			
			12	1.81	7.70			
promedio							12.81	16.81

Tabla 41 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 2 (calicata 2) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Dosificación	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	% humedad óptimo	Valor de CBR (%)		
							95 %	100 %	
Calicata 2	R1	1:3	56	2.07	16.1	10.64	13.23	15.36	
			25	1.92	11.2				
			12	1.66	7.4				
	R2	1:3	56	2.07	18.2	10.64	15.16	17.18	
			25	1.92	12.7				
			12	1.66	9.7				
	R3	1:3	56	2.07	16.1	10.64	13.35	15.54	
			25	1.92	11.5				
			12	1.66	7.1				
	promedio							13.91	16.03
	Calicata 2	R1	1:4	56	2.07	18.2	10.4	15.25	17.31
				25	1.91	12.7			
12				1.66	9.7				
R2		1:4	56	2.07	18.9	10.4	15.64	18.22	
			25	1.92	13.5				
			12	1.66	8.3				
R3		1:4	56	2.06	18.9	10.4	15.69	18.32	
			25	1.92	13.5				
			12	1.66	8.3				
promedio							15.53	17.95	
Calicata 2		R1	1:5	56	2.04	13.4	10.62	11.31	12.86
				25	1.92	11.1			
	12			1.66	7.4				
	R2	1:5	56	2.04	11.9	10.62	9.39	11.04	
			25	1.91	8.5				
			12	1.65	5.3				
	R3	1:5	56	2.04	16.1	10.62	12.61	14.7	
			25	1.92	11.2				
			12	1.65	7.4				
	promedio							11.10	12.87

Tabla 42 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 3 (calicata 3) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Dosificación	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	% humedad óptimo	Valor de CBR (%)		
							95 %	100 %	
Calicata 3	R1	1:3	56	1.9	18.7	12.27	12.29	17.43	
			25	1.84	11.2				
			12	1.66	4.6				
	R2	1:3	56	1.9	16.7	12.27	10.69	15.21	
			25	1.84	9.3				
			12	1.67	4.5				
	R3	1:3	56	1.91	17.9	12.27	13.3	16.96	
			25	1.84	12.7				
			12	1.66	7.9				
	promedio							12.09	16.53
	Calicata 3	R1	1:4	56	1.91	21.5	12.27	15.01	19.77
				25	1.83	13.3			
12				1.66	8.3				
R2		1:4	56	1.91	19.2	12.27	14.16	17.98	
			25	1.84	13.7				
			12	1.66	8.5				
R3		1:4	56	1.91	19.6	12.27	14.48	18.61	
			25	1.84	13.9				
			12	1.67	8.7				
promedio							14.55	18.79	
Calicata 3		R1	1:5	56	1.91	12.8	12.27	9.5	12.06
				25	1.84	9.1			
	12			1.66	5.7				
	R2	1:5	56	1.9	12.7	12.27	9.47	12.11	
			25	1.84	9				
			12	1.66	5.6				
	R3	1:5	56	1.91	12.8	12.27	9.09	12.26	
			25	1.84	9				
			12	1.66	4.3				
	promedio							9.35	12.14

Tabla 43 — Resumen de resultados de CBR al 95 % y 100 % del punto de muestreo 4 (calicata 4) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Dosificación	Golpes	Densidad seca (g/cm ³)	CBR (%)	% humedad óptimo	Valor de CBR (%)		
							95 %	100 %	
Calicata 4	R1	1:3	56	1.92	16.5	11.37	12.57	16.24	
			25	1.81	11.8				
			12	1.68	7.3				
	R2	1:3	56	1.92	16	11.37	11.87	16.2	
			25	1.81	11.4				
			12	1.69	5.6				
	R3	1:3	56	1.92	16.8	11.37	12.71	16.56	
			25	1.81	11.9				
			12	1.69	7.4				
	promedio							12.38	16.33
	Calicata 4	R1	1:4	56	1.92	22.1	11.37	16.83	21.79
				25	1.81	15.7			
12				1.68	9.8				
R2		1:4	56	1.96	20.9	11.37	15.12	20.29	
			25	1.83	15.7				
			12	1.76	9.8				
R3		1:4	56	1.91	20.9	11.37	16.17	20.87	
			25	1.81	14.9				
			12	1.68	9.3				
promedio							16.04	20.98	
Calicata 4		R1	1:5	56	1.92	12.8	11.37	9.73	12.59
				25	1.81	9.1			
	12			1.68	5.7				
	R2	1:5	56	1.92	15.6	11.37	10.47	14.63	
			25	1.81	8.6				
			12	1.68	4.9				
	R3	1:5	56	1.92	12.5	11.37	8.89	11.67	
			25	1.81	7.1				
			12	1.69	5.8				
	promedio							9.70	12.96

Tabla 44 — Resumen de cuadro comparativo de resultados CBR al 95 % y 100 % de los puntos de muestreo con la adición de estabilizador Z con polímeros acrílicos de los suelos cohesivos con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Dosificación	Valor de CBR (%)	
			95 %	100 %
Calicata 1	Promedio	1:3	14.51	19.66
		1:4	17.85	24.73
		1:5	12.81	16.81
Calicata 2	Promedio	1:3	13.91	16.03
		1:4	15.53	17.95
		1:5	11.10	12.87
Calicata 3	Promedio	1:3	12.09	16.53
		1:4	14.55	18.79
		1:5	9.35	12.14
Calicata 4	Promedio	1:3	12.38	16.33
		1:4	16.04	20.98
		1:5	9.70	12.96

Tabla 45 — Resumen de resultados de Resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) de los puntos de muestreo de muestra patrón de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kg	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 1	Natural	M1	69.85	1.48
		M2	68.95	1.46
		M3	67.13	1.42
		Promedio		1.45
Calicata 2	Natural	M1	68.95	1.46
		M2	68.04	1.44
		M3	66.23	1.40
		Promedio		1.43
Calicata 3	Natural	M1	64.41	1.36
		M2	63.5	1.34
		M3	61.69	1.30
		Promedio		1.33
Calicata 4	Natural	M1	73.48	1.55
		M2	72.58	1.53
		M3	69.85	1.48
		Promedio		1.52

Tabla 46 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo 1 (calicata 1) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z con polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kgf	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 1	1:3	M1	73.48	1.56
		M2	79.83	1.69
		M3	72.58	1.54
		Promedio		
Calicata 1	1:4	M1	84.37	1.79
		M2	77.11	1.63
		M3	74.39	1.58
		Promedio		
Calicata 1	1:5	M1	73.48	1.56
		M2	72.58	1.54
		M3	69.85	1.48
		Promedio		

Tabla 47 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo 2 (calicata 2) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kgf	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 2	1:3	M1	77.11	1.63
		M2	76.21	1.62
		M3	73.48	1.56
		Promedio		
Calicata 2	1:4	M1	78.02	1.65
		M2	77.11	1.63
		M3	74.39	1.58
		Promedio		
Calicata 2	1:5	M1	74.39	1.58
		M2	73.48	1.56
		M3	70.76	1.5
		Promedio		

Tabla 48 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo 3 (calicata 3) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kgf	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 3	1:3	M1	67.13	1.42
		M2	72.58	1.53
		M3	66.23	1.4
		Promedio		1.45
Calicata 3	1:4	M1	71.67	1.52
		M2	70.76	1.5
		M3	68.95	1.46
		Promedio		1.49
Calicata 3	1:5	M1	63.50	1.34
		M2	36.29	1.46
		M3	33.57	1.32
		Promedio		1.37

Tabla 49 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo 4 (calicata 4) de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con diferentes dosis del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3, 1:4 y 1:5)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kgf	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 4	1:3	M1	76.21	1.61
		M2	75.30	1.59
		M3	72.58	1.53
		Promedio		1.58
Calicata 4	1:4	M1	78.02	1.65
		M2	77.11	1.63
		M3	74.39	1.57
		Promedio		1.62
Calicata 4	1:5	M1	68.04	1.44
		M2	67.13	1.42
		M3	65.32	1.38
		Promedio		1.41

Tabla 50 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con adición del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:3)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kg	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 1	1:3	M1	73.48	1.56
		M2	79.83	1.69
		M3	72.58	1.54
		Promedio	1.60	
Calicata 2	1:3	M1	77.11	1.63
		M2	76.21	1.62
		M3	73.48	1.56
		Promedio	1.60	
Calicata 3	1:3	M1	67.13	1.42
		M2	72.58	1.53
		M3	66.23	1.40
		Promedio	1.45	
Calicata 4	1:3	M1	76.21	1.61
		M2	75.30	1.59
		M3	72.58	1.53
		Promedio	1.58	

Tabla 51 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con adición del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:4)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kg	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 1	1:4	M1	84.37	1.79
		M2	77.11	1.63
		M3	74.39	1.58
		Promedio	1.67	
Calicata 2	1:4	M1	78.02	1.65
		M2	77.11	1.63
		M3	74.39	1.58
		Promedio	1.62	
Calicata 3	1:4	M1	71.67	1.52
		M2	70.76	1.50
		M3	68.95	1.46
		Promedio	1.49	
Calicata 4	1:4	M1	78.02	1.65
		M2	77.11	1.63
		M3	74.39	1.57
		Promedio	1.62	

Tabla 52 — Resumen de resultados de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) del punto de muestreo de los suelos cohesivos en la capa de rodadura de la carretera AP605, Abancay con adición del estabilizador Z y polímeros acrílicos (1:5)

Calicata	Repetición	Muestra	Carga aplicada Kgf	Resistencia a la compresión no confinada qu Kg/ cm ²
Calicata 1	1:5	M1	73.48	1.56
		M2	72.58	1.54
		M3	69.85	1.48
		Promedio	1.53	
Calicata 2	1:5	M1	74.39	1.58
		M2	73.48	1.56
		M3	70.76	1.50
		Promedio	1.55	
Calicata 3	1:5	M1	63.50	1.34
		M2	36.29	1.46
		M3	33.57	1.32
		Promedio	1.37	
Calicata 4	1:5	M1	68.04	1.44
		M2	67.13	1.42
		M3	65.32	1.38
		Promedio	1.41	

Anexo D

RESULTADOS DE LABORATORIO


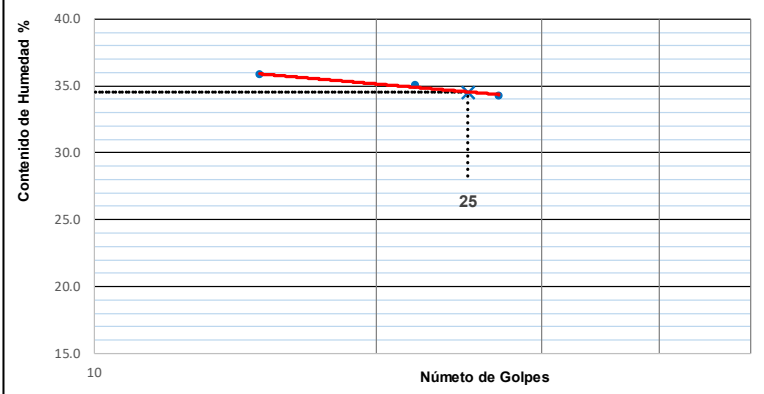
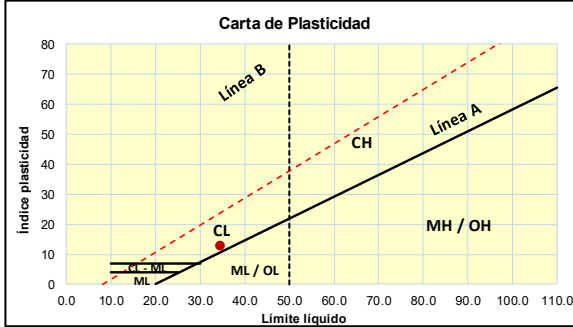
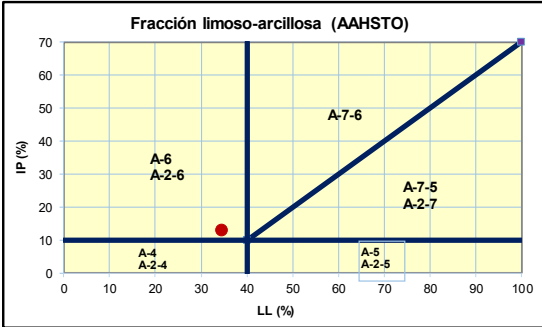


	INFORME DE ENSAYO			Código	LL2024		
	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS			Versión	1		
	MTC E - 110 / E - 111 / ASTM D 4318			Fecha	18/12/2024		
				Página 1 de 1			
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilaes			INFORME No. :	106-2024		
TESIS:	EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024			FECHA DE RECEPCIÓN :	07/10/2024		
				FECHA DE ENSAYO :	08/10/2024		
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605			CALICATA:	C-1		
DESCRIPCIÓN MUESTRA:	ARENA ARCILLOSA CON BAJO CONTENIDO DE GRAVA SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR ROJO CAFÉ			PROGRESIVA:	km 00+370		
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO			
Numero de golpes	15	22	27				
Recipiente Número	A-3	A-2	A-1	T-1	T-2	T-3	
Masa Suelo Húmedo + Recipiente (g)	32.63	28.87	28.19	13.27	11.78	10.96	
Masa Suelo Seco + Recipiente (g)	27.75	25.20	24.52	12.38	11.07	10.42	
Masa Recipiente (g)	14.14	14.72	13.81	8.37	7.77	7.88	
Masa Agua (g)	4.88	3.67	3.67	0.89	0.71	0.54	
Masa Suelo Seco (g)	13.61	10.48	10.71	4.01	3.30	2.54	
Humedad Natural (w) (%)	35.86	35.02	34.27	22.19	21.52	21.26	
				RESULTADOS			
				LÍMITE LIQUIDO LL (%) :	34.6		
				LÍMITE PLÁSTICO LP (%) :	21.7		
				ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP (%) :	12.9		
							
OBSERVACIONES:							
REVISÓ 			APROBÓ 				
FIN DEL INFORME							

Figura 30 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad



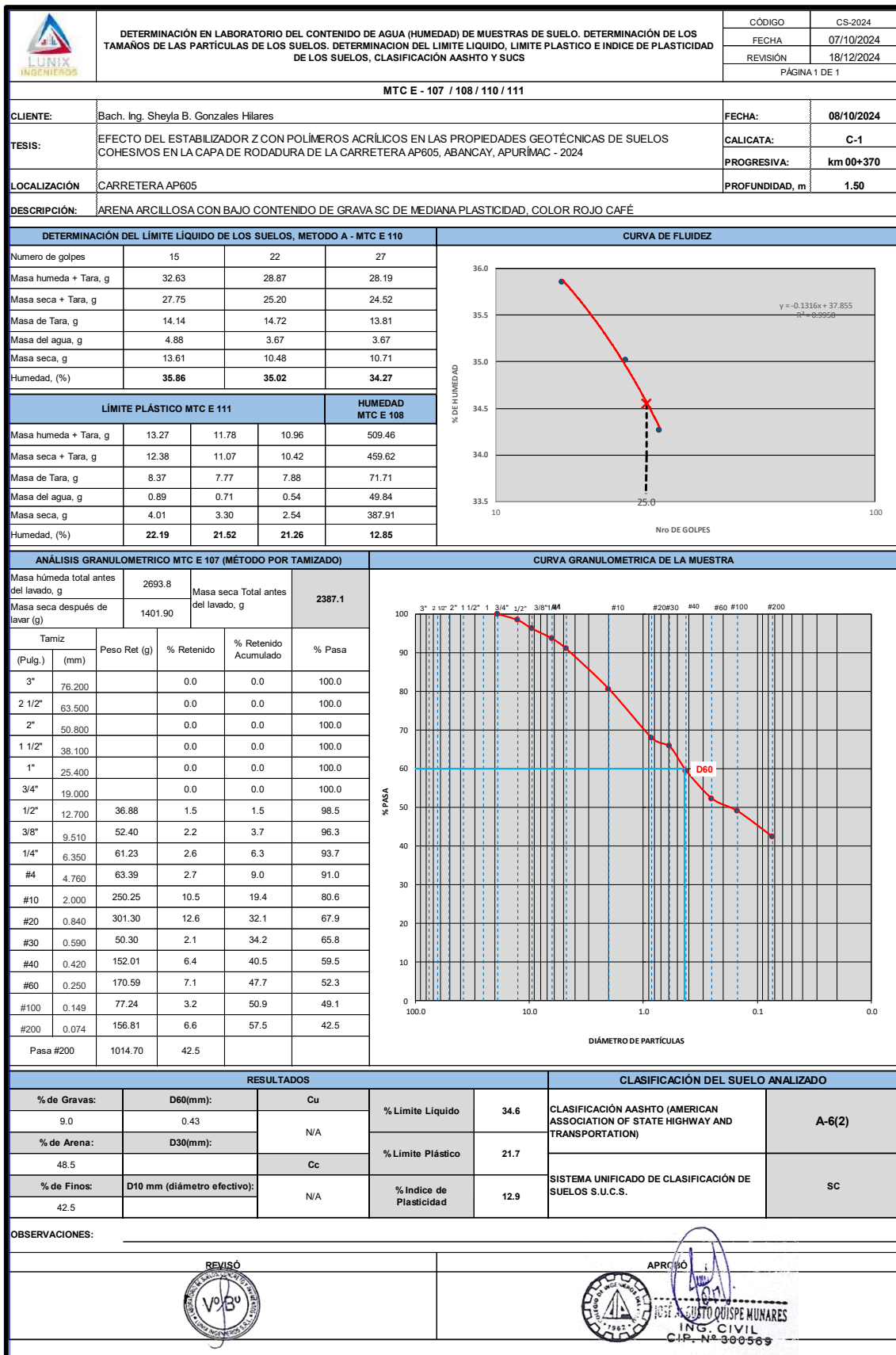


Figura 31 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo




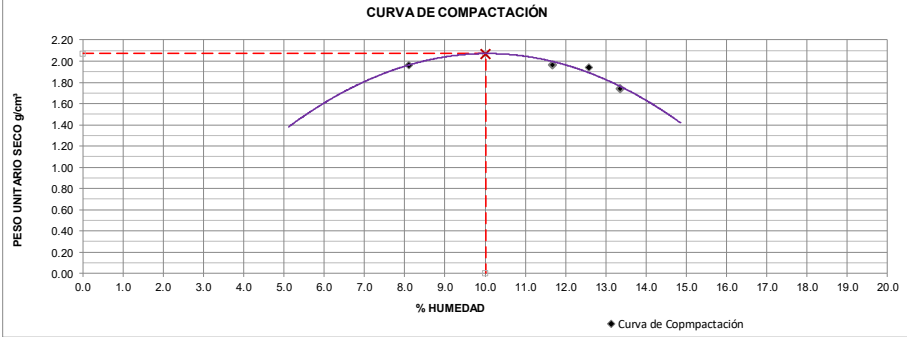

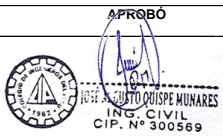
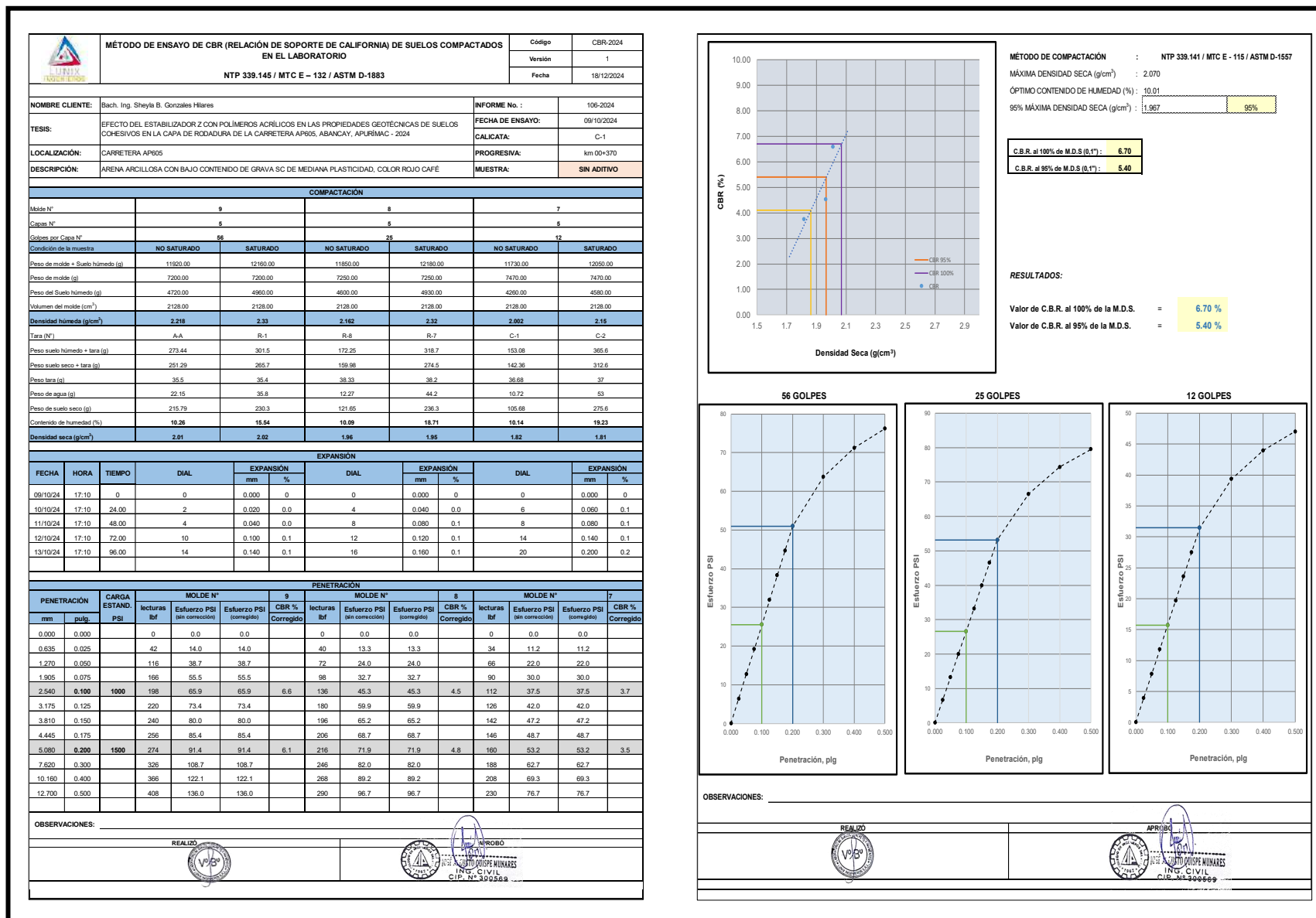
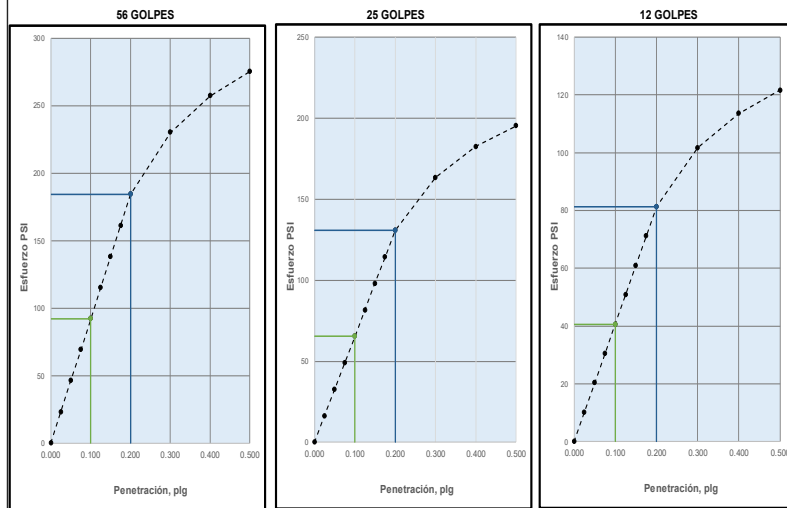
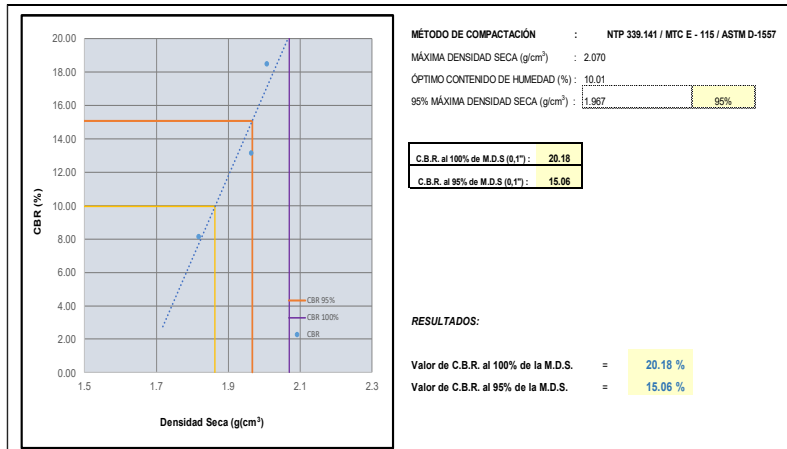
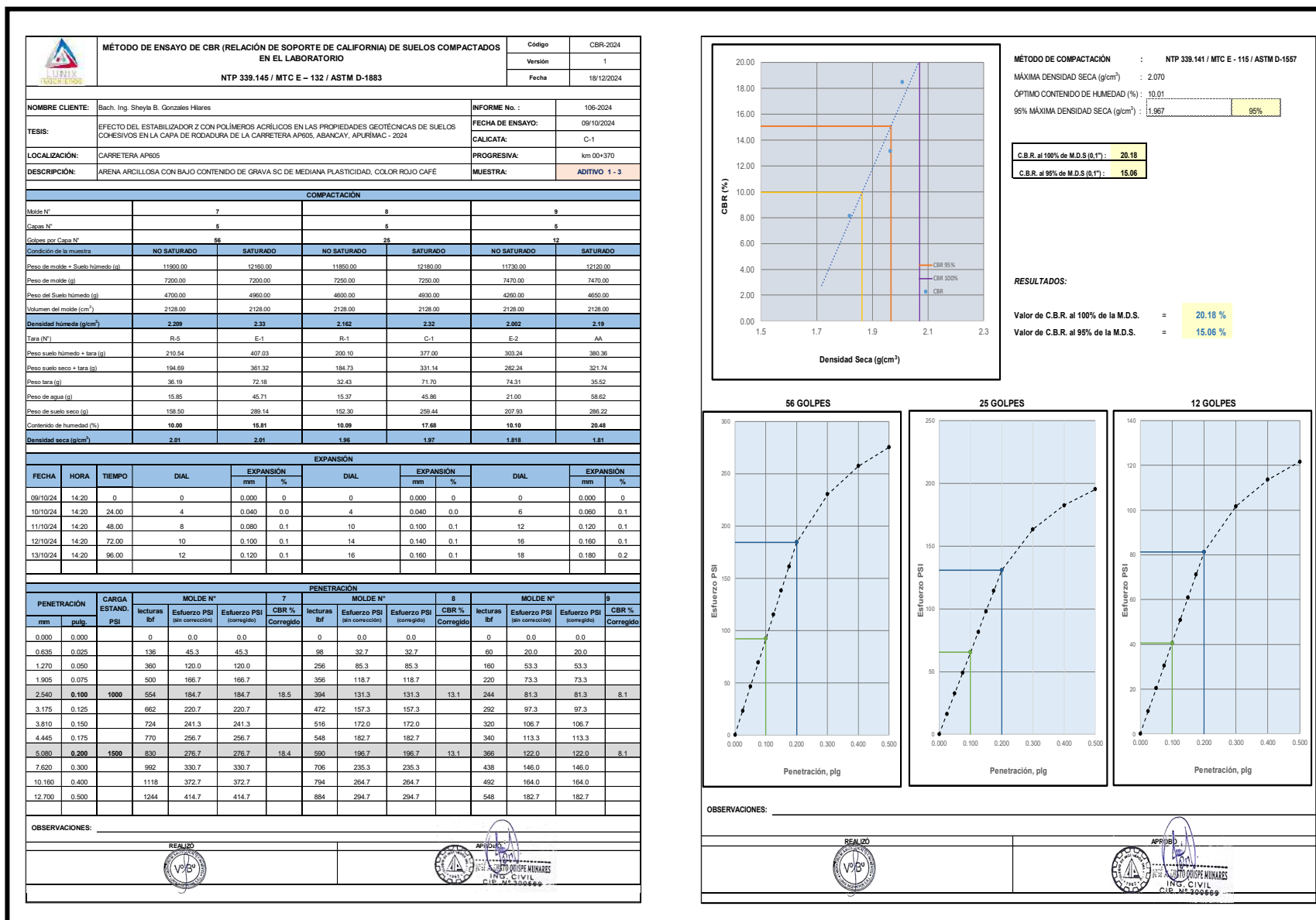
	INFORME DE ENSAYO				Código	P-2024																
	RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)				Versión	1																
	NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557				Fecha	18/12/2024																
					Página 1 de 1																	
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilaes			INFORME No.	106-2024																	
TESIS:	EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024			FECHA DE ENSAYO:	09/10/2024																	
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605			CALICATA:	C-1																	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	ARENA ARCILLOSA CON BAJO CONTENIDO DE GRAVA SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR ROJO CAFÉ			PROGRESIVA:	km 00+370																	
COMPACTACIÓN DE LAS MUESTRAS				MÉTODO DE ENSAYO:	B																	
PRUEBA	Und	1	2	3	4																	
MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ 3/4"	g	6000	6000	6000	6000																	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	No	25	25	25	25																	
NUMERO DE MOLDE	No	1	1	1	1																	
VOLUMEN MOLDE	cm ³	952	952	952	952																	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	5847	5640	5855	5788																	
MASA DEL MOLDE	g	3764	3764	3764	3764																	
MASA MUESTRA HUMEDA	g	2083	1876	2091	2024																	
HUMEDAD DE COMPACTACIÓN																						
NUMERO DE RECIPIENTE	No	C1	C2	R3	R1																	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	484.68	489.05	430	320.56																	
MASA MUESTRA SECA Y MOLDE	g	438.52	440.37	393	298.95																	
MASA DEL MOLDE	g	71.70	75.82	75.94	32.53																	
MASA DEL AGUA	g	46.16	48.68	37.00	21.61																	
MASA DE LA MUESTRA SECA	g	366.82	364.55	317.06	266.42																	
% de HUMEDAD	%	12.6	13.4	11.7	8.1																	
DETERMINACIÓN DEL PESOS UNITARIOS DE LOS ESPECÍMENES																						
DENSIDAD HÚMEDA	g/cm ³	2.188	1.971	2.196	2.126																	
DENSIDAD SECA	g/cm ³	1.943	1.738	1.967	2.0																	
PESO UNITARIO SECO	kN/m ³	19.06	17.05	19.29	19.29																	
	lb/ft ³	121.33	108.53	122.79	122.77																	
CURVA DE COMPACTACIÓN																						
				<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PESO UNITARIO SECO MÁXIMO</td> </tr> <tr> <td>2.07</td> <td>g/cm³</td> </tr> <tr> <td>20.5</td> <td>kN/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">HUMEDAD ÓPTIMA (%)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">10.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO</td> </tr> <tr> <td>NO REQUIERE</td> <td>kN/m³</td> </tr> <tr> <td>NO REQUIERE</td> <td>kg/m³</td> </tr> </table>			PESO UNITARIO SECO MÁXIMO		2.07	g/cm ³	20.5	kN/m ³	HUMEDAD ÓPTIMA (%)		10.0		PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO		NO REQUIERE	kN/m ³	NO REQUIERE	kg/m ³
PESO UNITARIO SECO MÁXIMO																						
2.07	g/cm ³																					
20.5	kN/m ³																					
HUMEDAD ÓPTIMA (%)																						
10.0																						
PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO																						
NO REQUIERE	kN/m ³																					
NO REQUIERE	kg/m ³																					
OBSERVACIONES:																						
Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.																						
REVISÓ			APROBÓ																			
																						

Figura 32 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1







OBSERVACIONES:

REALIZO:

APROBO:

Figura 34 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3

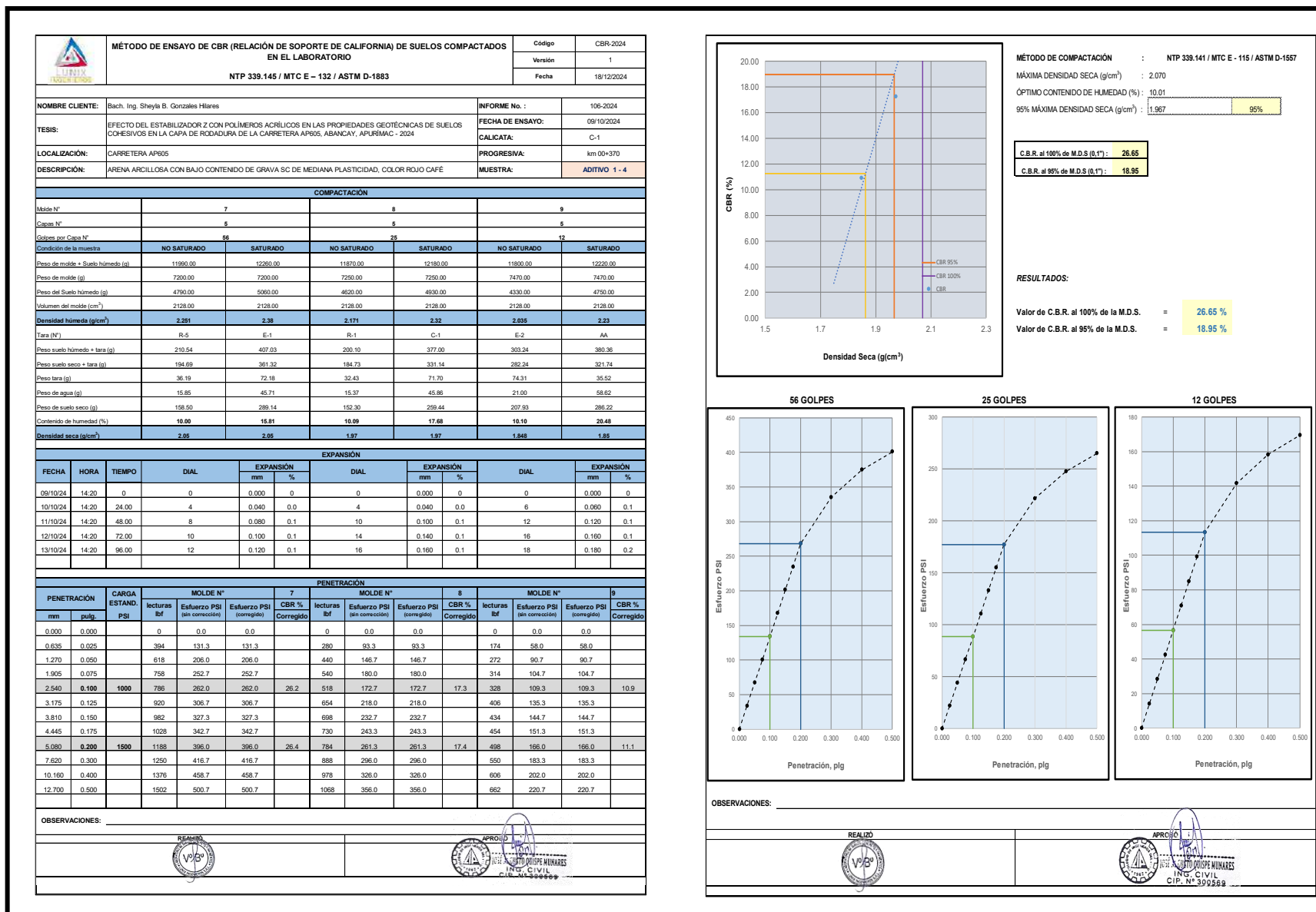


Figura 35 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4

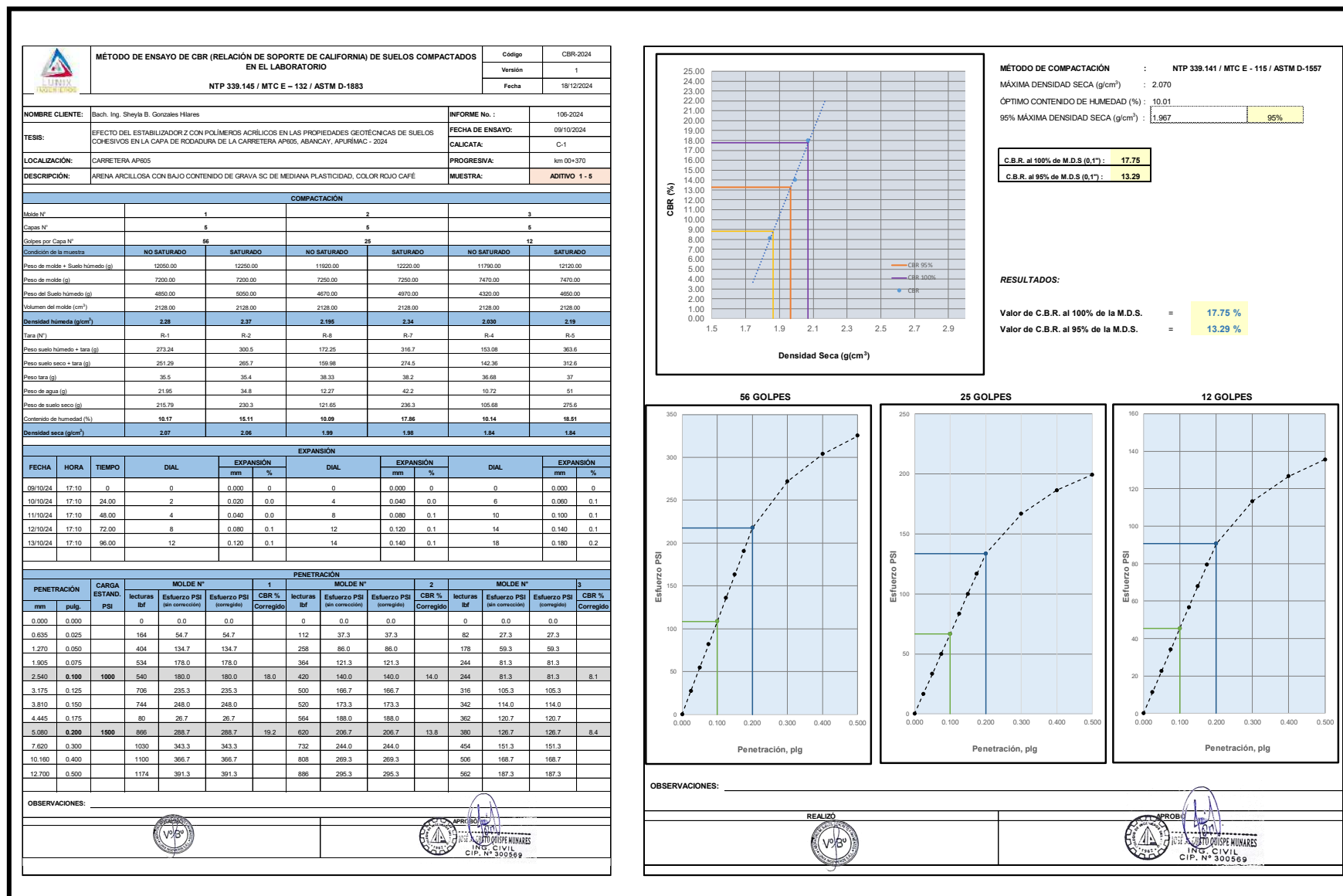


Figura 36 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5

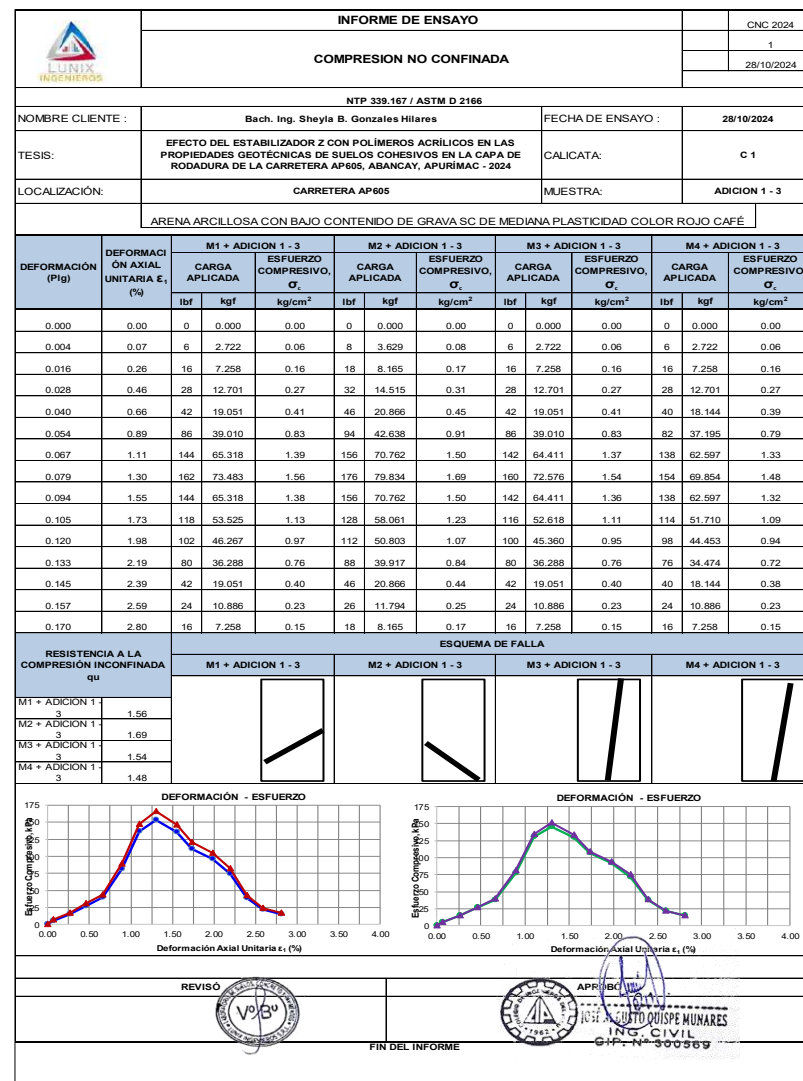
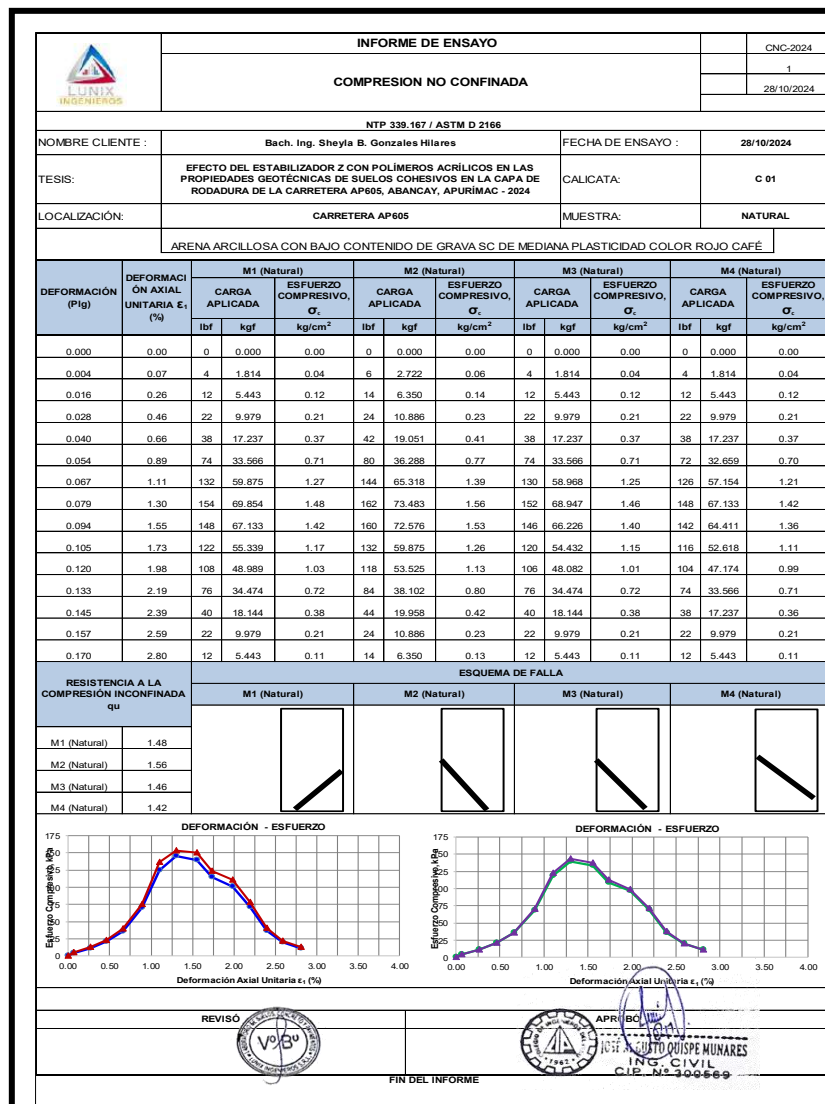


Figura 37 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 1 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos

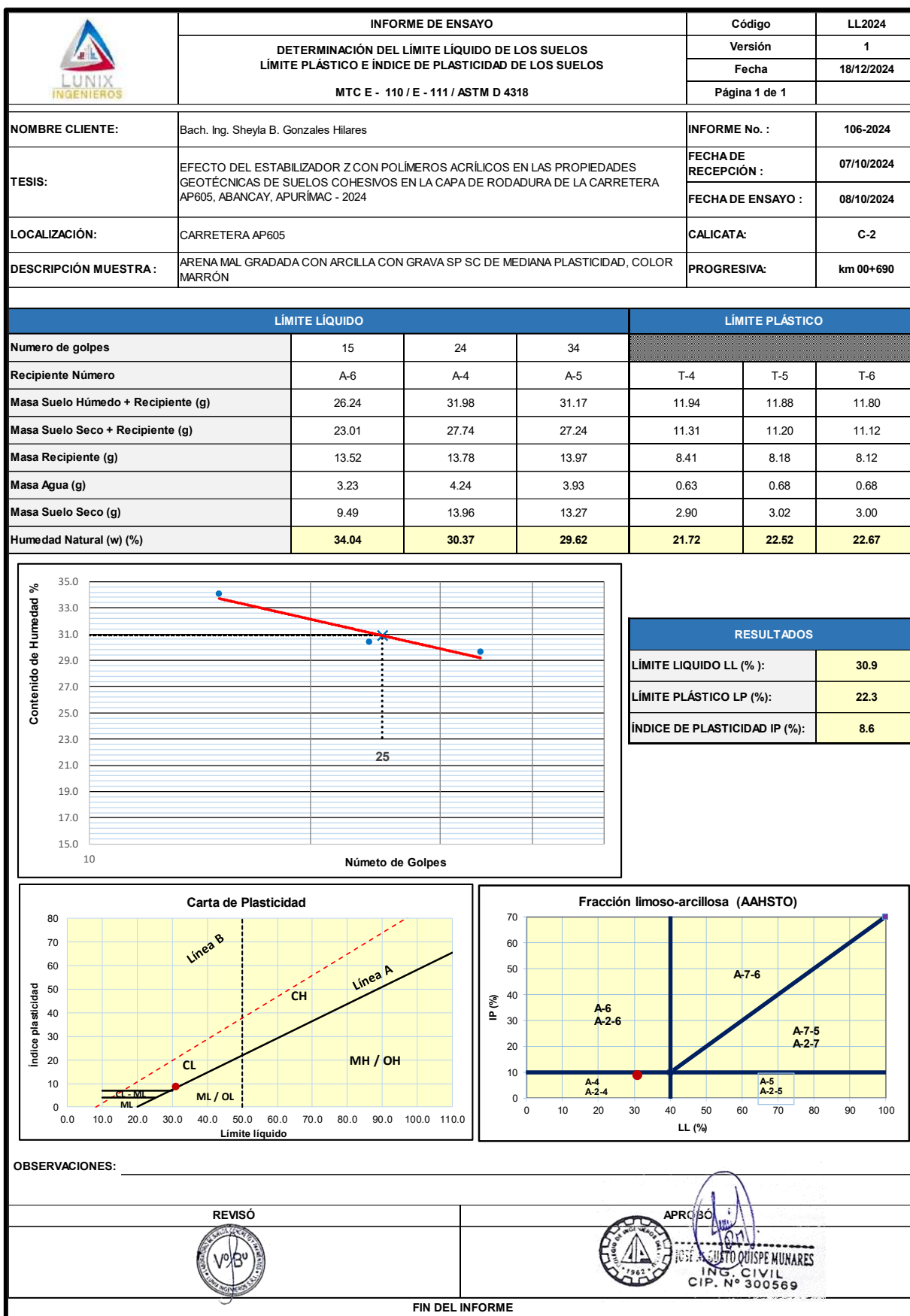


Figura 39 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad



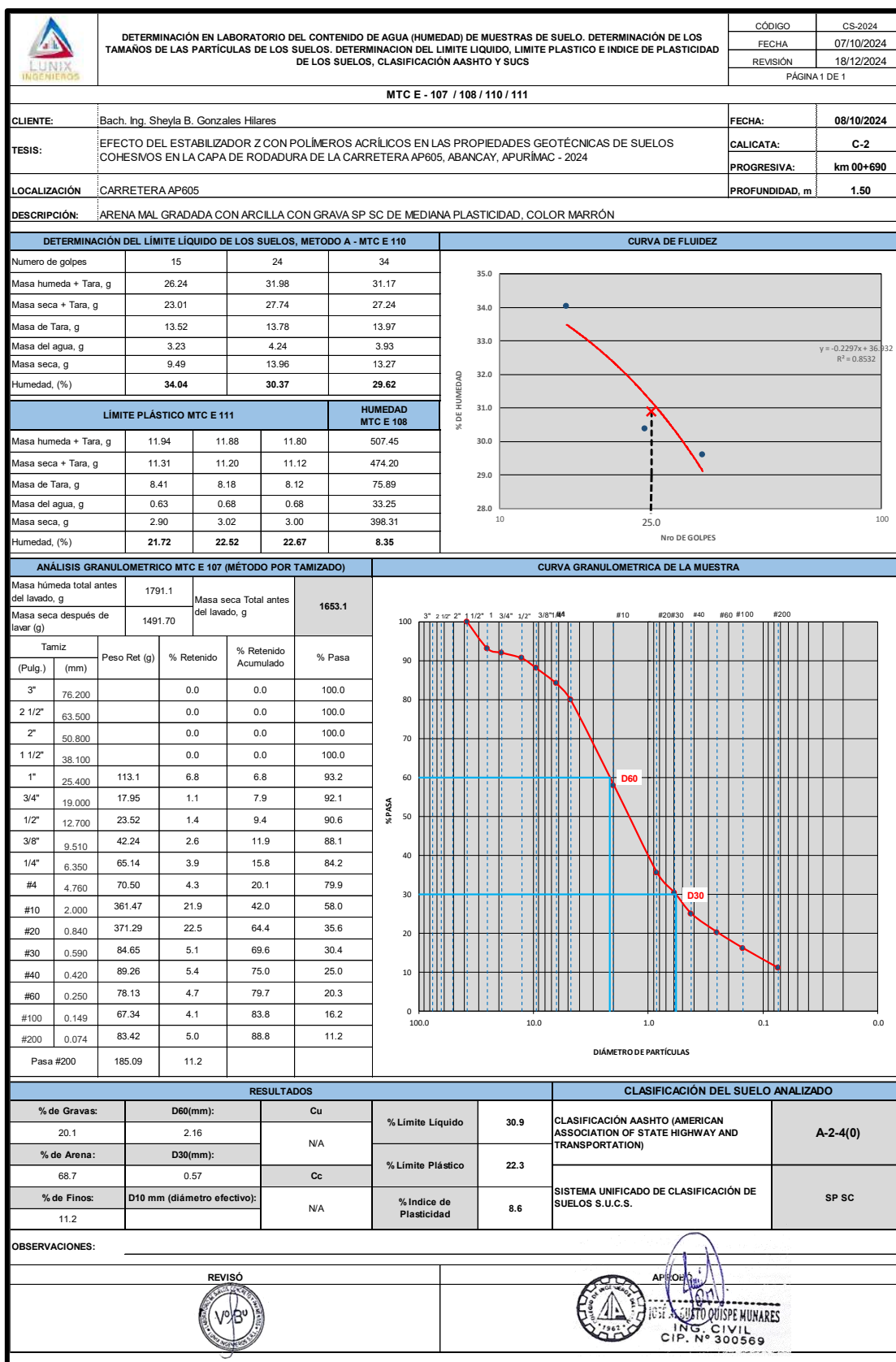


Figura 40 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo




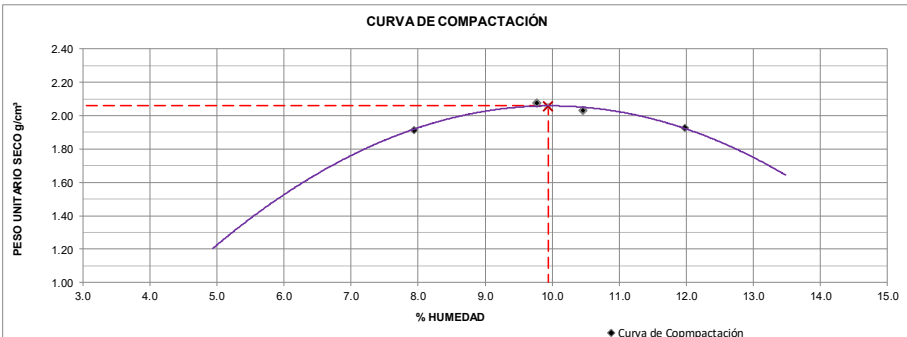

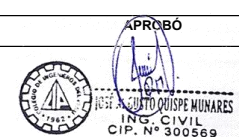
	INFORME DE ENSAYO				Código	P-2024
	RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)				Versión	1
	NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557				Fecha	18/12/2024
					Página 1 de 1	
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilares			INFORME No.	106-2024	
TESIS:	EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024			FECHA DE ENSAYO:	09/10/2024	
				CALICATA:	C-2	
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605			PROGRESIVA:	km 00+690	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	ARENA MAL GRADADA CON ARCILLA CON GRAVA SP SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN					
COMPACTACIÓN DE LAS MUESTRAS				MÉTODO DE ENSAYO:		C
PRUEBA	Und	1	2	3	4	
MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ 3/4"	g	6000	6000	6000	6000	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	No	56	56	56	56	
NUMERO DE MOLDE	No	1	1	1	1	
VOLUMEN MOLDE	cm ³	2127	2127	2127	2127	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	9450	9900	9820	9640	
MASA DEL MOLDE	g	5050	5050	5050	5050	
MASA MUESTRA HUMEDA	g	4400	4850	4770	4590	
HUMEDAD DE COMPACTACIÓN						
NUMERO DE RECIPIENTE	No	R-7	R-6	R-8	R-9	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	401.09	382.94	401.72	358.64	
MASA MUESTRA SECA Y MOLDE	g	374.32	352.02	367.32	323.75	
MASA DEL MOLDE	g	37.15	35.46	38.32	32.53	
MASA DEL AGUA	g	26.77	30.92	34.40	34.89	
MASA DE LA MUESTRA SECA	g	337.17	316.56	329.00	291.22	
% de HUMEDAD	%	7.9	9.8	10.5	12.0	
DETERMINACIÓN DEL PESOS UNITARIOS DE LOS ESPECÍMENES						
DENSIDAD HÚMEDA	g/cm ³	2.069	2.280	2.24	2.16	
DENSIDAD SECA	g/cm ³	1.916	2.077	2.03	1.93	
PESO UNITARIO SECO	kN/m ³	18.79	20.37	19.91	18.90	
	lbf/ft ³	119.64	129.68	126.75	120.30	
CURVA DE COMPACTACIÓN				PESO UNITARIO SECO MÁXIMO		
				2.06 g/cm ³		
				20.4 kN/m ³		
				HUMEDAD ÓPTIMA (%)		
				9.9		
				PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO		
				NO REQUIERE kN/m ³		
				NO REQUIERE kg/m ³		
OBSERVACIONES:						
Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.						
REVISÓ			APROBÓ			
						

Figura 41 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2



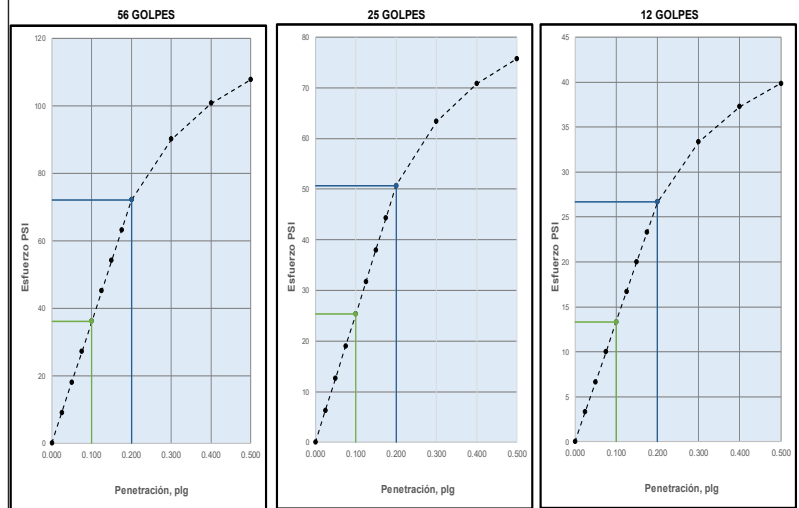
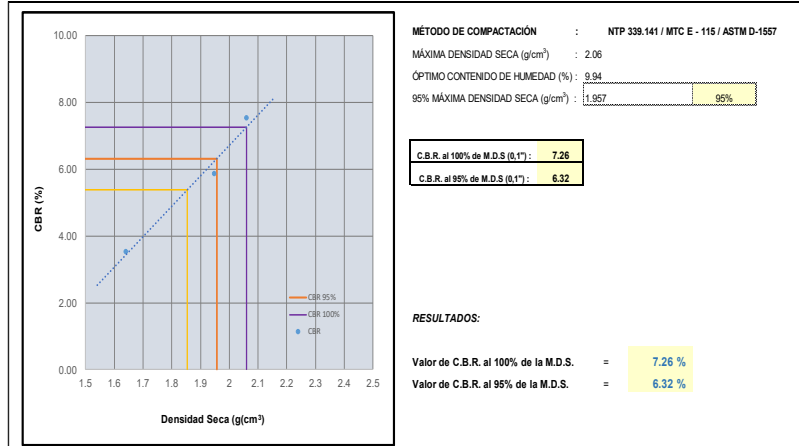
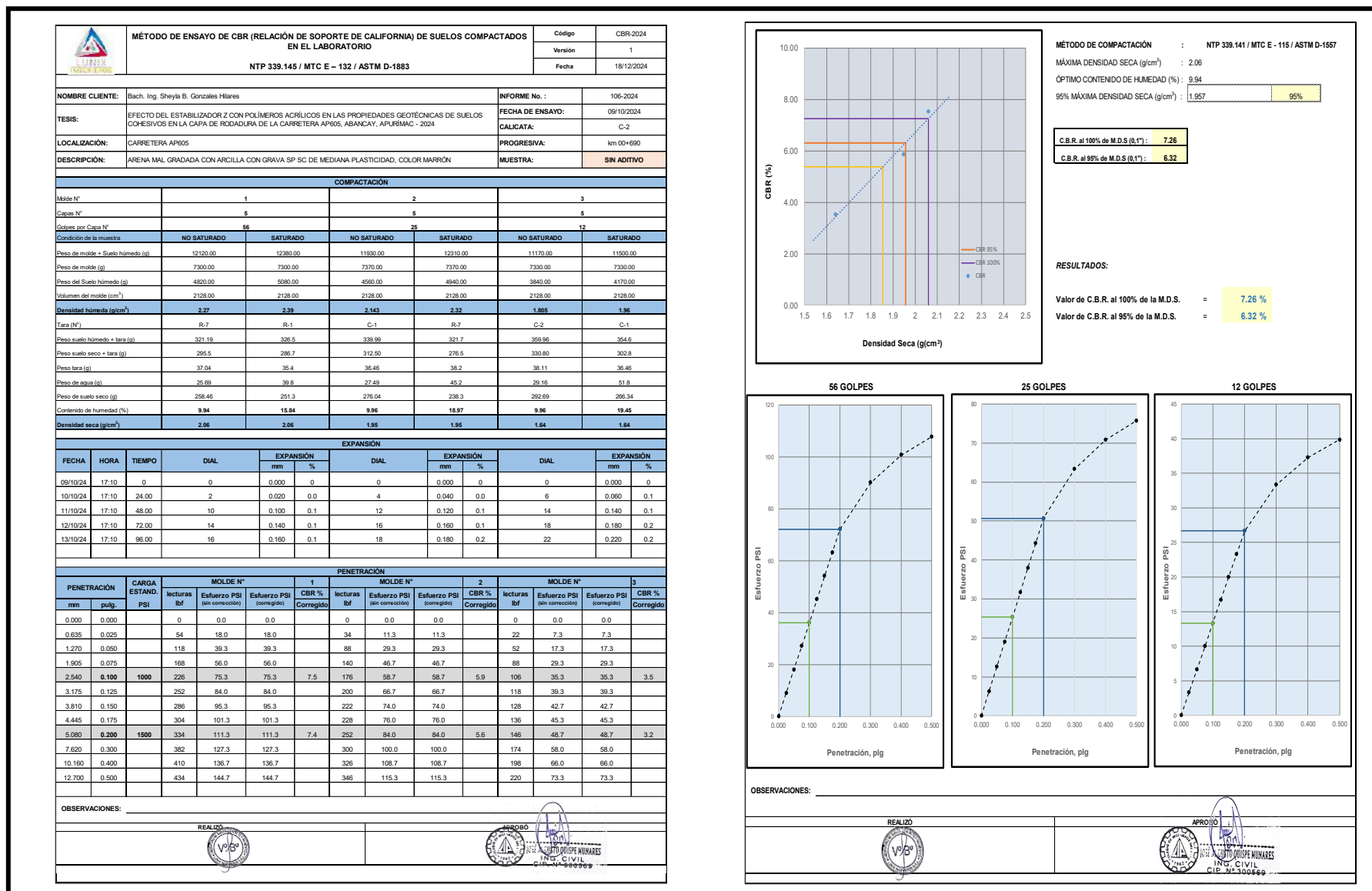


Figura 42 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR natural

MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO		Código	CBR-2024								
		Versión	1								
		Fecha	18/12/2024								
NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883		INFORME No.:	106-2024								
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilarés	FECHA DE ENSAYO:	09/10/2024								
TEJIS:	EFFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024	CALICATA:	C-2								
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605	PROGRESIVA:	km 00+690								
DESCRIPCIÓN:	ARENA MAL GRADADA CON ARCILLA CON GRAVA SP SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN	MUESTRA:	ADITIVO 1:3								
COMPACTACIÓN											
Molde N°	6	5	4								
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)	12090.00	12240.00	11910.00	12100.00	11210.00	11440.00					
Peso de molde (g)	7230.00	7230.00	7400.00	7400.00	7310.00	7310.00					
Peso del Suelo húmedo (g)	4860.00	5010.00	4510.00	4700.00	3900.00	4130.00					
Volumen del molde (cm ³)	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00					
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.28	2.35	2.119	2.21	1.833	1.94					
Tara (N°)	AA	R-7	R-6	R-4	R-5	C-1					
Peso suelo húmedo + tara (g)	189.10	233.70	283.60	385.80	258.30	318.10					
Peso suelo seco + tara (g)	156.50	210.29	260.60	340.30	237.20	277.50					
Peso tara (g)	35.30	37.10	37.10	35.40	36.20	36.60					
Peso de agua (g)	12.60	23.41	23.00	45.50	21.10	40.60					
Peso de suelo seco (g)	121.20	173.19	223.50	304.90	207.00	240.90					
Contenido de humedad (%)	10.46	13.82	10.29	14.92	10.60	16.88					
Densidad seca (g/cm ³)	2.07	2.07	1.92	1.92	1.66	1.66					
EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
09/10/24	11:30	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0.000	0
10/10/24	11:30	24.00	4	0.040	0.0	6	0.060	0.1	6	0.060	0.1
11/10/24	11:30	48.00	10	0.100	0.1	12	0.120	0.1	14	0.140	0.1
12/10/24	11:30	72.00	14	0.140	0.1	16	0.160	0.1	16	0.160	0.1
13/10/24	11:30	96.00	16	0.160	0.1	18	0.180	0.2	20	0.200	0.2
PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN	CARGA ESTAND.	lecturas	MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
			mm	psi	CBR %	lecturas	psi	CBR %	lecturas	psi	CBR %
0.000	0.000	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	
0.635	0.025	58	19.3	19.3	104	34.7	34.7	78	26.0	26.0	
1.270	0.050	156	52.0	52.0	188	62.7	62.7	162	54.0	54.0	
1.905	0.075	286	95.3	95.3	282	94.0	94.0	234	78.0	78.0	
2.540	0.100	546	182.0	182.0	380	126.7	126.7	292	97.3	97.3	
3.175	0.125	646	215.3	215.3	458	152.7	152.7	334	111.3	111.3	
3.810	0.150	838	279.3	279.3	520	173.3	173.3	376	125.3	125.3	
4.445	0.175	1014	338.0	338.0	584	194.7	194.7	406	135.3	135.3	
5.080	0.200	1218	406.0	406.0	638	212.0	212.0	442	147.3	147.3	
5.720	0.300	1566	522.0	522.0	792	264.0	264.0	562	187.3	187.3	
10.160	0.400	1836	612.0	612.0	932	310.7	310.7	646	215.3	215.3	
12.700	0.500	2040	680.0	680.0	1014	338.0	338.0	734	244.7	244.7	
OBSERVACIONES:											

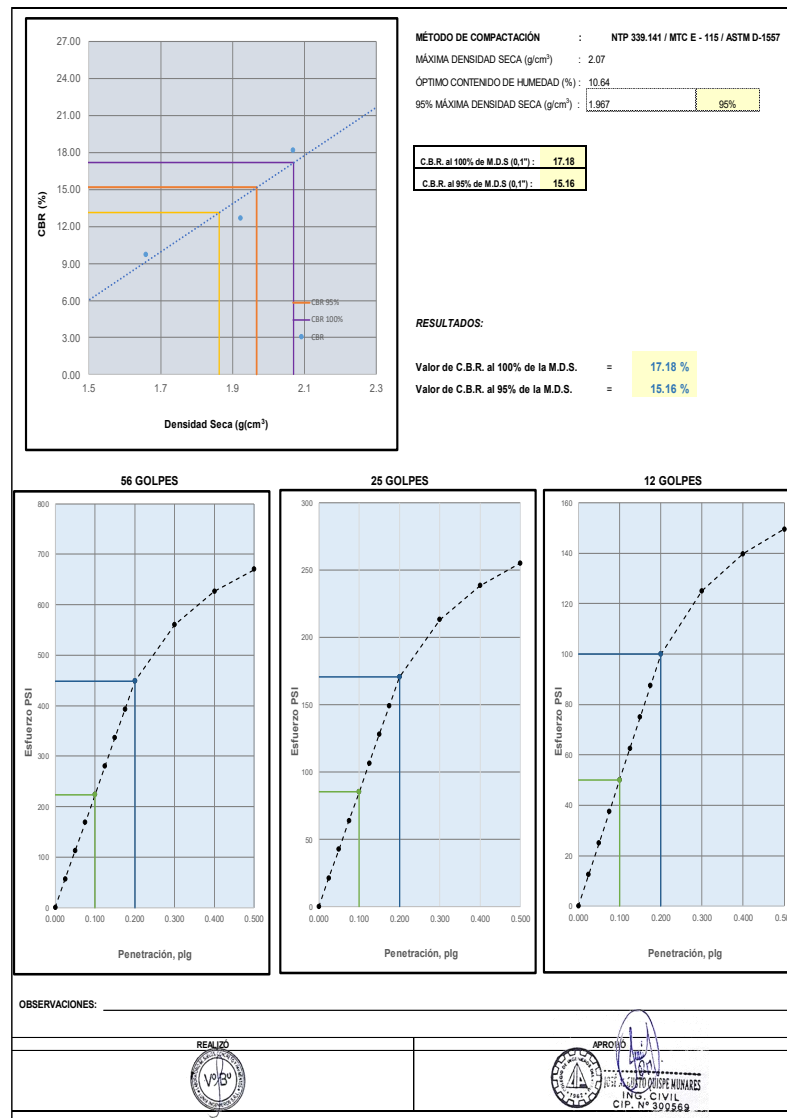


Figura 43 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3

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				Versión	1								
				Fecha	18/12/2024								
NOMBRE CLIENTE: Bach. Ing. Sheyla B. González Hilaes			INFORME No. : 106-2024										
TESIS: EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAJ, APURÍMAC - 2024			FECHA DE ENSAYO: 09/10/2024										
LOCALIZACIÓN: CARRETERA AP605			CALICATA: C-2										
DESCRIPCIÓN: ARENA MAL GRADADA CON ARCILLA CON GRAVA SP SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN			PROGRESIVA: km 00+690										
			MUESTRA: ADITIVO 1:4										
COMPACTACIÓN													
Molde N°	3		2		1								
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)	12190.00	12260.00	11890.00	12100.00	11200.00	11440.00							
Peso de molde (g)	7330.00	7330.00	7370.00	7370.00	7300.00	7300.00							
Peso del Suelo húmedo (g)	4860.00	4930.00	4520.00	4730.00	3900.00	4140.00							
Volumen del molde (cm ³)	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00							
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.28	2.32	2.12	2.22	1.833	1.96							
Tara (N°)	R-3	R-7	R-2	AA	E-2	R-1							
Peso suelo húmedo + tara (g)	319.15	299.90	339.24	248.70	369.76	336.01							
Peso suelo seco + tara (g)	291.90	270.45	310.70	219.61	342.01	291.22							
Peso tara (g)	35.62	37.00	35.60	35.40	74.33	32.40							
Peso de agua (g)	27.25	29.45	28.54	29.09	27.75	44.79							
Peso de suelo seco (g)	256.28	233.45	275.10	184.21	267.68	258.82							
Contenido de humedad (%)	10.63	12.62	10.37	15.79	10.37	17.31							
Densidad seca (g/cm ³)	2.06	2.06	1.92	1.92	1.66	1.66							
EXPANSIÓN													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN			
				mm	%		mm	%		mm	%		
09/10/24	11:30	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0.000	0		
10/10/24	11:30	24.00	2	0.020	0.0	4	0.040	0.0	6	0.060	0.1		
11/10/24	11:30	48.00	10	0.100	0.1	12	0.120	0.1	14	0.140	0.1		
12/10/24	11:30	72.00	14	0.140	0.1	16	0.160	0.1	18	0.180	0.2		
13/10/24	11:30	96.00	16	0.160	0.1	18	0.180	0.2	20	0.200	0.2		
PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN	CARGA ESTAND.	MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1					
		lecturas	Esfuerzo PSI	CBR %	lecturas	Esfuerzo PSI	CBR %	lecturas	Esfuerzo PSI	CBR %			
mm	psf	lb/ft ²	(sin corrección)	(corregido)	(sin corrección)	(corregido)	(sin corrección)	(corregido)	(sin corrección)	(corregido)	(sin corrección)	(corregido)	
0.000	0.000		0	0.0	0.0		0	0.0	0.0		0	0.0	
0.635	0.025		82	27.3	27.3		60	20.0	20.0		38	12.7	12.7
1.270	0.050		184	61.3	61.3		132	44.0	44.0		82	27.3	27.3
1.905	0.075		300	100.0	100.0		214	71.3	71.3		132	44.0	44.0
2.540	0.100	1000	568	189.3	189.3	18.9	404	134.7	134.7	13.5	250	83.3	83.3
3.175	0.125		678	226.0	226.0		482	160.7	160.7		300	100.0	100.0
3.810	0.150		860	286.7	286.7		612	204.0	204.0		380	126.7	126.7
4.445	0.175		1020	340.0	340.0		726	242.0	242.0		450	150.0	150.0
5.080	0.200	1500	1138	379.3	379.3	25.3	808	269.3	269.3	18.0	502	167.3	167.3
5.720	0.300		1548	516.0	516.0		1100	366.7	366.7		682	227.3	227.3
10.160	0.400		1854	618.0	618.0		1318	439.3	439.3		816	272.0	272.0
12.700	0.500		2192	730.7	730.7		1558	519.3	519.3		966	322.0	322.0
OBSERVACIONES:													
REALIZÓ:													

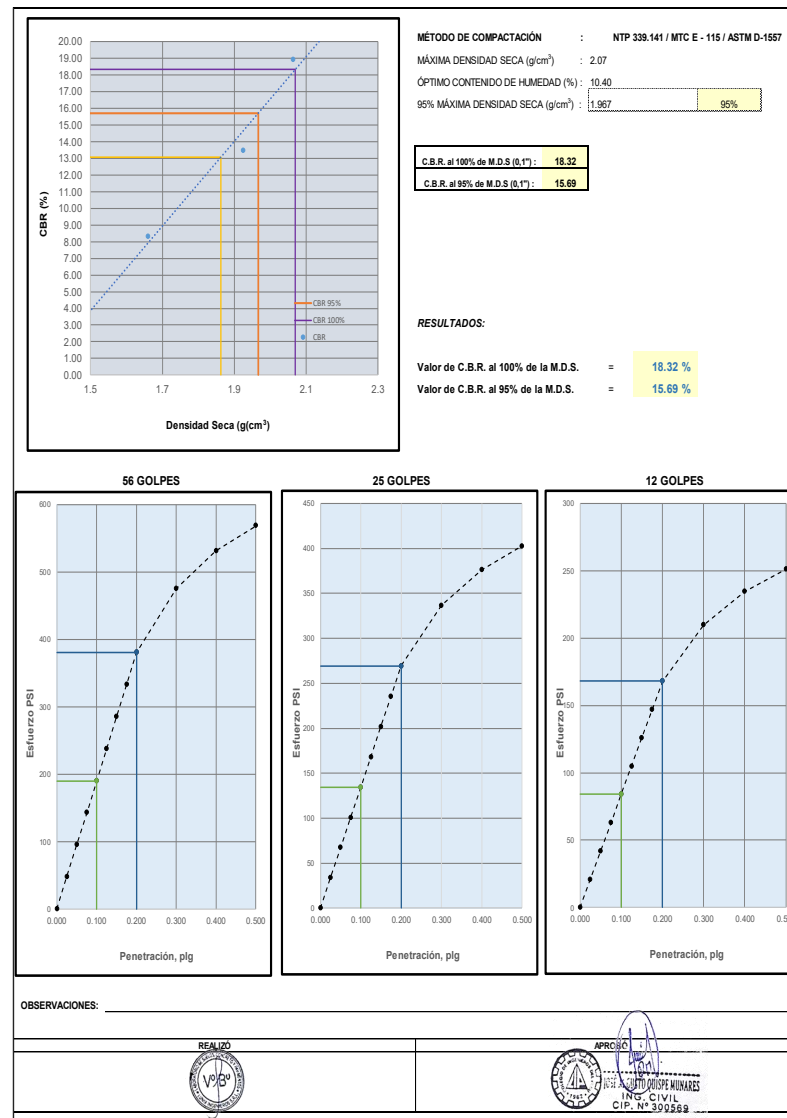


Figura 44 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4

MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO										Código			
NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883										CBR-2024			
										Versión		1	
										Fecha		18/12/2024	
NOMBRE CLIENTE: Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilaras					INFORME No.:					106-2024			
TESIS: EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAJAY, APURÍMAC - 2024					FECHA DE ENSAYO:					09/10/2024			
LOCALIZACIÓN: CARRETERA AP605					CALCATA:					C-2			
DESCRIPCIÓN: ARENA MAL GRADADA CON ARCILLA CON GRAVA SP SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN					PROGRESIVA:					km 00+690			
					MUESTRA:					ADITIVO 1:5			
COMPACTACIÓN													
Molde N°	9			8			7						
Capas N°	5			5			5						
Códigos por Capa N°	56			25			12						
Condición de la muestra	NO SATURADO			SATURADO			NO SATURADO			SATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11990.00			12100.00			11900.00			11500.00			
Peso de molde (g)	7200.00			7200.00			7250.00			7470.00			
Peso del Suelo húmedo (g)	4790.00			4900.00			4510.00			4050.00			
Volumen del molde (cm ³)	2128.00			2128.00			2128.00			2128.00			
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.291			2.30			2.119			2.19			
Tara (N°)	R-6			C-2			R-4			R-8			
Peso suelo húmedo + tara (g)	252.90			340.00			290.80			323.80			
Peso suelo seco + tara (g)	232.70			305.67			230.50			207.90			
Peso tara (g)	35.30			38.10			36.00			32.30			
Peso de agua (g)	20.20			34.33			20.30			35.74			
Peso de suelo seco (g)	187.40			267.57			184.50			169.60			
Contenido de humedad (%)	10.23			12.83			10.44			13.97			
Densidad seca (g/cm ³)	2.04			2.64			1.92			1.85			
EXPANSIÓN													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN			
				mm	%		mm	%		mm	%		
09/10/24	11:30	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0.000	0		
10/10/24	11:30	24.00	2	0.020	0.0	4	0.040	0.0	6	0.060	0.1		
11/10/24	11:30	48.00	8	0.080	0.1	12	0.120	0.1	10	0.100	0.1		
12/10/24	11:30	72.00	12	0.120	0.1	16	0.160	0.1	14	0.140	0.1		
13/10/24	11:30	96.00	16	0.160	0.1	18	0.180	0.2	20	0.200	0.2		
PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN	CARGA ESTAND.	MOLDE N° 9			MOLDE N° 8			MOLDE N° 7					
		mm	pulg.	PSI	lecturas lbf	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI (corregido)	lecturas lbf	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI (corregido)	lecturas lbf	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI (corregido)
0.000	0.000		0	0.0	0.0		0	0.0	0.0		0	0.0	0.0
0.635	0.025		90	30.0	30.0		78	26.0	26.0		60	20.0	20.0
1.270	0.050		198	66.0	66.0		152	50.7	50.7		120	40.0	40.0
1.905	0.075		334	111.3	111.3		242	80.7	80.7		178	59.3	59.3
2.540	0.100	1000	484	161.3	161.3	16.1	336	112.0	112.0	11.2	222	74.0	74.0
3.175	0.125		566	198.7	198.7		402	134.0	134.0		254	84.7	84.7
3.810	0.150		702	234.0	234.0		458	152.7	152.7		282	94.0	94.0
4.445	0.175		770	256.7	256.7		516	172.0	172.0		310	103.3	103.3
5.080	0.200	1500	854	284.7	284.7	19.0	568	189.3	189.3	12.6	334	111.3	111.3
7.620	0.300		996	332.0	332.0		722	240.7	240.7		414	138.0	138.0
10.160	0.400		1092	364.0	364.0		766	255.3	255.3		474	158.0	158.0
12.700	0.500		1220	406.7	406.7		820	273.3	273.3		536	178.7	178.7
OBSERVACIONES:													
REALIZO				APROBO									

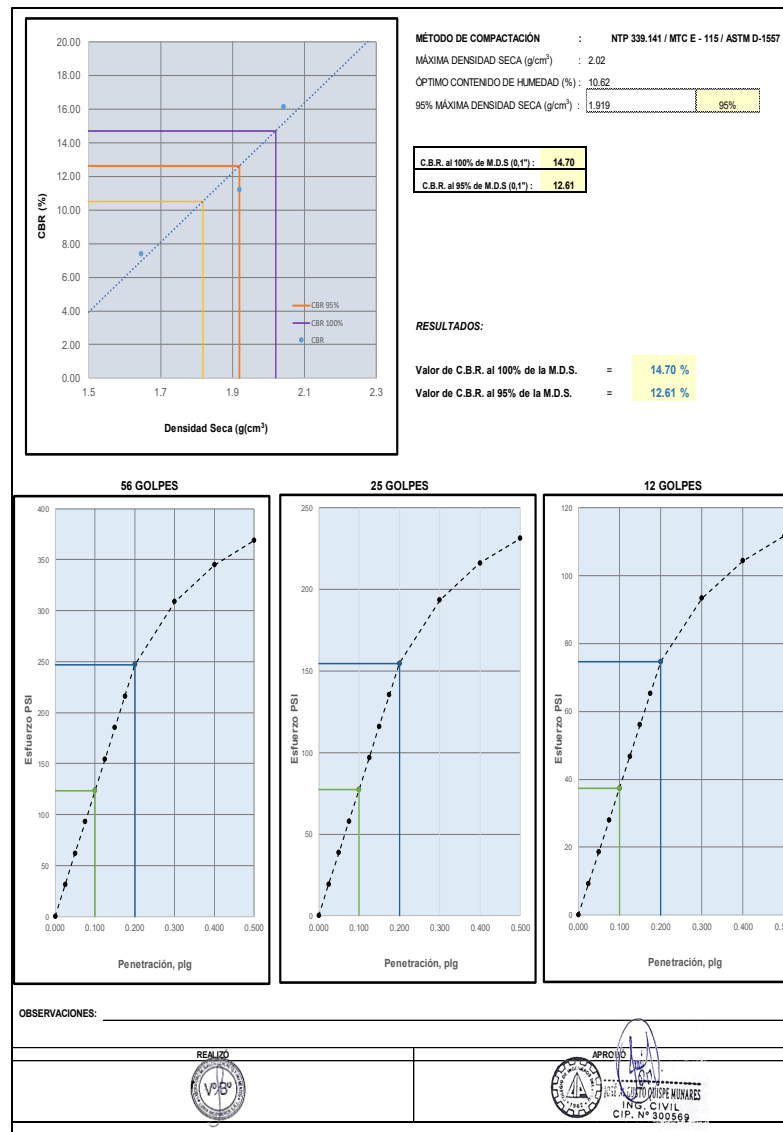


Figura 45 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5

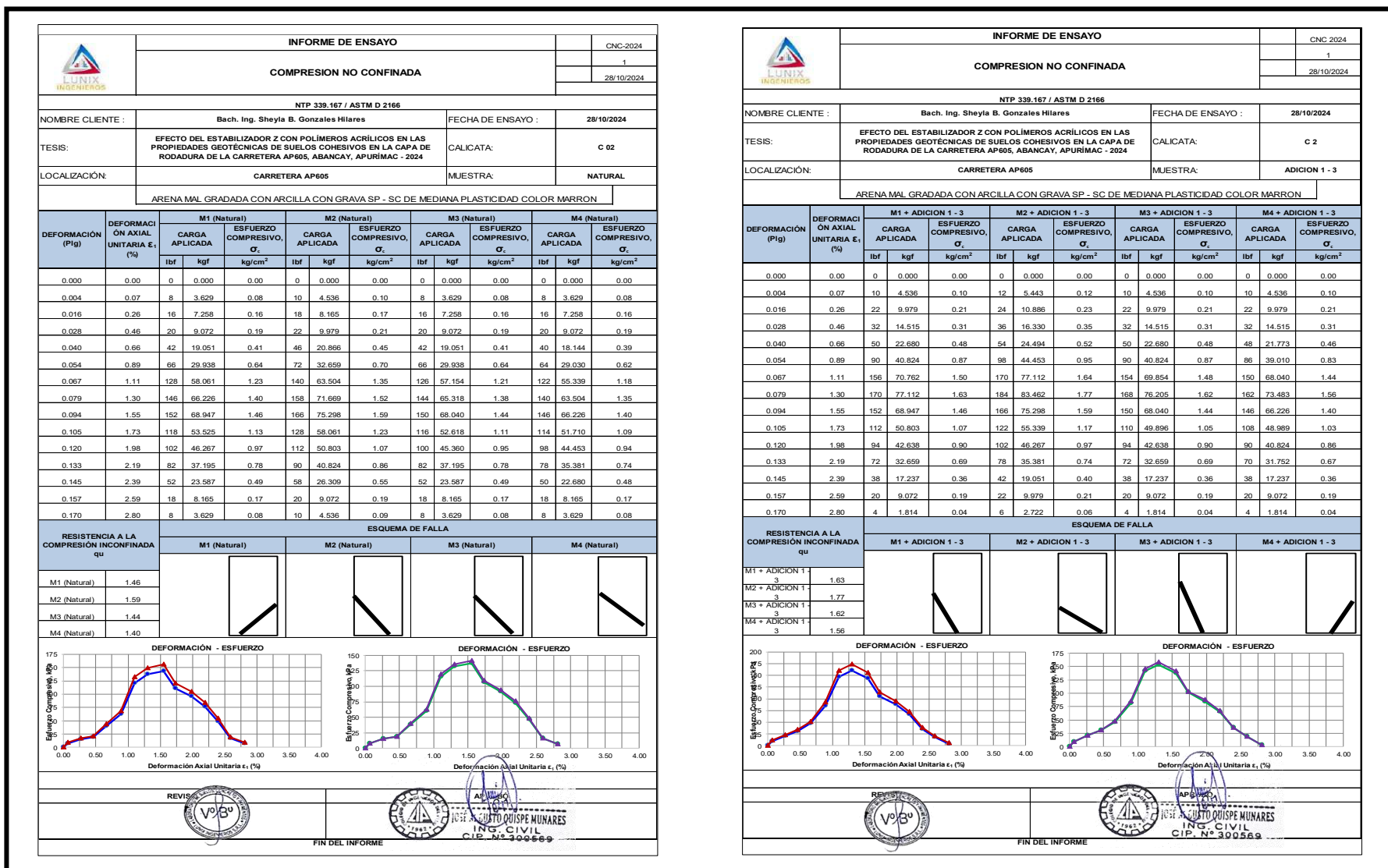


Figura 46 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos

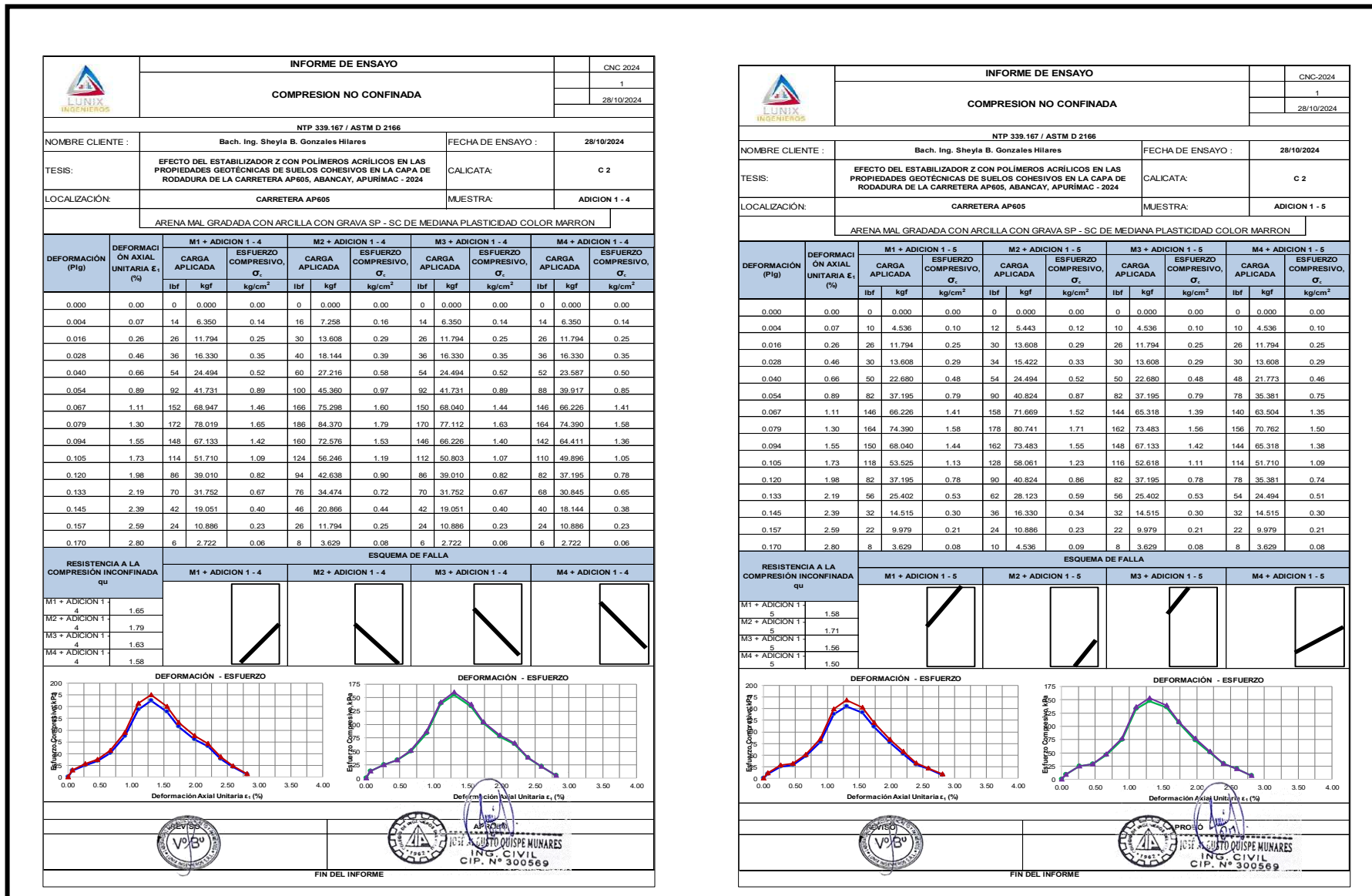


Figura 47 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 2 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) en proporción 1:4 y 1:5 con estabilizador Z con polímeros acrílicos

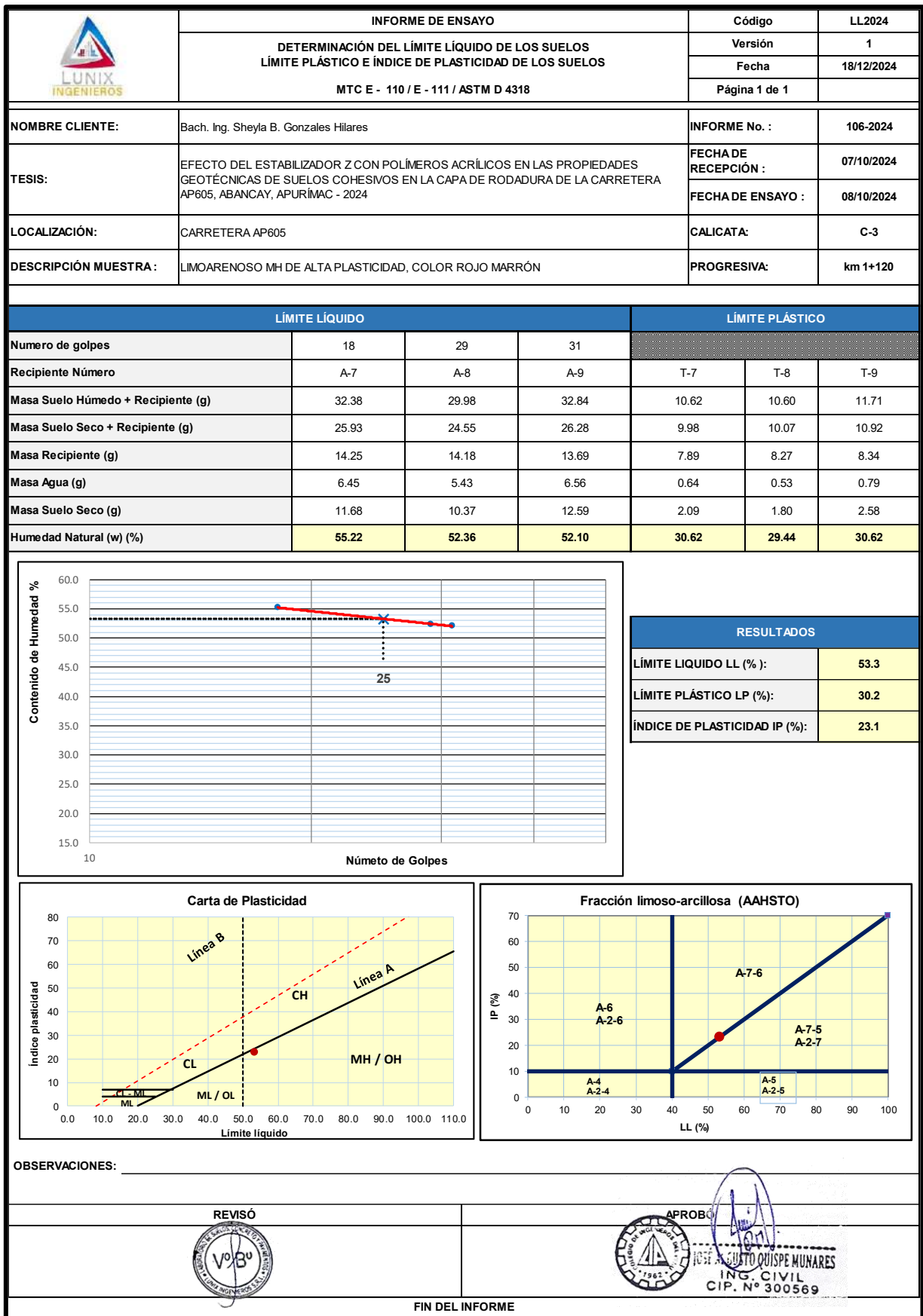


Figura 48 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de linde líquido, limite plástico e índice de plasticidad



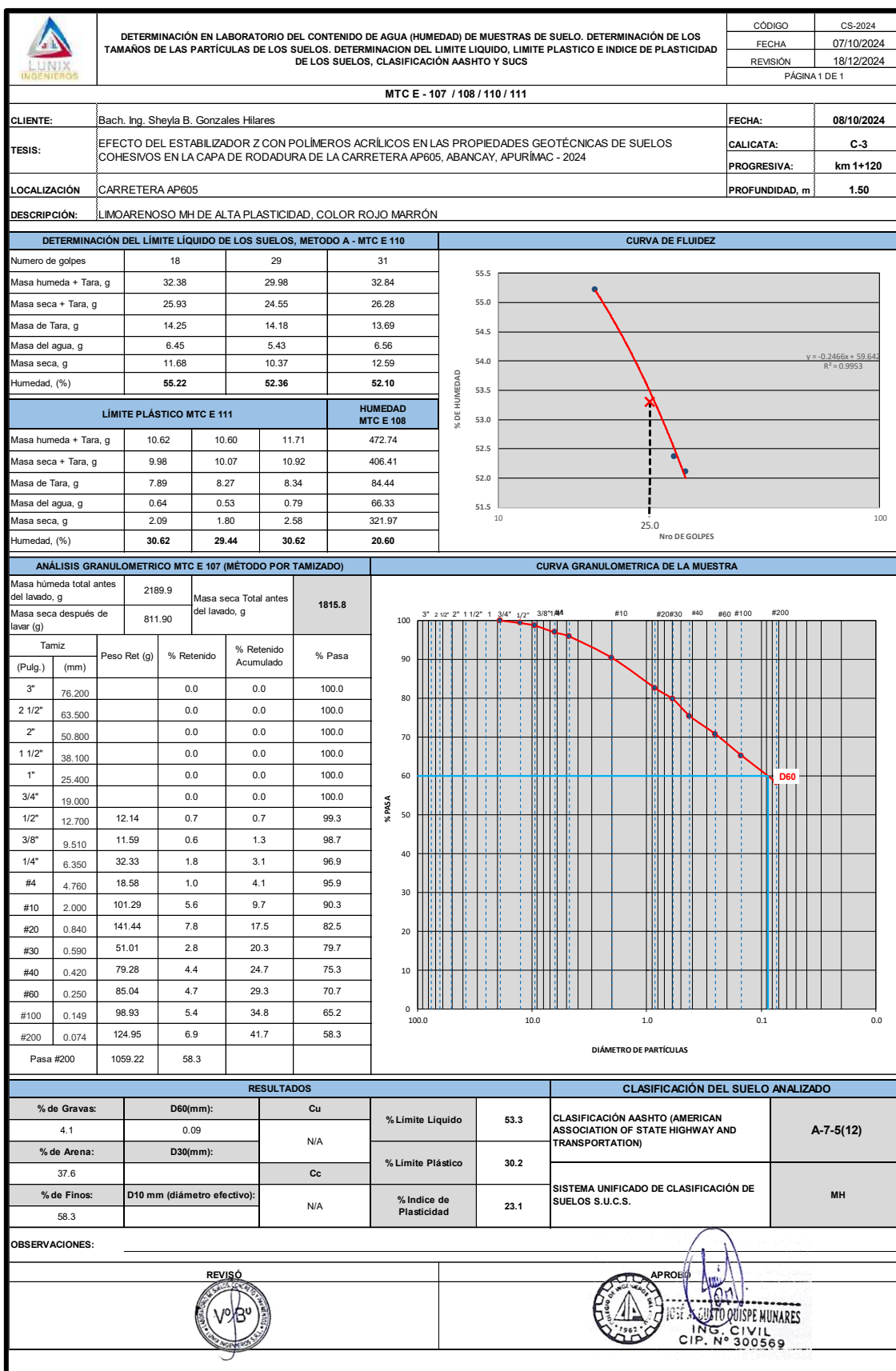


Figura 49 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo




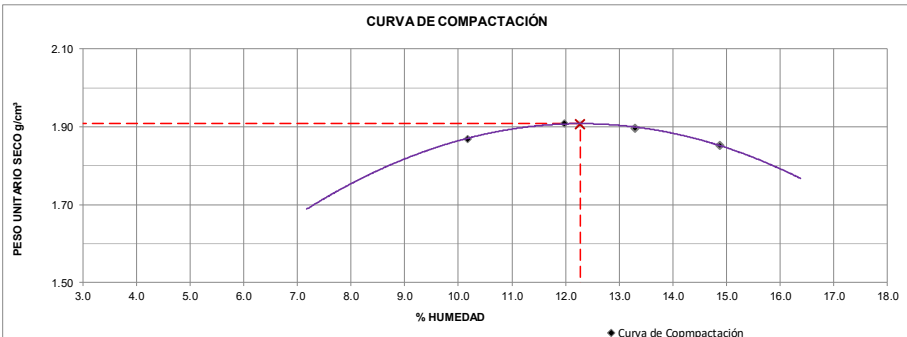

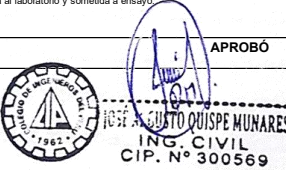
	INFORME DE ENSAYO				Código	P-2024
	RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)				Versión	1
	NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557				Fecha	18/12/2024
					Página 1 de 1	
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilares			INFORME No.	106-2024	
TESIS:	EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024			FECHA DE ENSAYO:	25/11/2024	
				CALICATA:	C-3	
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605			PROGRESIVA:	km 1+120	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	LIMOARENOSO MH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR ROJO MARRÓN					
COMPACTACIÓN DE LAS MUESTRAS				MÉTODO DE ENSAYO:		B
PRUEBA	Und	1	2	3	4	
MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ 3/4"	g	6000	6000	6000	6000	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	No	25	25	25	25	
NUMERO DE MOLDE	No	1	1	1	1	
VOLUMEN MOLDE	cm ³	952	952	952	952	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	5725	5810	5790	5800	
MASA DEL MOLDE	g	3764	3764	3764	3764	
MASA MUESTRA HUMEDA	g	1961	2046	2026	2036	
HUMEDAD DE COMPACTACIÓN						
NUMERO DE RECIPIENTE	No	R-5	R-2	R-4	R-9	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	304.36	338.32	298.71	358.64	
MASA MUESTRA SECA Y MOLDE	g	279.62	302.80	264.71	323.75	
MASA DEL MOLDE	g	36.28	35.59	36.12	32.53	
MASA DEL AGUA	g	24.74	35.52	34.00	34.89	
MASA DE LA MUESTRA SECA	g	243.34	267.21	228.59	291.22	
% de HUMEDAD	%	10.2	13.3	14.9	12.0	
DETERMINACIÓN DEL PESOS UNITARIOS DE LOS ESPECÍMENES						
DENSIDAD HÚMEDA	g/cm ³	2.06	2.15	2.13	2.14	
DENSIDAD SECA	g/cm ³	1.87	1.90	1.85	1.91	
PESO UNITARIO SECO	kN/m ³	18.34	18.60	18.17	18.73	
	lb/ft ³	116.73	118.43	115.65	119.23	
CURVA DE COMPACTACIÓN				PESO UNITARIO SECO MÁXIMO		
				1.91 g/cm ³		
				18.9 KN/m ³		
				HUMEDAD ÓPTIMA (%)		
				12.3		
				PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO		
				NO REQUIERE kN/m ³		
			NO REQUIERE kg/m ³			
OBSERVACIONES:						
Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.						
REVISÓ			APROBÓ			
						

Figura 50 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3



MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO										Código	
NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883										CBR-2024	
										Versión	
										1	
										Fecha	
										18/12/2024	
NOMBRE CLIENTE: Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilarés					INFORME No.:					106-2024	
TESIS: EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍlicos EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024					FECHA DE ENSAYO:					29/11/2024	
LOCALIZACIÓN: CARRETERA AP605					CALICATA:					C-3	
DESCRIPCIÓN: LIMOARENOSO MH DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR ROJO MARRÓN					PROGRESIVA:					km 1+120	
					MUESTRA:					SIN ADITIVO	

COMPACTACIÓN						
Molde N°	6		6		4	
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)	11800.00	11800.00	11790.00	11950.00	11270.00	11500.00
Peso de molde (g)	7230.00	7230.00	7400.00	7400.00	7310.00	7310.00
Peso del Suelo húmedo (g)	4570.00	4570.00	4390.00	4550.00	3960.00	4190.00
Volumen del molde (cm³)	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00
Densidad húmeda (g/cm³)	2.15	2.19	2.06	2.14	1.86	1.97
Tara (N°)	R-4	C-2	R-2	R-3	R-5	R-2
Peso suelo húmedo + tara (g)	298.61	382.73	342.32	297.3	309.96	387.7
Peso suelo seco + tara (g)	269.71	338.21	309.80	281.14	280.13	331.6
Peso tara (g)	36.12	38.1	35.99	35.5	36.28	35.5
Peso de agua (g)	28.90	44.52	33.52	36.16	29.83	56.1
Peso de suelo seco (g)	233.59	300.11	273.21	225.64	243.85	296.1
Contenido de humedad (%)	12.37	14.83	12.27	16.03	12.23	18.95
Densidad seca (g/cm³)	1.91	1.91	1.84	1.84	1.66	1.66

EXPANSIÓN										
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		EXPANSIÓN		EXPANSIÓN		
				mm	%	mm	%	mm	%	
25/11/24	17.10	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0.000	0
26/11/24	17.10	24.00	1	0.010	0.0	3	0.030	0.0	0.050	0.0
27/11/24	17.10	48.00	8	0.080	0.1	10	0.100	0.1	0.110	0.1
28/11/24	17.10	72.00	11	0.110	0.1	14	0.140	0.1	0.160	0.1
29/11/24	17.10	96.00	14	0.140	0.1	17	0.170	0.1	0.210	0.2

PENETRACIÓN												
PENETRACIÓN	CARGA ESTAND.	lecturas pulg.	MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4			CBR % Corregido
			lecturas lbf	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI Corregido	lecturas lbf	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI Corregido	lecturas lbf	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI Corregido	
0.000	0.000		0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	
0.635	0.025		54	18.0	18.0	22	7.3	7.3	10	3.3	3.3	
1.270	0.050		126	42.0	42.0	54	18.0	18.0	24	8.0	8.0	
1.905	0.075		210	70.0	70.0	88	29.3	29.3	40	13.3	13.3	
2.540	0.100	1000	284	94.7	94.7	120	40.0	40.0	54	18.0	18.0	1.8
3.175	0.125		366	122.0	122.0	154	51.3	51.3	70	23.3	23.3	
3.810	0.150		448	149.3	149.3	188	62.7	62.7	84	28.0	28.0	
4.445	0.175		544	181.3	181.3	230	76.7	76.7	102	34.0	34.0	
5.080	0.200	1500	594	198.0	198.0	250	83.3	83.3	112	37.3	37.3	2.5
5.720	0.300		854	298.0	298.0	376	125.3	125.3	168	56.0	56.0	
10.160	0.400		946	315.3	315.3	474	158.0	158.0	212	70.7	70.7	
12.700	0.500		1142	380.7	380.7	576	192.0	192.0	258	86.0	86.0	

OBSERVACIONES:	

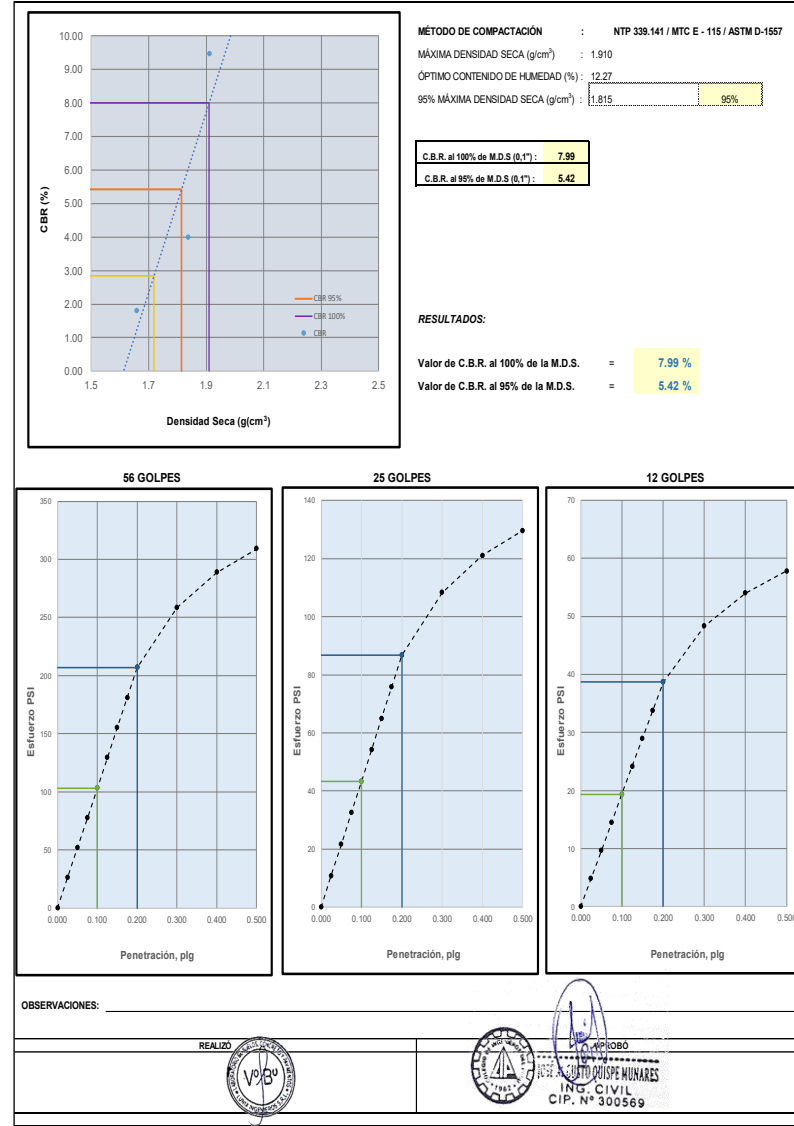


Figura 51 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR natural

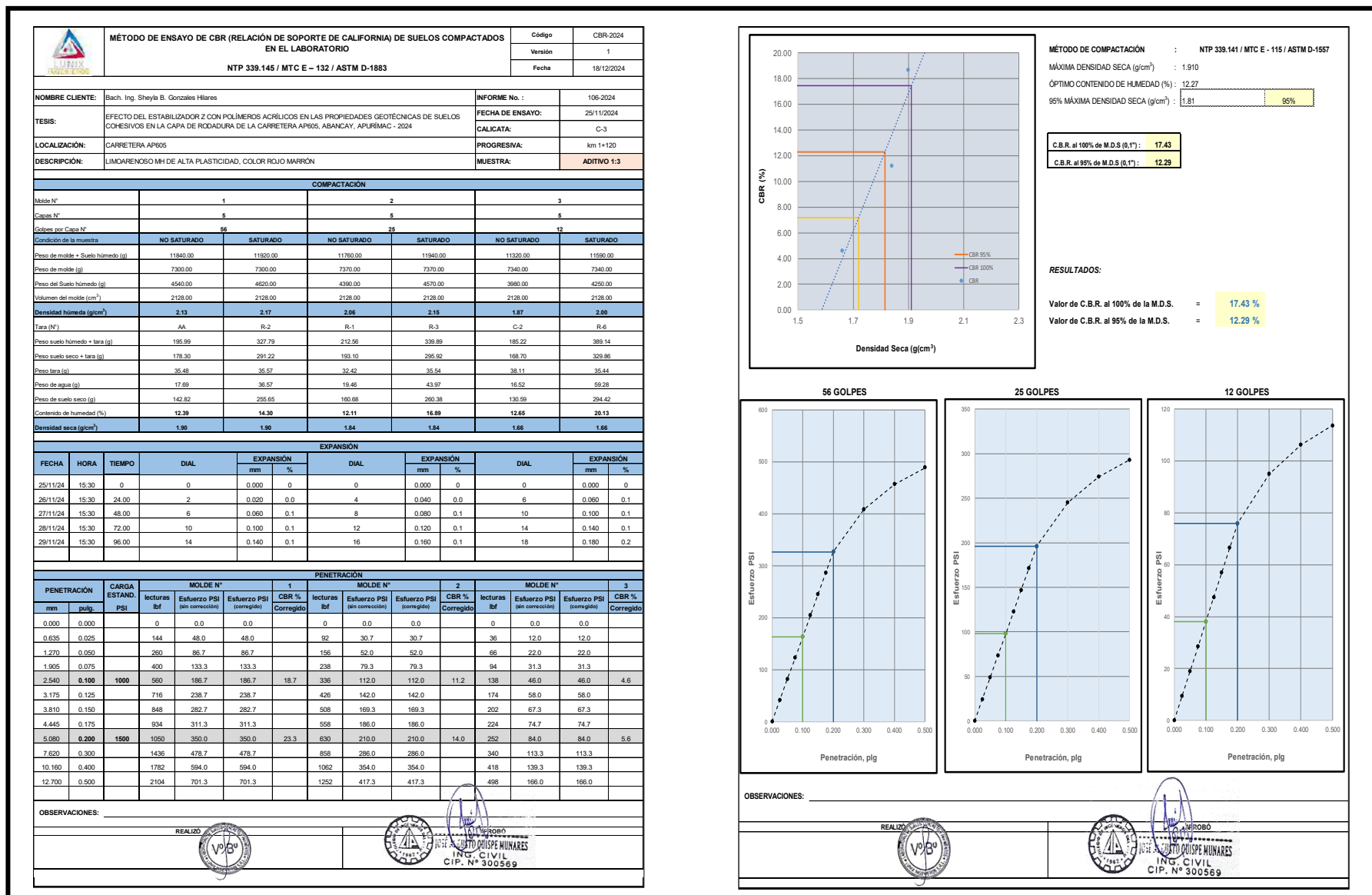


Figura 52 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3

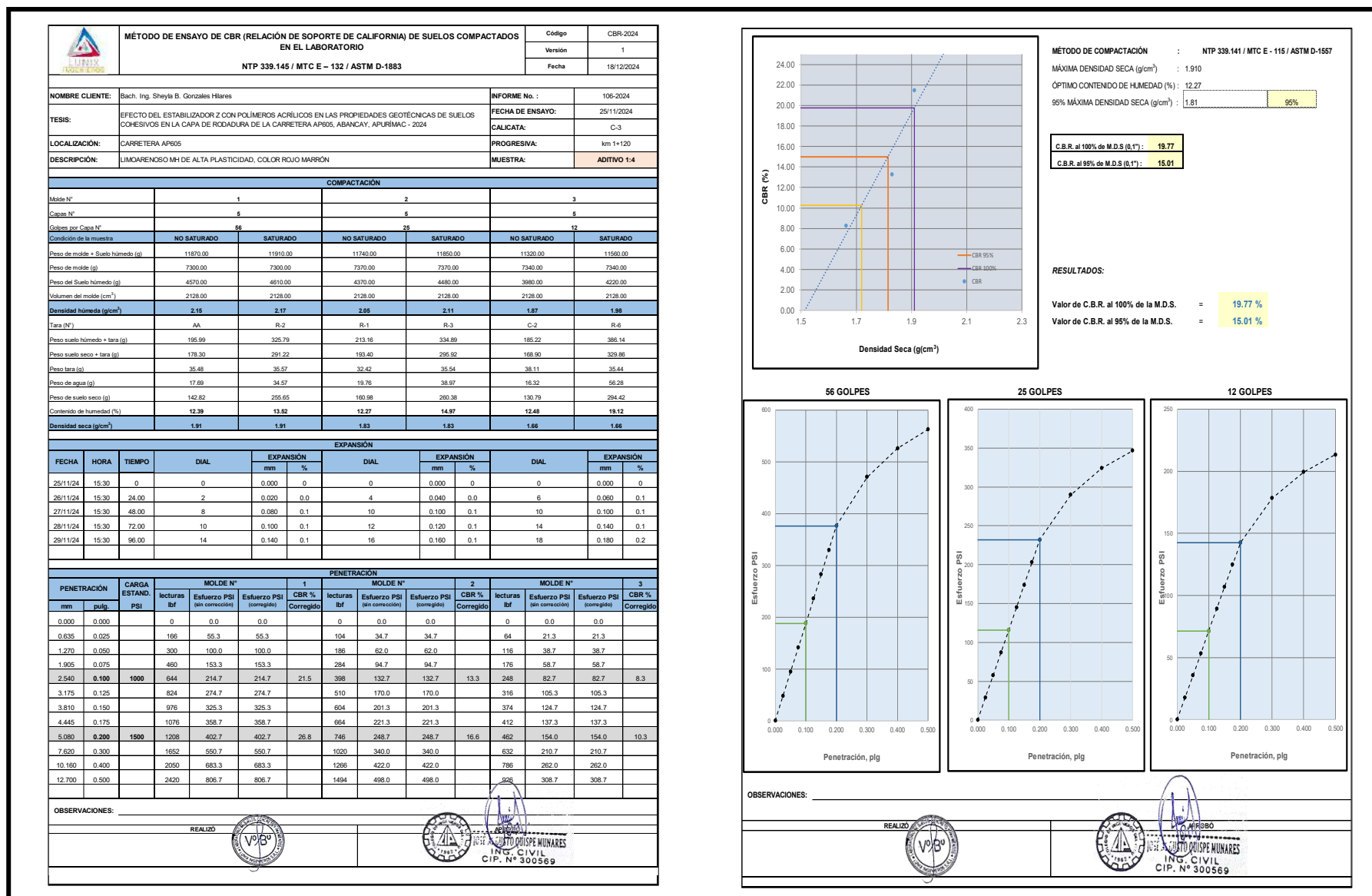


Figura 53 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4

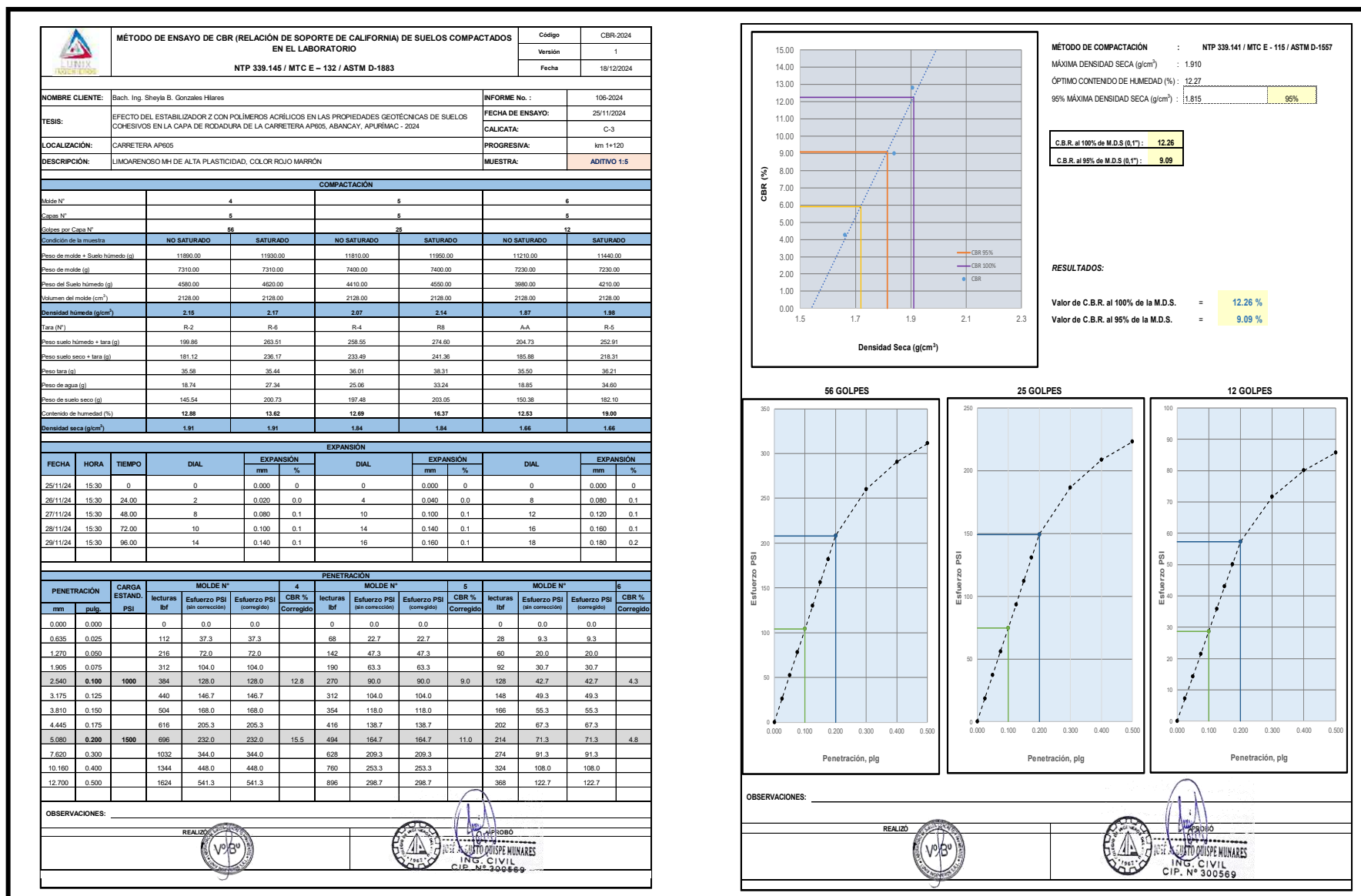


Figura 54 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5

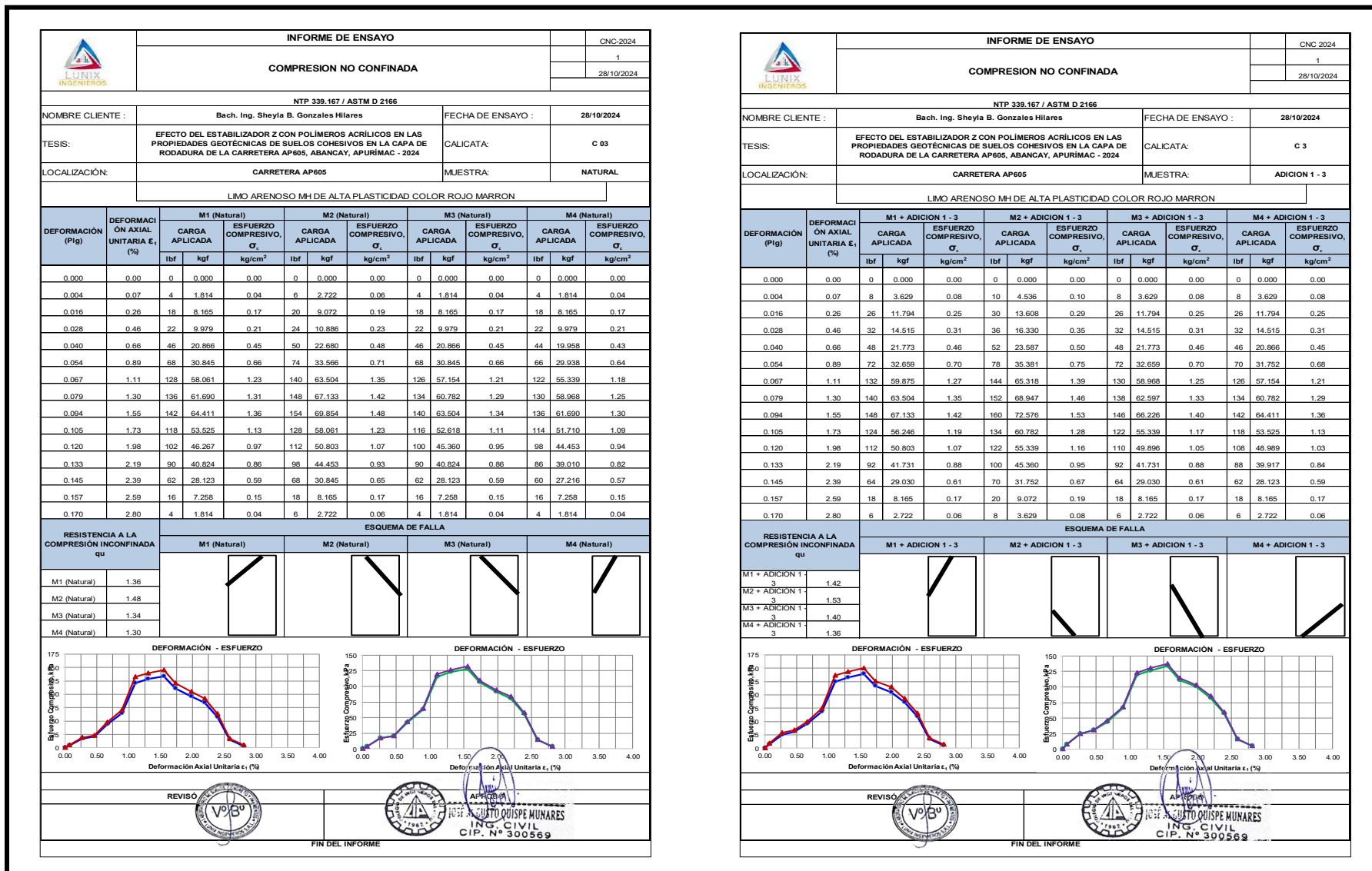
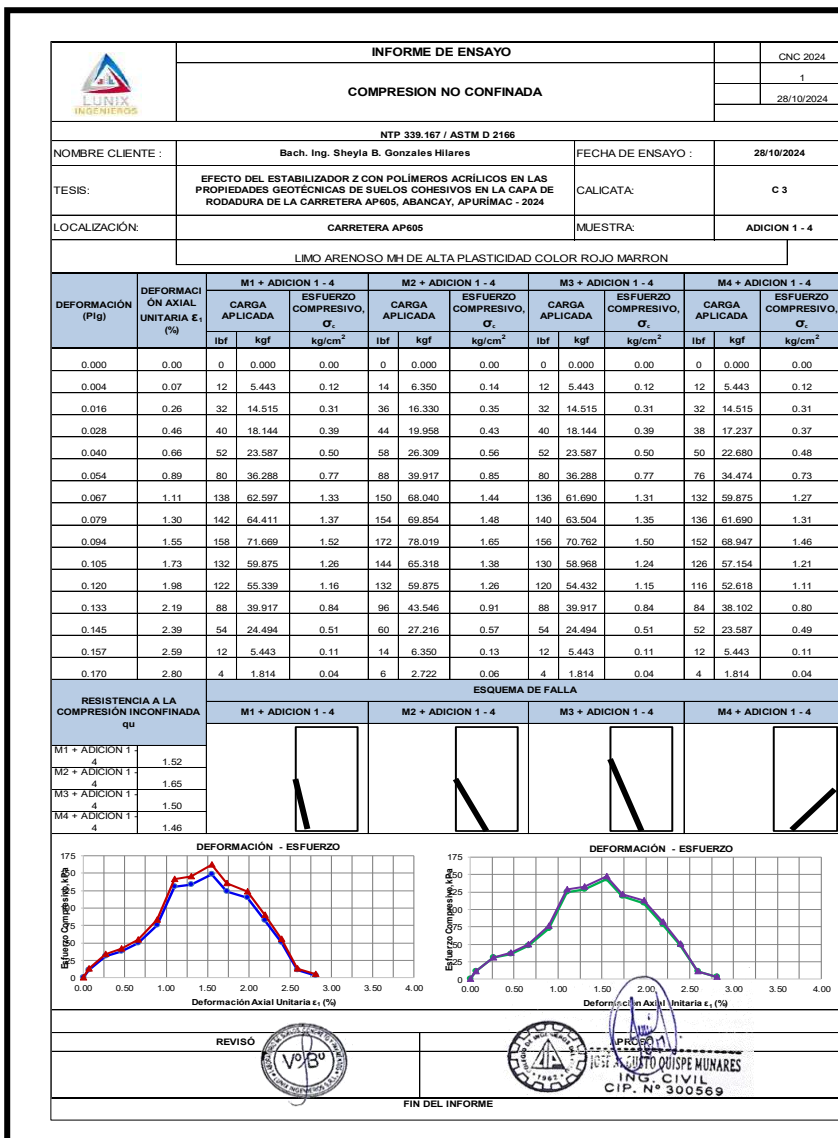


Figura 55 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 3 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos



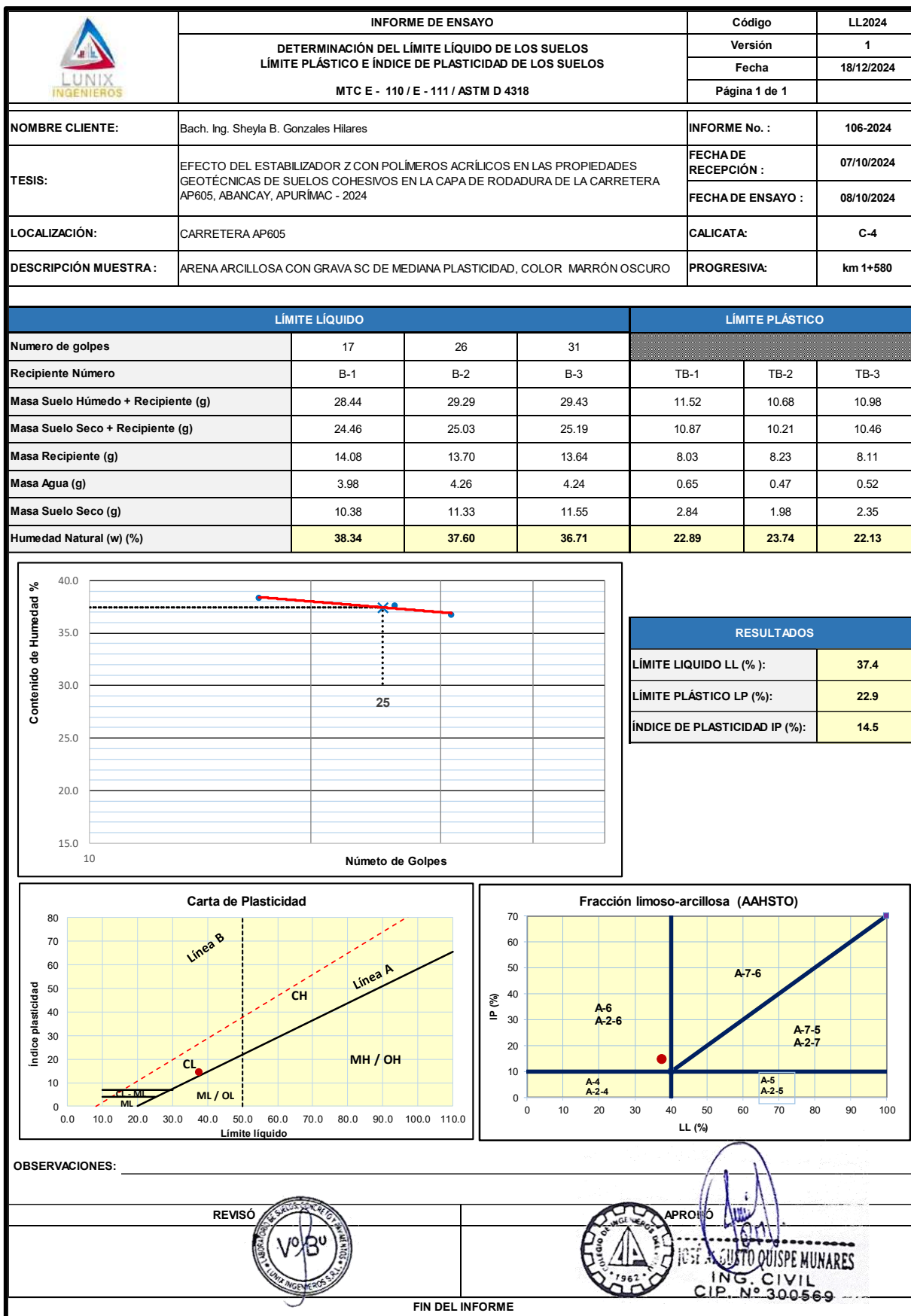


Figura 57 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad





Figura 58 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de contenido de humedad, granulometría y clasificación del suelo




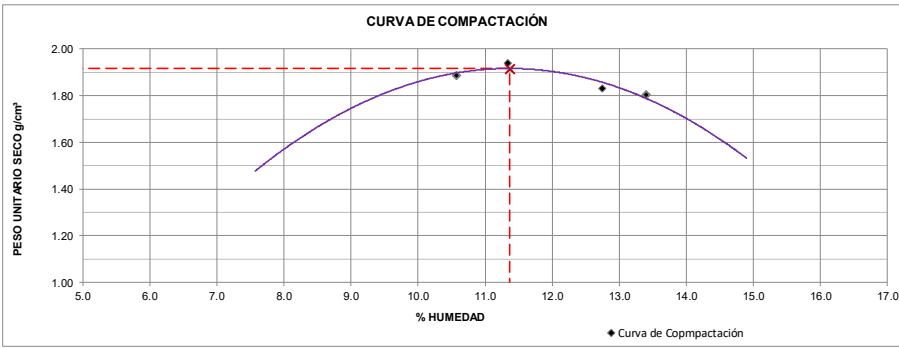


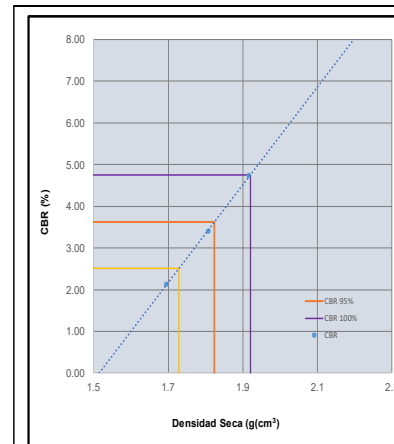
	INFORME DE ENSAYO				Código	P-2024
	RELACIONES DE HUMEDAD – PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)				Versión	1
	NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557				Fecha	18/12/2024
					Página 1 de 1	
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilares			INFORME No.	106-2024	
TESIS:	EFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024			FECHA DE ENSAYO:	25/11/2024	
				CALICATA:	C-4	
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605			PROGRESIVA:	km 1+580	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO					
COMPACTACIÓN DE LAS MUESTRAS				MÉTODO DE ENSAYO:		B
PRUEBA	Und	1	2	3	4	
MATERIAL RETENIDO EN EL TAMIZ 3/4"	g	6000	6000	6000	6000	
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	No	25	25	25	25	
NUMERO DE MOLDE	No	1	1	1	1	
VOLUMEN MOLDE	cm ³	952	952	952	952	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	5820	5750	5710	5730	
MASA DEL MOLDE	g	3764	3764	3764	3764	
MASA MUESTRA HUMEDA	g	2056	1986	1946	1966	
HUMEDAD DE COMPACTACIÓN						
NUMERO DE RECIPIENTE	No	R-1	R-2	R-4	R-5	
MASA MUESTRA HUMEDA Y MOLDE	g	301.99	358.64	387.42	390.11	
MASA MUESTRA SECA Y MOLDE	g	274.55	327.75	345.90	349.68	
MASA DEL MOLDE	g	32.42	35.59	36.01	32.53	
MASA DEL AGUA	g	27.44	30.89	41.52	40.43	
MASA DE LA MUESTRA SECA	g	242.13	292.16	309.89	317.15	
% de HUMEDAD	%	11.3	10.6	13.4	12.7	
DETERMINACIÓN DEL PESOS UNITARIOS DE LOS ESPECÍMENES						
DENSIDAD HÚMEDA	g/cm ³	2.16	2.09	2.04	2.07	
DENSIDAD SECA	g/cm ³	1.94	1.89	1.80	1.83	
PESO UNITARIO SECO	kN/m ³	19.02	18.50	17.68	17.96	
	lb/ft ³	121.10	117.78	112.53	114.35	
CURVA DE COMPACTACIÓN				PESO UNITARIO SECO MÁXIMO		
				1.92 g/cm ³		
				19.0 kN/m ³		
				HUMEDAD ÓPTIMA (%)		
				11.4		
				PESO UNITARIO SECO MÁXIMO CORREGIDO		
				NO REQUIERE kN/m ³		
				NO REQUIERE kg/m ³		
OBSERVACIONES:						
Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra entregada al laboratorio y sometida a ensayo.						
REVISÓ			APROBÓ			
			 AGUSTÍN QUISPE MUNARES ING. CIVIL CIP. N° 300569			

Figura 59 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4



MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO		Código	CBR-2024										
		Versión	1										
		Fecha	18/12/2024										
NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883													
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Sheyla B. Gonzales Hilarés	INFORME No.:	106-2024										
TEJIS:	EFFECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANCAY, APURÍMAC - 2024	FECHA DE ENSAYO:	25/11/2024										
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605	CALICATA:	C-4										
DESCRIPCIÓN:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR: MARRÓN OSCURO	PROGRESIVA:	km 1+580										
		MUESTRA:	SIN ADITIVO										
COMPACTACIÓN													
Molde N°	6	5	4										
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)	11770.00	11910.00	11690.00	11900.00	11330.00	11540.00							
Peso de molde (g)	7230.00	7230.00	7400.00	7400.00	7310.00	7310.00							
Peso del Suelo húmedo (g)	4540.00	4680.00	4290.00	4500.00	4020.00	4230.00							
Volumen del molde (cm ³)	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00							
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.13	2.20	2.02	2.11	1.89	1.99							
Tara (N°)	R3	E2	R1	E1	C2	C1							
Peso suelo húmedo + tara (g)	120.90	404.52	129.70	396.76	171.90	303.11							
Peso suelo seco + tara (g)	112.20	357.20	120.00	350.30	158.10	262.70							
Peso tara (g)	35.50	38.31	35.60	71.73	38.10	37.47							
Peso de agua (g)	8.70	47.32	9.70	46.48	13.80	40.41							
Peso de suelo seco (g)	76.70	318.89	84.40	278.57	120.00	225.23							
Contenido de humedad (%)	11.34	14.84	11.49	16.69	11.50	17.94							
Densidad seca (g/cm ³)	1.92	1.92	1.81	1.81	1.69	1.69							
EXPANSIÓN													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN			
				mm	%		mm	%		mm	%		
25/11/24	11:30	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0.000	0		
26/11/24	11:30	24	0	0.020	0.0	4	0.040	0.0	6	0.060	0.1		
27/11/24	11:30	48	0	0.060	0.1	10	0.100	0.1	10	0.100	0.1		
28/11/24	11:30	72	0	0.100	0.1	14	0.140	0.1	16	0.160	0.1		
29/11/24	11:30	96	0	0.140	0.1	16	0.160	0.1	18	0.180	0.2		
PENETRACIÓN													
PENETRACIÓN	CARGA ESTAND.	MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4					
		lecturas	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI (Corregido)	lecturas	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI (Corregido)	lecturas	Esfuerzo PSI (sin corrección)	Esfuerzo PSI (Corregido)			
0.000	0.000	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0			
0.635	0.025	60	20.0	20.0	44	14.7	14.7	28	9.3	9.3			
1.270	0.050	72	24.0	24.0	52	17.3	17.3	32	10.7	10.7			
1.905	0.075	128	42.7	42.7	92	30.7	30.7	58	19.3	19.3			
2.540	0.100	1000	47.3	47.3	4.7	102	34.0	34.0	3.4	64	21.3	21.3	2.1
3.175	0.125	168	56.0	56.0	120	40.0	40.0	74	24.7	24.7			
3.810	0.150	195	65.3	65.3	140	46.7	46.7	88	29.3	29.3			
4.445	0.175	204	68.0	68.0	146	48.7	48.7	90	30.0	30.0			
5.080	0.200	1500	74.7	74.7	5.0	160	53.3	53.3	3.6	100	33.3	33.3	2.2
7.620	0.300	302	100.7	100.7	216	72.0	72.0	134	44.7	44.7			
10.160	0.400	354	118.0	118.0	252	84.0	84.0	156	52.0	52.0			
12.700	0.500	390	130.0	130.0	278	92.7	92.7	172	57.3	57.3			
OBSERVACIONES:													
REALIZO:													

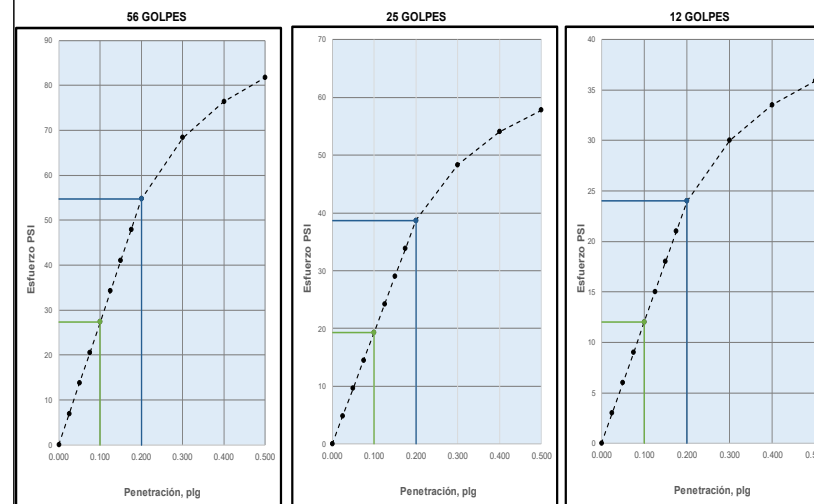


MÉTODO DE COMPACTACIÓN : NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557
 MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.920
 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 11.37
 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.824 95%

C.B.R. al 100% de M.D.S (0.1"): 4.76
 C.B.R. al 95% de M.D.S (0.1"): 3.63

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 4.76 %
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 3.63 %



OBSERVACIONES:

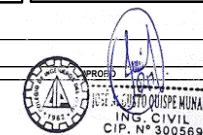
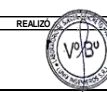


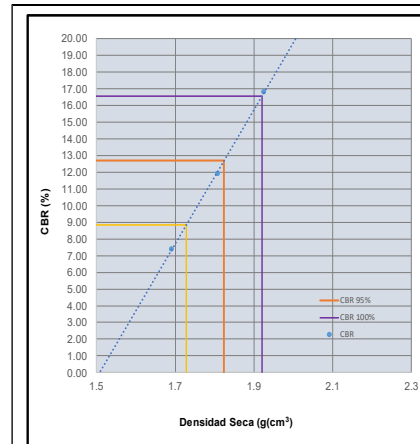


Figura 60 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR natural

MÉTODO DE ENSAYO DE CBR (RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO		Código	CBR-2024						
		Versión	1						
		Fecha	18/12/2024						
NTP 339.145 / MTC E - 132 / ASTM D-1883									
NOMBRE CLIENTE:	Bach. Ing. Shelya B. Gonzales Hilares	INFORME No.:	106-2024						
TEJIS:	EFEECTO DEL ESTABILIZADOR Z CON POLÍMEROS ACRÍLICOS EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS COHESIVOS EN LA CAPA DE RODADURA DE LA CARRETERA AP605, ABANGAY, APURÍMAC - 2024	FECHA DE ENSAYO:	25/11/2024						
LOCALIZACIÓN:	CARRETERA AP605	CALICATA:	C-4						
DESCRIPCIÓN:	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA SC DE MEDIANA PLASTICIDAD, COLOR MARRÓN OSCURO	PROGRESIVA:	km 1+580						
		MUESTRA:	ADITIVO 1 - 3						
COMPACTACIÓN									
Molde N°	6	5	5	4					
Capas N°	5	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)	11800.00	11930.00	11690.00	11930.00	11320.00	11560.00			
Peso de molde (g)	7230.00	7230.00	7400.00	7400.00	7310.00	7310.00			
Peso del Suelo húmedo (g)	4570.00	4700.00	4290.00	4530.00	4010.00	4250.00			
Volumen del molde (cm³)	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00	2128.00			
Densidad húmeda (g/cm³)	2.16	2.21	2.02	2.13	1.88	2.00			
Tara (N°)	R3	E2	R1	E1	C2	C1			
Peso suelo húmedo + tara (g)	121.10	405.52	129.70	398.78	171.90	304.11			
Peso suelo seco + tara (g)	112.20	357.20	120.00	350.30	158.10	282.70			
Peso tara (g)	35.50	38.31	35.60	71.73	38.10	37.47			
Peso de agua (g)	8.60	48.32	9.70	48.48	13.80	41.41			
Peso de suelo seco (g)	76.70	318.89	84.40	278.57	120.00	225.23			
Contenido de humedad (%)	11.60	15.15	11.49	17.40	11.59	18.39			
Densidad seca (g/cm³)	1.92	1.92	1.81	1.81	1.69	1.69			
EXPANSIÓN									
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		EXPANSIÓN		EXPANSIÓN	
				mm	%	mm	%	mm	%
25/11/24	11:30	0	0	0.000	0	0	0.000	0	0
26/11/24	11:30	24.00	2	0.020	0.0	4	0.040	0	0
27/11/24	11:30	48.00	6	0.060	0.1	10	0.100	0.1	0.1
28/11/24	11:30	72.00	10	0.100	0.1	14	0.140	0.1	0.1
29/11/24	11:30	96.00	14	0.140	0.1	16	0.160	0.1	0.2
PENETRACIÓN									
PENETRACIÓN	CARGA ESTAND.	MOLDE N° 6		MOLDE N° 5		MOLDE N° 4		CBR %	Corregido
		lecturas	Esfuerzo PSI	lecturas	Esfuerzo PSI	lecturas	Esfuerzo PSI		
0.000	0.000	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	
0.635	0.025	186	62.0	134	44.7	82	27.3	27.3	
1.270	0.050	302	100.7	216	72.0	134	44.7	44.7	
1.905	0.075	412	137.3	294	98.0	182	60.7	60.7	
2.540	0.100	504	168.0	358	119.3	222	74.0	74.0	7.4
3.175	0.125	568	189.3	404	134.7	250	83.3	83.3	
3.810	0.150	634	211.3	452	150.7	280	93.3	93.3	
4.445	0.175	662	220.7	472	157.3	292	97.3	97.3	
5.080	0.200	798	266.0	568	189.3	352	117.3	117.3	7.8
7.620	0.300	968	322.7	688	229.3	426	142.0	142.0	
10.160	0.400	1120	373.3	796	265.3	484	164.7	164.7	
12.700	0.500	1296	432.0	922	307.3	572	190.7	190.7	
OBSERVACIONES:									
REALIZO: 									
APROBÓ: 									

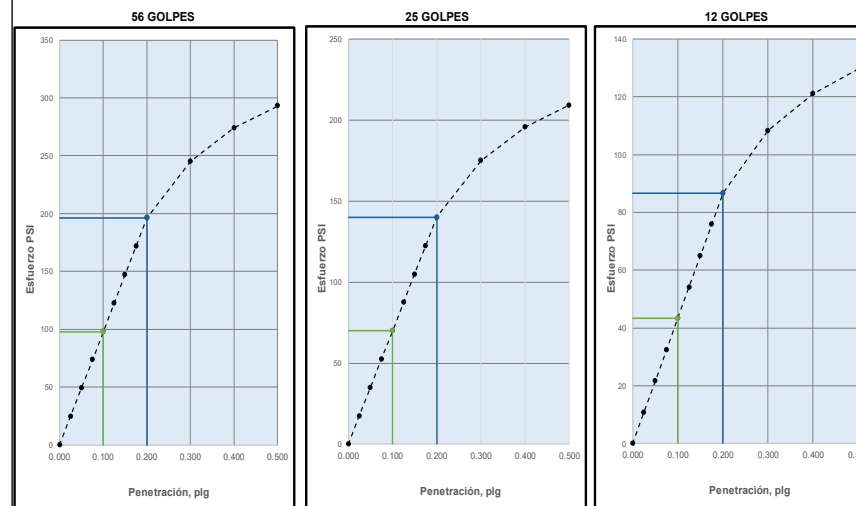


MÉTODO DE COMPACTACIÓN : NTP 339.141 / MTC E - 115 / ASTM D-1557
 MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.920
 ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 11.57
 95% MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.824

C.B.R. al 100% de M.D.S (0.1") : 16.56
 C.B.R. al 95% de M.D.S (0.1") : 12.71

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 16.56 %
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 12.71 %



OBSERVACIONES:



REALIZO:  APROBÓ: 

Figura 61 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:3

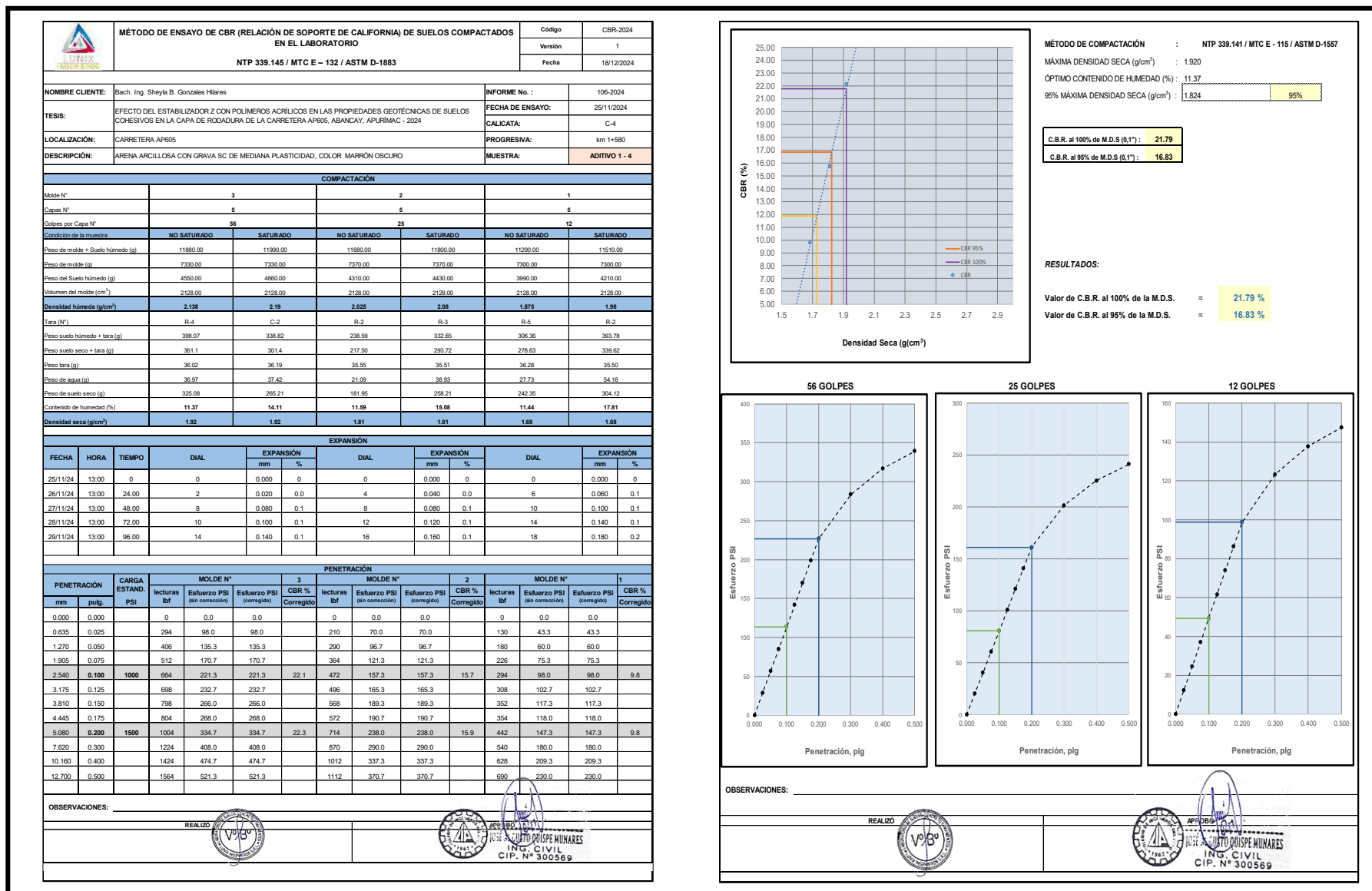


Figura 62 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:4

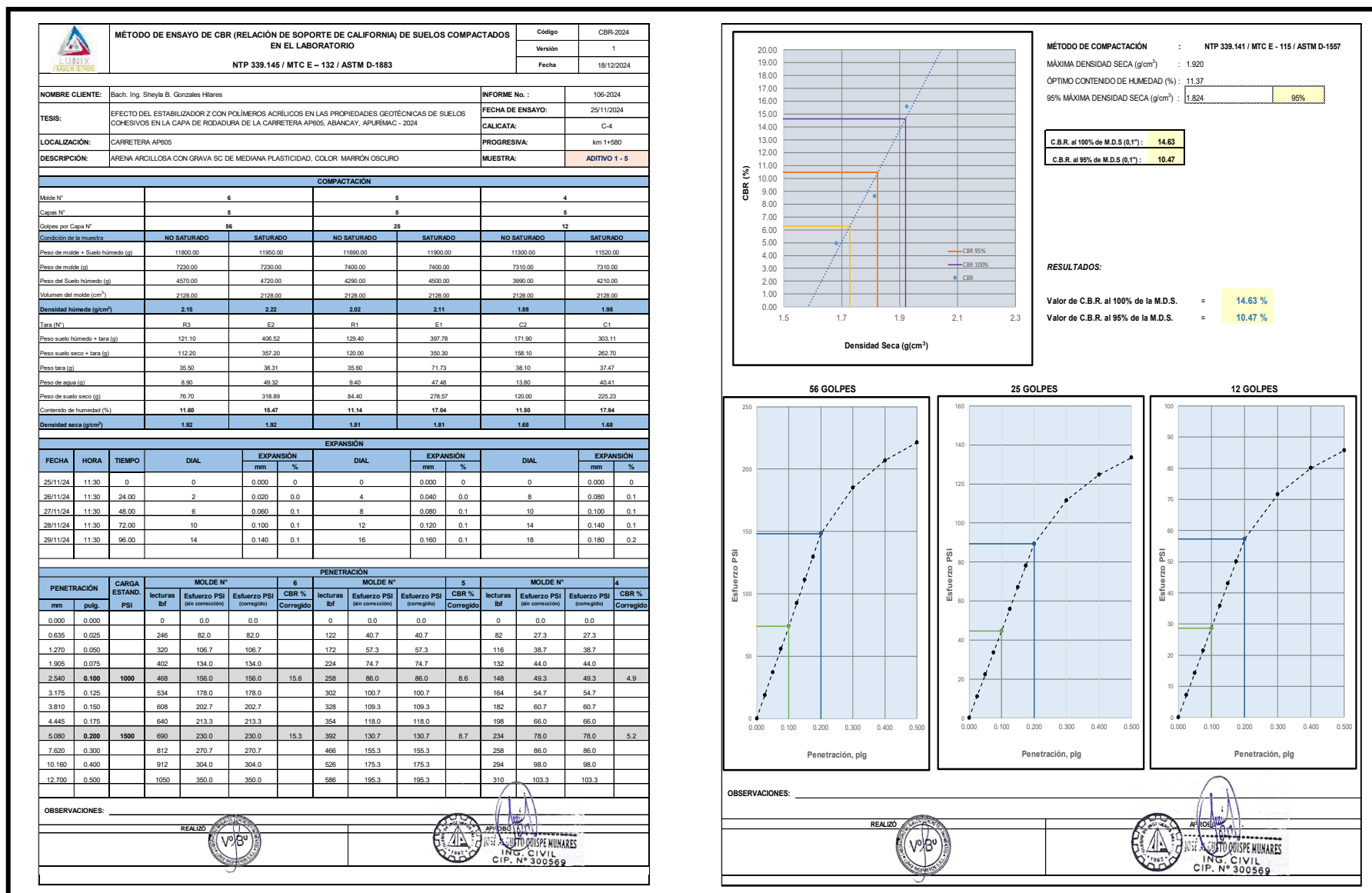


Figura 63 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de CBR con estabilizador Z con polímeros acrílicos en proporción de 1:5

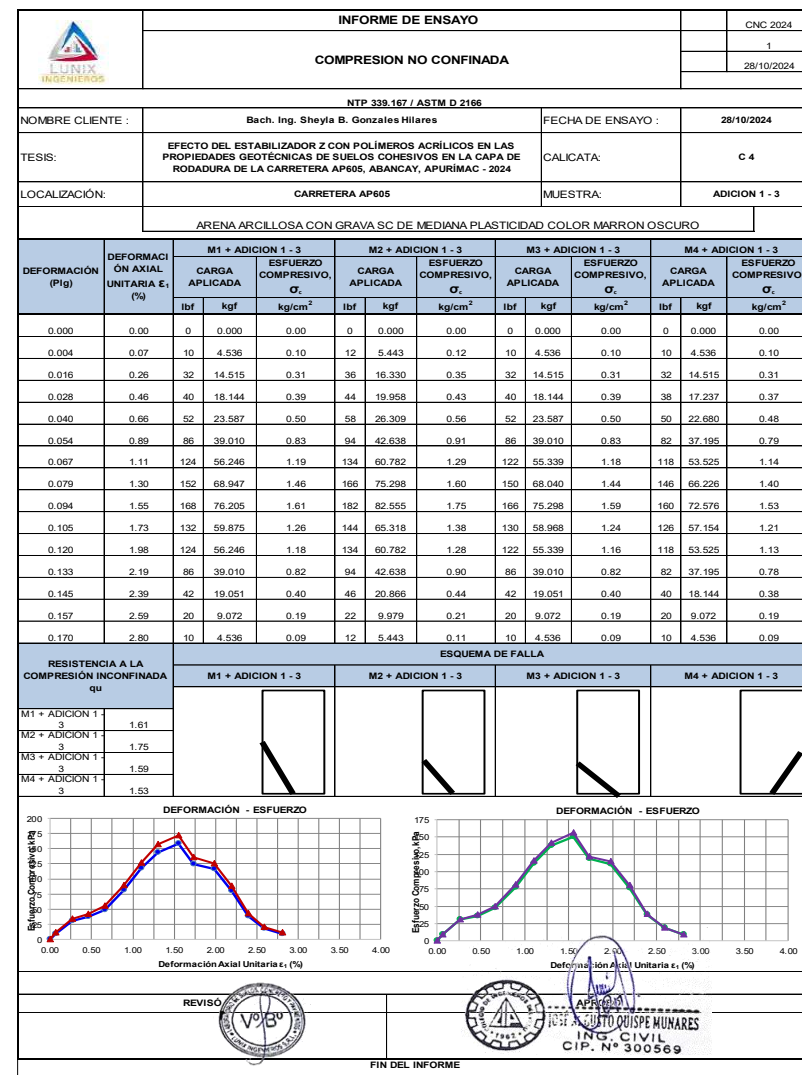
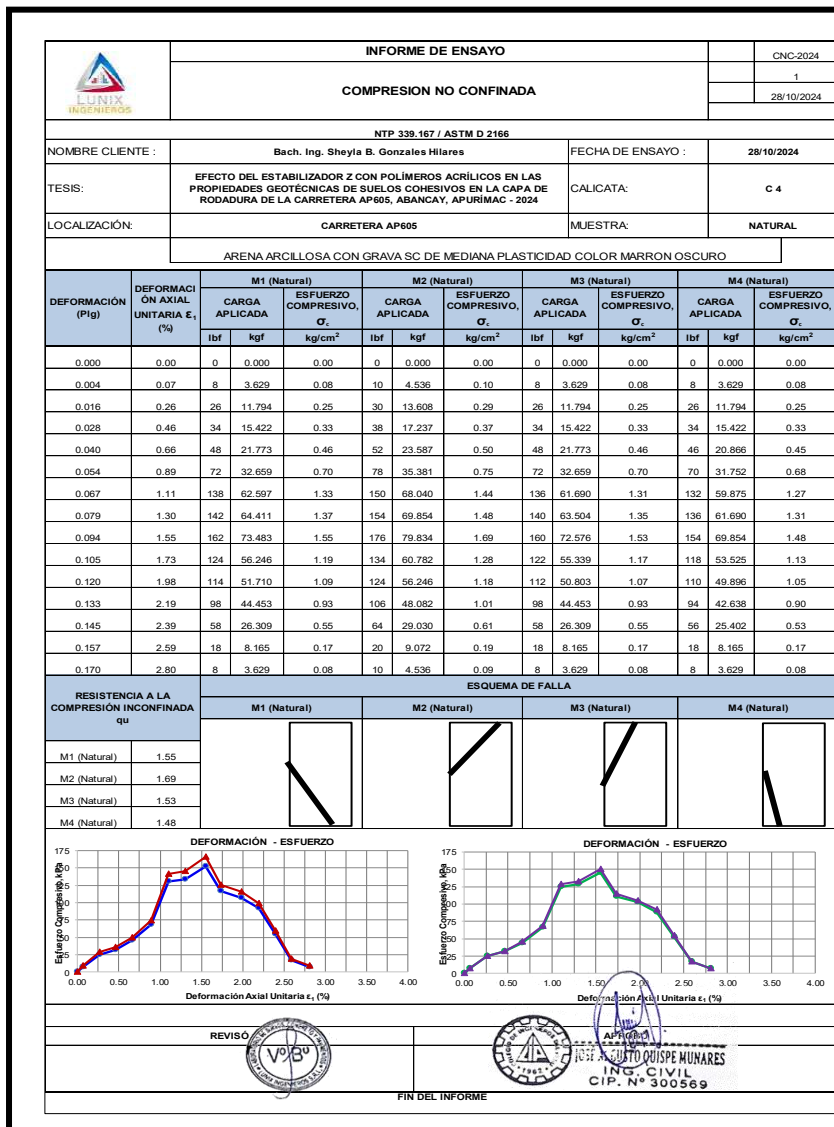


Figura 64 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) de suelo natural y la proporción 1:3 con estabilizador Z con polímeros acrílicos

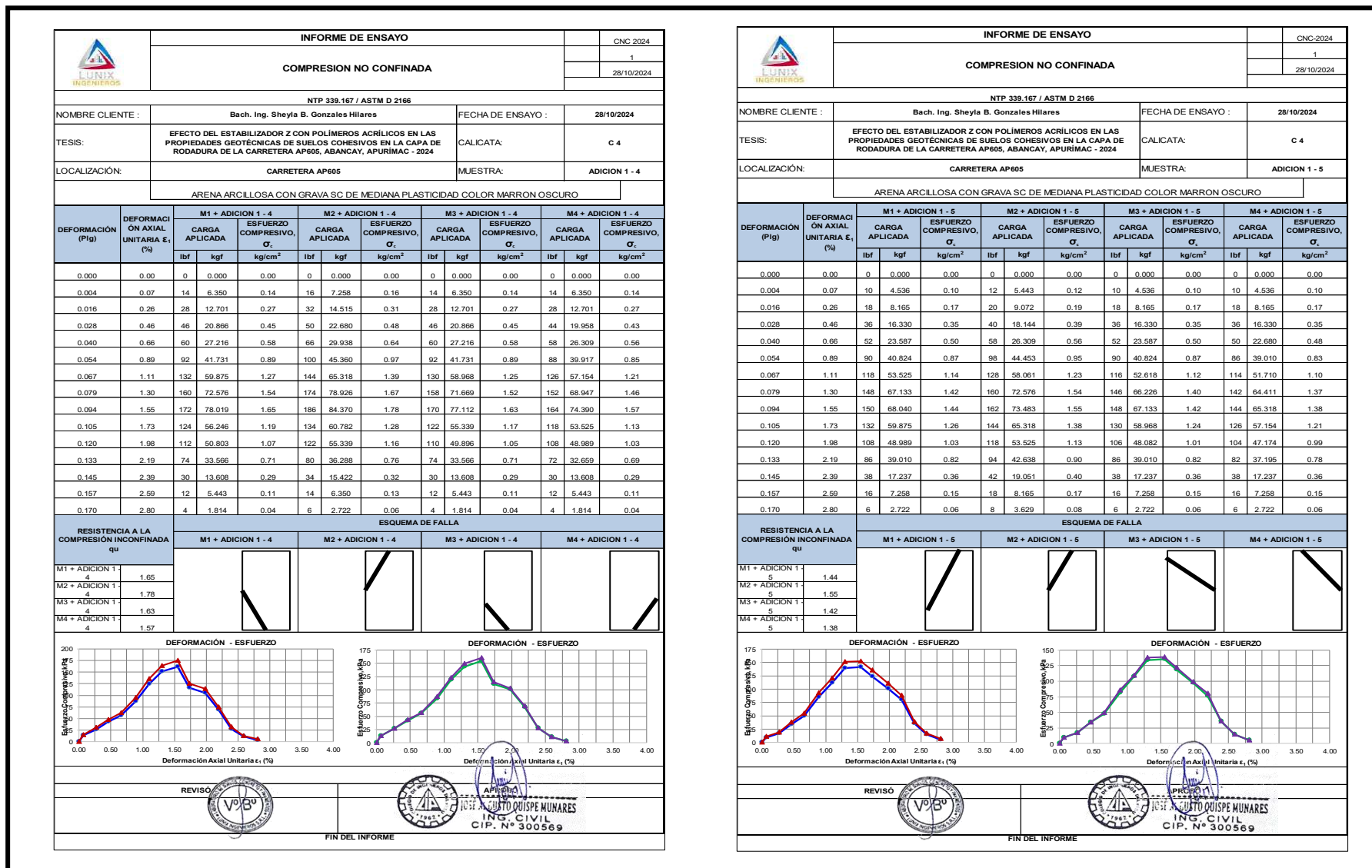


Figura 65 — Resultado de laboratorio del punto de muestreo 4 de resistencia a la compresión no confinada (kg/cm²) en proporción 1:4 y 1:5 con estabilizador Z con polímeros acrílicos

Anexo E

Certificado de calibración de instrumentos de laboratorio



SERVIMETROL

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 046 - 2024

Página 1 de 3

Expediente	24-0041	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o 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.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
1. Solicitante	LUNIX INGENIEROS S.R.L.	
2. Dirección	Av. Antonio Salas Berty N° 107 Urb. Condebamba, Abancay - Abancay - APURIMAC	
3. Equipo	PRENSA 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	

Sello



Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ
Fecha: 2024.05.23 11:50:06
-05'00'

ventasservimetrol@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 66 — Certificado de calibración de Prensa de CBR (parte 1)



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 046 - 2024

Página 2 de 3

7. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones de LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

8. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
Av. Antonio Salas Berty N° 107 Urb. Condebamba, Abancay - Abancay - APURIMAC

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	24,0 °C	23,7 °C
Humedad Relativa	42 % HR	42 % HR



10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2023-1 98950	Celda de carga calibrado a 30 tnf con incertidumbre del orden de 0,15 %	LEDI-PUCP INF-LE 071-24B

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.

✉ ventasservimetrol@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 67 — Certificado de calibración de Prensa de CBR (parte 2)





SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 046 - 2024

Página 3 de 3

12. Resultados de Medición

El equipo presenta CELDA DE CARGA con las siguientes características:

Capacidad : 50 kN

Marca : NO INDICA

Modelo : TSC

Nº de Serie : 2206054184

Indicación del Equipo	Indicación de Fuerza (Ascenso)				Error de Exactitud	Incertidumbre U (k=2)
	Patrón de Referencia					
%	F_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	q (%)	(%)
10	500,0	506,2	506,3	506,8	0,7	0,2
20	1000,0	1012,7	1012,9	1012,5	0,7	0,2
30	1500,0	1518,2	1518,0	1518,5	0,7	0,2
40	2000,0	2023,0	2022,7	2023,2	0,8	0,2
50	2500,0	2528,3	2528,1	2528,8	0,8	0,2
60	3000,0	3033,5	3033,2	3033,9	0,8	0,2
70	3500,0	3538,9	3538,2	3539,2	0,9	0,2
80	4000,0	4043,8	4043,3	4044,4	0,9	0,2
90	4500,0	4550,3	4550,0	4551,2	0,8	0,2
100	5000,0	5058,2	5058,0	5059,1	0,8	0,2

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0) 0,00 %



13. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del Documento

✉ ventasservimetrol@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 68 — Certificado de calibración de Prensa de CBR (parte 3)





SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 040 - 2024

Página 1 de 6

Expediente	24-0041	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o 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.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello parece de validez.</p>
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 / Selector	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**



[Firma digital]

Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ
Fecha: 2024.05.23 12:34:15 -05'00'

ventasservimetrol@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



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 040 - 2024

Página 2 de 6

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa de acuerdo al PC-018 "Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con Aire como Medio Termostático", 2da edición, publicado por el SNM-INDECOPI, 2009.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
Av. Antonio Salas Berty N° 107 Urb. Condebamba, Abancay - Abancay - APURIMAC

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	23,5 °C	23,4 °C
Humedad Relativa	40 %	40 %



El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de 120 minutos.
El controlador se seleeo en 110 ° C

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
TERMOMETROS DE INDICACIÓN DIGITAL EPI-2022-132-1 / LT-188-2022	TERMOMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 12 CANALES	E688-1062B-2023-2

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

ventasservimetrol@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 69 — Certificado de calibración de horno (parte 1)



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 040 - 2024

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 3 de 6

11. Resultados de Medición

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T _{prom} (°C)	max-T _{min}
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110,0	107,3	111,3	112,3	109,1	109,7	109,4	108,9	109,2	108,1	109,6	109,5	4,9
02	110,0	107,3	111,2	112,3	109,0	109,6	109,0	108,7	109,1	108,4	109,7	109,4	4,9
04	110,0	107,7	111,4	112,7	109,3	109,8	109,2	109,0	109,4	108,4	109,5	109,6	4,9
06	110,0	107,4	111,1	112,1	109,0	109,5	108,9	108,6	109,1	108,3	109,6	109,4	4,6
08	110,0	107,4	111,2	112,3	109,1	109,6	109,3	108,8	109,2	108,2	109,5	109,5	4,8
10	110,0	107,3	111,2	112,2	109,1	109,6	109,2	108,8	109,1	108,2	109,3	109,4	4,8
12	110,0	107,2	111,2	112,2	109,2	109,7	109,2	108,9	109,2	108,4	109,7	109,5	4,9
14	110,0	107,6	111,3	112,3	109,1	109,6	109,3	108,9	109,2	108,3	109,6	109,5	4,6
16	110,0	107,3	111,1	112,2	109,1	109,6	109,3	108,8	109,1	108,4	109,8	109,5	4,8
18	110,0	107,2	111,1	112,2	109,0	109,6	109,4	108,9	109,2	108,4	109,6	109,5	4,9
20	110,0	107,4	111,2	112,3	109,2	109,7	109,4	109,0	109,2	108,3	109,5	109,5	4,8
22	110,0	107,4	111,2	112,3	109,3	109,7	108,8	109,0	109,3	108,3	109,4	109,5	4,8
24	110,0	107,5	111,3	112,4	109,2	109,6	109,1	109,0	109,3	108,4	109,7	109,5	4,8
26	110,0	107,4	111,3	112,4	109,2	109,8	109,4	109,1	109,2	108,4	109,6	109,6	4,9
28	110,0	107,5	111,2	112,3	109,2	109,7	109,1	108,9	109,3	108,4	109,7	109,5	4,7
30	110,0	107,5	111,1	112,4	109,1	109,8	109,2	108,9	109,3	108,2	109,6	109,5	4,8
32	110,0	107,6	111,2	112,5	109,2	109,8	109,3	109,2	109,3	108,3	109,5	109,6	4,9
34	110,0	107,5	111,2	112,4	109,2	109,8	109,2	108,9	109,2	108,3	109,5	109,5	4,8
36	110,0	107,6	111,4	112,5	109,4	109,7	109,4	109,3	109,4	108,3	109,6	109,7	4,8
38	110,0	107,5	111,2	112,3	109,1	109,6	109,4	108,9	109,2	108,4	109,5	109,5	4,7
40	110,0	107,6	111,2	112,4	109,2	109,7	109,3	109,2	109,3	108,5	109,6	109,6	4,7
42	110,0	107,6	111,2	112,5	109,3	109,7	109,5	108,9	109,4	108,5	109,6	109,6	4,8
44	110,0	107,7	111,3	112,5	109,2	109,7	109,3	109,3	109,4	108,4	109,6	109,6	4,7
46	110,0	107,5	111,3	112,3	109,1	109,8	109,3	108,9	109,3	108,4	109,6	109,5	4,7
48	110,0	107,5	111,1	112,5	109,3	109,6	109,3	109,0	109,3	108,3	109,3	109,5	4,9
50	110,0	107,6	111,2	112,4	109,2	109,6	109,2	109,2	109,3	108,3	109,8	109,6	4,7
52	110,0	107,8	111,3	112,4	109,3	109,6	109,2	109,0	109,3	108,2	109,6	109,6	4,5
54	110,0	107,5	111,4	112,4	109,3	109,8	109,6	109,1	109,2	108,4	109,5	109,6	4,8
56	110,0	107,6	111,3	112,6	109,3	109,9	109,3	108,9	109,1	108,4	109,7	109,6	4,9
58	110,0	107,4	111,2	112,6	109,2	109,8	109,2	109,2	109,2	108,3	109,6	109,6	5,1
60	110,0	107,4	111,2	112,4	109,1	109,7	109,4	109,0	109,3	108,3	109,5	109,5	4,9
T.PROM	110,0	107,5	111,2	112,3	109,1	109,7	109,3	108,9	109,2	108,3	109,6	109,5	
T.MAX	110,0	107,8	111,4	112,7	109,4	109,9	109,6	109,3	109,4	108,5	109,8	109,8	
T.MIN	110,0	107,2	111,1	112,1	109,0	109,5	108,8	108,6	109,1	108,1	109,3	109,3	
DTT	0,1	0,6	0,3	0,6	0,4	0,4	0,8	0,7	0,3	0,4	0,5	0,5	



ventasservimetrol@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



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 040 - 2024

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 4 de 6

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	112,7	0,5
Mínima Temperatura Medida	107,2	0,5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,8	0,6
Desviación de Temperatura en el Espacio	4,8	0,6
Estabilidad Medida (±)	0,4	0,04
Uniformidad Medida	5,1	0,6

T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.
T.MAX : Temperatura máxima.
T.MIN : Temperatura mínima.
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0,01 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a ± 1/2 DTT.



ventasservimetrol@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 70 — Certificado de calibración de horno (parte 2)



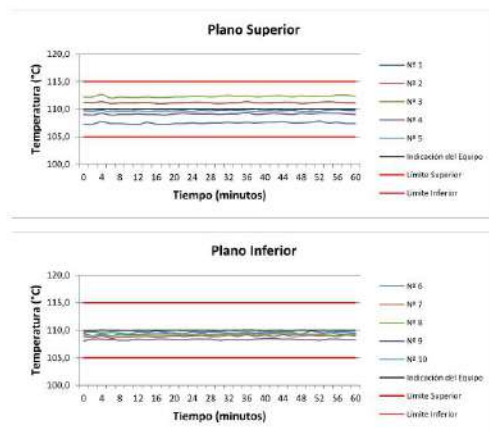
SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 040 - 2024

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 5 de 6

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 5 °C



ventasservimetrol@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



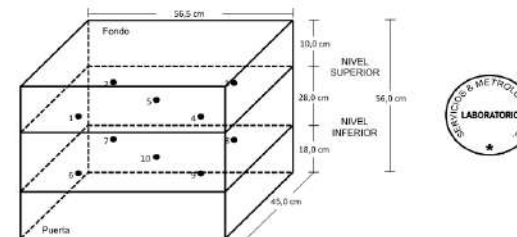
SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 040 - 2024

Área de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 5 de 6

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 6 cm de las paredes laterales y a 6 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento

ventasservimetrol@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 71 — Certificado de calibración de horno (parte 3)

Anexo G FOTOGRAFÍAS



Figura 73 — Extracción de muestras de los puntos de muestreo para el estudio



Figura 74 — Realización de los ensayos de CBR para muestras de suelo natural como también para muestra con Estabilizador Z con polímeros acrílicos



Figura 75 — CBR de muestra natural preparados para la sumersión bajo el agua durante 96 horas



Figura 76 — Muestras de CBR llevas al horno antes de llevar al curado



Figura 77 — Medición de expansión deformímetro de las muestras de CBR sumergidos dentro de agua de la calicata 1



Figura 78 — Medición de expansión deformímetro de las muestras de CBR sumergidos dentro de agua de la calicata 4



Figura 79 — El pesado de los CBR retirados después de estar sumergidos bajo el agua



Figura 80 — Se realizó la rotura del CBR que permite identificar su resistencia máxima



Figura 81 — Finalizada la rotura de CBR se procede al pesaje de las muestras para determinar el contenido de humedad de la calicata 3



Figura 82 — Finalizada la rotura de CBR se procede al pesaje de las muestras para determinar el contenido de humedad de la calicata 4



Figura 83 — Muestras preparadas por calicata para los ensayos de compresión no confinada de suelos cohesivos



Figura 84 — Briquetas de suelo compactadas para el ensayo de compresión no confinada



Figura 85 — Briquetas de suelo compactadas del ensayo de compresión no confinada



Figura 86 — Se ejecutó la rotura de las briquetas para obtener la resistencia a compresión no confinada.

Anexo G

OTROS

MEMORIA DESCRIPTIVA

CARRETERA VECINAL AP-605

SAN LUIS - VÍA DE EVITAMIENTO ABANCAY - PROVINCIA DE ABANCAY - DEPARTAMENTO DE APURÍMAC

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto: Carretera Vecinal AP-605

Código de Ruta: AP-605

Clasificación: Carretera Vecinal - Red Vial Vecinal

Ubicación Política:

- Departamento: Apurímac
- Provincia: Abancay
- Distrito: Abancay

Inicio de Ruta: San Luis

Fin de Ruta: Emp. PE-3S (Vía de Evitamiento - Abancay)



Ubicación Geográfica: La carretera AP605 se sitúa en coordenadas aproximadas Latitud 13°38'S, Longitud 72°52'W, con altitudes variables entre 2,300 y 3,500 m.s.n.m.

Figura 87 — Antecedentes de la carretera AP 605, (parte 1)

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA VÍA

- **Tipo de Vía:** Trocha Carrozable
- **Superficie de rodadura:** Suelo natural arcilloso
- **Longitud Total:** 1.870 km (1 + 870 km)
- **Ancho de Calzada:** 4.00 metros (promedio)
- **Año de Apertura:** Década de 1990
- **Superficie de Rodadura:** Afirmado
- **Clasificación:** Camino Vecinal

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La carretera vecinal AP-605 constituye una importante vía de articulación rural en la provincia de Abancay. Con una longitud de 1.870 kilómetros, esta ruta conecta la localidad de San Luis con la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay (Carretera PE-3S), facilitando el acceso de las comunidades rurales a los servicios básicos, centros de salud, instituciones educativas y mercados de la capital provincial.

La vía fue aperturada durante la década de 1990 como respuesta a la necesidad de integración de los centros poblados rurales con la ciudad de Abancay. Desde su construcción, ha servido como eje de desarrollo económico y social para las familias campesinas del sector, permitiendo el transporte de productos agrícolas y el desplazamiento de la población hacia los centros urbanos.

Actualmente, la carretera presenta una trocha carrozable con ancho de calzada de 4.00 metros, sin pavimento ni afirmado permanente, lo que dificulta la transitabilidad especialmente durante la temporada de lluvias. La superficie de rodadura es de material natural compactado, requiriendo trabajos continuos de mantenimiento para garantizar su operatividad durante todo el año.

4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La carretera se encuentra ubicada íntegramente dentro de la jurisdicción del distrito de Abancay, en la provincia del mismo nombre. Abancay, como capital departamental, se ubica en la región andina del Perú, a una altitud promedio de 2,378 metros sobre el nivel del mar.

Figura 88 — Antecedentes de la carretera AP 605, (parte 2)

El trazo de la vía se desarrolla desde el sector denominado San Luis hasta su empalme con la vía de Evitamiento de Abancay, arteria de importancia regional que permite el desvío del tráfico pesado que atraviesa la ciudad.

5. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

El área de influencia de la carretera presenta las características típicas de la zona quechua andina, con topografía accidentada y presencia de quebradas.

6. ESTADO ACTUAL Y MANTENIMIENTO

Según información oficial de la Municipalidad Provincial de Abancay, la institución viene ejecutando un programa masivo de mantenimiento rutinario de caminos rurales a través del Instituto Vial Provincial (IVP Abancay), mediante convenio con Provías Descentralizado. La Municipalidad Provincial de Abancay, a través del Instituto de Vialidad Provincial (IVP Abancay), ha implementado programas de mantenimiento rutinario de caminos vecinales en la provincia. En el año 2025, se dio inicio a un ambicioso programa de mantenimiento que contempla más de 290 kilómetros de caminos rurales y vías provinciales, mediante Convenio N°034-2025-MTC/21 con Provías Descentralizado.

Las actividades de mantenimiento ejecutadas incluyen:

- Trabajos de cuneteo para mejorar el sistema de drenaje pluvial
- Perfilado de la plataforma de la carretera
- Compactación de la superficie de rodadura
- Limpieza y eliminación de derrumbes menores
- Remoción de material suelto de los taludes

Estas intervenciones buscan garantizar la transitabilidad permanente de las vías vecinales durante todo el año, incluso durante la temporada de lluvias, beneficiando a miles de familias en los diferentes distritos de la provincia de Abancay.

Figura 89 — Antecedentes de la carretera AP 605, (parte 3)

