

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023

Presentado por:

Lisbeth Ttito Diaz

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

Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023

Presentado por **Lisbeth Ttito Diaz**, para optar el título de Ingeniero Civil

Sustentado y aprobado el 21 de julio de 2025 ante el jurado evaluador:

Presidente:


Ph. D. Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orellana

Primer miembro:


Ing. Milson Morán Moreno

Segundo miembro:


Ing. Fanny Silva Noriega

Asesor:


Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 154-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023**, presentado por la Bachr: **Lisbeth Ttito Diaz**, 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 **(16%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 11 de julio del 2025

Atentamente,


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

C. c.
Archivo
REG. N° 499

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por el regalo de la vida y por inspirar mi espíritu para llevar a cabo este trabajo de tesis de pregrado.

Así mismo quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac por recibirme en sus acogedoras aulas y brindarme la oportunidad de convertirme en una gran profesional al servicio de nuestro país.

A todas las personas que, de alguna manera, han aportado a la realización de esta tesis, su apoyo y colaboración han sido fundamentales.



Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado con sincero aprecio a mis padres, especialmente a mi querida madre Fortunata, a mis hermanas y a todos mis hermanos, quienes han sido un pilar de paciencia, apoyo, amor incondicional y motivación a lo largo de mi vida académica y en cada etapa de mi desarrollo profesional.

De manera especial, dedico este trabajo con un profundo cariño a C.C.P., a quien agradezco sinceramente por su constante apoyo y por ser mi fortaleza en los momentos más desafiantes.



Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción

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	7
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos	8
1.3. 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	11
2.3. Operacionalización de variables	11
CAPÍTULO III	13
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	13
3.1. Antecedentes	13
3.1.1. Antecedentes internacionales	13
3.1.2. Antecedentes nacionales	14
3.1.3. Antecedentes locales	16
3.2. Marco teórico	17
3.2.1. Estabilización de suelos	17
3.2.2. Estabilización mecánica de suelos	18
3.2.3. Suelos estabilizados con cemento	19
3.2.4. Suelos estabilizados con cal	19
3.2.5. Suelos estabilizados con relaves de flotación de cobre	20
3.2.6. Ensayos de laboratorio según normativa	20
3.2.7. Relaves de flotación de cobre	24
	1



3.3. Marco conceptual	26
CAPÍTULO IV	29
METODOLOGÍA	29
4.1. Tipo y nivel de investigación	29
4.2. Diseño de la investigación	31
4.3. Descripción ética de la investigación	31
4.4. Población y muestra	32
4.5. Procedimiento	39
4.6. Técnica e instrumentos	50
4.7. Análisis estadístico	51
CAPÍTULO V	52
RESULTADOS Y DISCUSIONES	52
5.1 Análisis de resultados	52
5.2 Contrastación de hipótesis	95
5.3 Discusión	114
CAPÍTULO VI	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
6.1 Conclusiones	119
6.2 Recomendaciones	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Cuadro de operacionalización de variables	12
Tabla 2 — Cuadro de ubicación geográfica de las calicatas	34
Tabla 3 — Cuadro simplificado de los tipos de suelo de calicatas en estudio	35
Tabla 4 — Diseño experimental	36
Tabla 5 — Grupo de control del diseño de mezcla sin relaves de flotación de cobre	37
Tabla 6 — Grupo de control del diseño de mezcla con relaves de flotación de cobre	37
Tabla 7 — Ensayos de laboratorio según normativa del MTC	40
Tabla 8 — Clasificación de suelos según AASHTO	46
Tabla 9 — Clasificación de suelos según SUCS	47
Tabla 10 — Resultados de % de finos, % de arenas y % gravas de SN	52
Tabla 11 — Resultados % de finos, % de arenas y % gravas de RFC	54
Tabla 12 — Resultados del contenido de humedad del suelo natural	55
Tabla 13 — Resultados del contenido de humedad de RFC	56
Tabla 14 — Resultados de LL, LP y IP del suelo natural	57
Tabla 15 — Resultados de la clasificación de suelos AASHTO y SUCS	59
Tabla 16 — Resultados de la clasificación del tipo de suelo de los relaves de flotación de cobre	60
Tabla 17 — Resultados del ensayo de compactación del suelo natural	61
Tabla 18 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-01	63
Tabla 19 — Expansión (%) de la C-01	64
Tabla 20 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-02	66
Tabla 21 — Expansión (%) de la C-02	67
Tabla 22 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-03	69
Tabla 23 — Expansión (%) de la C-03	71
Tabla 24 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-04	72
Tabla 25 — Expansión (%) de la C-04	74
Tabla 26 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-05	76
Tabla 27 — Expansión (%) de la C-05	78
Tabla 28 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-06	79
Tabla 29 — Expansión (%) de la C-06	81
Tabla 30 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-07	83
Tabla 31 — Expansión (%) de la C-07	84
Tabla 32 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-08	86



Tabla 33 — Expansión (%) de la C-08	87
Tabla 34 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-09	89
Tabla 36 — Cuadro costo – beneficio de relaves de flotación de cobre como estabilizante	93
Tabla 37 — Cuadro de valores de CBR al 95 % de suelo cohesivo S1, suelo no cohesivo S2 y suelo mixto S3 con relaves de flotación de cobre	96
Tabla 38 — Cuadro de valores de CBR al 95 % de suelo natural S1, suelo natural S2 y suelo natural S3 sin relaves de flotación de cobre	96
Tabla 39 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E1 VS suelo no cohesivo S2 con E1)	97
Tabla 40 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E1 VS suelo mixto S3 con E1)	99
Tabla 41 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo no cohesivo S2 con E1 VS suelo mixto S3 con E1)	100
Tabla 42 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E1 vs suelo natural S1)	102
Tabla 43 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E2 vs suelo natural S1)	103
Tabla 44 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E3 vs suelo natural S1)	104
Tabla 45 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo no cohesivo S2 con E1 vs suelo natural S2)	106
Tabla 46 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (Suelo no cohesivo S2 con E2 vs suelo natural S2)	107
Tabla 47 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo no cohesivo S2 con E3 vs suelo natural S2)	109
Tabla 48 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo mixto S3 con E1 vs suelo natural S3)	110
Tabla 49 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo mixto S3 con E2 vs suelo natural S3)	111
Tabla 50 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo mixto S3 con E3 vs suelo natural S3)	112
Tabla 51 — Matriz de consistencia de estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023	129

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Tramo de la ruta AP-917	32
Figura 2 — Ubicación del tramo en estudio km 10+500 al km 18+000	33
Figura 3 — Ubicación de las calicatas del km 10+500 al km 18+000	34
Figura 4 — Flujo del proceso de la investigación	39
Figura 5 — Ensayo análisis granulométrico de suelos por tamizado	53
Figura 6 — Ensayo de granulometría por tamizado de RFC	55
Figura 7 — Proceso de secado de las muestras en el horno temperatura 110 °C	56
Figura 8 — Ensayo en laboratorio de los límites de Atterberg	58
Figura 9 — Ensayo de proctor modificado de las muestras de suelo	61
Figura 10 — Ensayo de C.B.R. de las muestras de suelo natural más la incorporación de relaves de flotación de cobre en un 5 %, 15 % y 25 %	62
Figura 11 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-01	64
Figura 12 — Expansión (%) de la C-01	66
Figura 13 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-02	67
Figura 14 — Expansión (%) de la C-02	69
Figura 15 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-03	70
Figura 16 — Expansión (%) de la C-03	72
Figura 17 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-04	74
Figura 18 — Expansión (%) de la C-04	75
Figura 19 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-05	77
Figura 20 — Expansión (%) de la C-05	79
Figura 21 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-06	81
Figura 22 — Expansión (%) de la C-06	82
Figura 23 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-07	84
Figura 24 — Expansión (%) de la C-07	85
Figura 25 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-08	87
Figura 26 — Expansión (%) de la C-08	89
Figura 27 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-09	90
Figura 28 — Expansión (%) de la C-09	92
Figura 29 — Ubicación de la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C.	131
Figura 30 — Relave de la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C.	131
Figura 31 — Extracción de las muestras de relaves de flotación de cobre	131
Figura 32 — Inicio y fin de la extracción de muestras en campo	132

Figura 33 — Extracción de la muestra calicata 01 y calicata 02	132
Figura 34 — Extracción de la muestra calicata 03 y calicata 04	132
Figura 35 — Extracción de la muestra calicata 05 y calicata 06	133
Figura 36 — Extracción de la muestra calicata 07 y calicata 08	133
Figura 37 — Extracción de la muestra calicata 09	133
Figura 38 — Ensayo análisis granulométrico por tamizado de C 01, C 02 y C 03	134
Figura 39 — Ensayo análisis granulométrico por tamizado de C 04, C 05 y C 06	134
Figura 40 — Ensayo análisis granulométrico por tamizado de C 07, C 08 y C 09	134
Figura 41 — Ensayo de la compactación de suelos, proctor modificado	135
Figura 42 — Incorporando relaves de flotación de cobre en el suelo	135
Figura 43 — Ejecución del ensayo de CBR en laboratorio	136
Figura 44 — Lectura de la expansión de los moldes elaborados en el ensayo de C.B.R. con adición de 5 %, 15 % y 25 % de relaves de flotación de cobre	136
Figura 45 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de RFC	137
Figura 46 — Contenido de humedad de RFC	138
Figura 47 — Informe de resultados de los ensayos de laboratorio – carátula	139
Figura 48 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-01	140
Figura 49 — Contenido de humedad de la C-01	141
Figura 50 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-01	142
Figura 51 — Ensayo de CBR de la C-01 – Expansión	143
Figura 52 — Ensayo de CBR de la C-01 – CBR al 95 %	144
Figura 53 — Ensayo de CBR de la C-01 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	145
Figura 54 — Ensayo de CBR de la C-01 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	146
Figura 55 — Ensayo de CBR de la C-01 85 % SN +15 % RFC – Expansión	147
Figura 56 — Ensayo de CBR de la C-01 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	148
Figura 57 — Ensayo de CBR de la C-01 75 % SN +25 % RFC – Expansión	149
Figura 58 — Ensayo de CBR de la C-01 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	150
Figura 59 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-02	151
Figura 60 — Contenido de humedad de la C-02	152
Figura 61 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-02	153
Figura 62 — Ensayo de CBR de la C-02 – Expansión	154
Figura 63 — Ensayo de CBR de la C-02 – CBR al 95 %	155
Figura 64 — Ensayo de CBR de la C-02 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	156
Figura 65 — Ensayo de CBR de la C-02 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	157
Figura 66 — Ensayo de CBR de la C-02 85 % SN +15 % RFC – Expansión	158
Figura 67 — Ensayo de CBR de la C-02 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	159
Figura 68 — Ensayo de CBR de la C-02 75 % SN +25 % RFC – Expansión	160
Figura 69 — Ensayo de CBR de la C-02 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	161

Figura 70 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-03	162
Figura 71 — Contenido de humedad de la C-03	163
Figura 72 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-03	164
Figura 73 — Ensayo de CBR de la C-03 – Expansión	165
Figura 74 — Ensayo de CBR de la C-03 – CBR al 95 %	166
Figura 75 — Ensayo de CBR de la C-03 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	167
Figura 76 — Ensayo de CBR de la C-03 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	168
Figura 77 — Ensayo de CBR de la C-03 85 % SN +15 % RFC – Expansión	169
Figura 78 — Ensayo de CBR de la C-03 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	170
Figura 79 — Ensayo de CBR de la C-03 75 % SN +25 % RFC – Expansión	171
Figura 80 — Ensayo de CBR de la C-03 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	172
Figura 81 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-04	173
Figura 82 — Contenido de humedad de la C-04	174
Figura 83 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-04	175
Figura 84 — Ensayo de CBR de la C-04 – Expansión	176
Figura 85 — Ensayo de CBR de la C-04 – CBR al 95 %	177
Figura 86 — Ensayo de CBR de la C-04 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	178
Figura 87 — Ensayo de CBR de la C-04 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	179
Figura 88 — Ensayo de CBR de la C-04 85 % SN +15 % RFC – Expansión	180
Figura 89 — Ensayo de CBR de la C-04 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	181
Figura 90 — Ensayo de CBR de la C-04 75 % SN +25 % RFC – Expansión	182
Figura 91 — Ensayo de CBR de la C-04 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	183
Figura 92 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-05	184
Figura 93 — Contenido de humedad de la C-05	185
Figura 94 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-05	186
Figura 95 — Ensayo de CBR de la C-05 – Expansión	187
Figura 96 — Ensayo de CBR de la C-05 – CBR al 95 %	188
Figura 97 — Ensayo de CBR de la C-05 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	189
Figura 98 — Ensayo de CBR de la C-05 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	190
Figura 99 — Ensayo de CBR de la C-05 85 % SN +15 % RFC – Expansión	191
Figura 100 — Ensayo de CBR de la C-05 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	192
Figura 101 — Ensayo de CBR de la C-05 75 % SN +25 % RFC – Expansión	193
Figura 102 — Ensayo de CBR de la C-05 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	194
Figura 103 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-06	195
Figura 104 — Contenido de humedad de la C-06	196
Figura 105 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-06	197
Figura 106 — Ensayo de CBR de la C-06 – Expansión	198
Figura 107 — Ensayo de CBR de la C-06 – CBR al 95 %	199

Figura 108 —Ensayo de CBR de la C-06 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	200
Figura 109 —Ensayo de CBR de la C-06 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	201
Figura 110 —Ensayo de CBR de la C-06 85 % SN +15 % RFC – Expansión	202
Figura 111 —Ensayo de CBR de la C-06 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	203
Figura 112 —Ensayo de CBR de la C-06 75 % SN +25 % RFC – Expansión	204
Figura 113 —Ensayo de CBR de la C-06 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	205
Figura 114 —Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-07	206
Figura 115 —Contenido de humedad de la C-07	207
Figura 116 —Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-07	208
Figura 117 —Ensayo de CBR de la C-07 – Expansión	209
Figura 118 —Ensayo de CBR de la C-07 – CBR al 95 %	210
Figura 119 —Ensayo de CBR de la C-07 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	211
Figura 120 —Ensayo de CBR de la C-07 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	212
Figura 121 —Ensayo de CBR de la C-07 85 % SN +15 % RFC – Expansión	213
Figura 122 —Ensayo de CBR de la C-07 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	214
Figura 123 —Ensayo de CBR de la C-07 75 % SN +25 % RFC – Expansión	215
Figura 124 —Ensayo de CBR de la C-07 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	216
Figura 125 —Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-08	217
Figura 126 —Contenido de humedad de la C-08	218
Figura 127 —Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-08	219
Figura 128 —Ensayo de CBR de la C-08 – Expansión	220
Figura 129 —Ensayo de CBR de la C-08 – CBR al 95 %	221
Figura 130 —Ensayo de CBR de la C-08 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	222
Figura 131 —Ensayo de CBR de la C-08 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	223
Figura 132 —Ensayo de CBR de la C-08 85 % SN +15 % RFC – Expansión	224
Figura 133 —Ensayo de CBR de la C-08 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	225
Figura 134 —Ensayo de CBR de la C-08 75 % SN +25 % RFC – Expansión	226
Figura 135 —Ensayo de CBR de la C-08 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	227
Figura 136 —Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-09	228
Figura 137 —Contenido de humedad de la C-09	229
Figura 138 —Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-09	230
Figura 139 —Ensayo de CBR de la C-09 – Expansión	231
Figura 140 —Ensayo de CBR de la C-09 – CBR al 95 %	232
Figura 141 —Ensayo de CBR de la C-09 95 % SN + 5 % RFC – Expansión	233
Figura 142 —Ensayo de CBR de la C-09 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %	234
Figura 143 —Ensayo de CBR de la C-09 85 % SN +15 % RFC – Expansión	235
Figura 144 —Ensayo de CBR de la C-09 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %	236
Figura 145 —Ensayo de CBR de la C-09 75 % SN +25 % RFC – Expansión	237



Figura 146 —Ensayo de CBR de la C-09 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %	238
Figura 147 —Certificado de calibración del horno de laboratorio - datos del horno de laboratorio	239
Figura 148 —Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración del horno de laboratorio	240
Figura 149 —Resultados de la medición de temperatura del horno de laboratorio	241
Figura 150 —Parámetros de temperatura del horno de laboratorio	242
Figura 151 —Distribución de temperatura del horno de laboratorio	243
Figura 152 —Distribución de los termopares y la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del horno de laboratorio	244
Figura 153 —Certificado de calibración de la prensa CBR - datos de la prensa CBR	245
Figura 154 —Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración de la prensa CBR	246
Figura 155 —Resultados de medición e incertidumbre reportada en el certificado de calibración de la prensa CBR	247
Figura 156 —Certificado de calibración de la balanza electrónica de capacidad 500 gramos - datos de la balanza electrónica 500 gramos	248
Figura 157 —Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración de la balanza electrónica 500 gramos	249
Figura 158 —Resultados de medición de inspección visual, ensayo de repetibilidad, ensayo de excentricidad de la balanza electrónica 500 gramos	250
Figura 159 —Resultados de medición de ensayo de pesaje y la incertidumbre reportada en el certificado de calibración de la balanza electrónica 500 gramos	251
Figura 160 —Certificado de calibración de la balanza electrónica de capacidad 30 000 gramos - datos de la balanza electrónica 30 000 gramos	252
Figura 161 —Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración de la balanza electrónica 30 000 gramos	253
Figura 162 —Resultados de medición de la inspección visual, ensayo de repetibilidad, ensayo de excentricidad de la balanza electrónica 30 000 gramos	254
Figura 163 —Resultados de medición del ensayo de pesaje y la incertidumbre reportada en el certificado de calibración de la balanza electrónica 30 000 gramos	255
Figura 164 —Declaratoria de originalidad del autor	256

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en la estabilización de suelos mediante la incorporación de relaves de flotación de cobre, con el objetivo de mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917, en el tramo comprendido entre los kilómetros 10+500 y 18+000, en la provincia de Cotabambas, Apurímac. Este estudio responde a la problemática recurrente del rápido deterioro de las vías rurales, que afecta la conectividad, la seguridad y el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales. Además, propone un enfoque sostenible al reutilizar residuos industriales como parte de una estrategia de ingeniería innovadora.

El trabajo de investigación está estructurado en seis capítulos principales. En el Capítulo I, se define el problema de investigación, se detalla su contexto y relevancia, y se justifica la necesidad de abordar esta problemática mediante la propuesta planteada. Este capítulo incluye también la formulación del problema general y específicos que guían el desarrollo del estudio.

En el Capítulo II, se establecen los objetivos generales y específicos que orientan el enfoque del estudio, así como las hipótesis correspondientes que se contrastarán mediante los resultados obtenidos. Asimismo, se presenta la operacionalización de las variables, definiendo los indicadores clave para evaluar la efectividad de la técnica propuesta.

El Capítulo III desarrolla el marco teórico y referencial del estudio. Aquí se abordan antecedentes internacionales, nacionales y locales que sustentan la viabilidad de la estabilización de suelos con relaves de flotación de cobre. También se incluyen conceptos fundamentales y modelos teóricos que respaldan la metodología empleada.

En el Capítulo IV, se describe la metodología utilizada en la investigación, especificando el diseño, tipo y nivel del estudio, así como las técnicas e instrumentos aplicados para la recolección y análisis de datos. Se detalla además el procedimiento experimental llevado a cabo en laboratorio para evaluar las propiedades de los suelos tratados con diferentes proporciones de relaves de flotación de cobre.

El Capítulo V presenta los resultados obtenidos y su discusión. Se analizan las mejoras en la capacidad de soporte (CBR) de los diferentes tipos de suelo (cohesivo, no cohesivo y mixto), los efectos de las proporciones de relaves incorporadas y los beneficios técnicos y económicos



de la propuesta. Los resultados son comparados con estudios previos para validar su relevancia y consistencia.

Por último, en el Capítulo VI, se exponen las conclusiones derivadas del estudio y las recomendaciones dirigidas a instituciones locales, universidades y futuros investigadores interesados en la temática. Este capítulo incluye propuestas para la aplicación práctica de los resultados, así como sugerencias para investigaciones futuras.

El documento concluyó que, los resultados evidenciaron que la influencia de los relaves de flotación de cobre (RFC) en la estabilización de suelos fue significativa, pero no uniformemente positiva para todos los tipos de suelos. Específicamente, se constató una mejora substancial en la resistencia y durabilidad para los suelos no cohesivos y mixtos, mientras que para los suelos cohesivos se observó una disminución en la capacidad de soporte (CBR).



RESUMEN

La investigación titulada “Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023” tuvo como problemática inicial el rápido deterioro de las vías rurales debido a la limitada capacidad de soporte de los suelos y la falta de materiales estabilizantes sostenibles y económicos. El objetivo principal fue determinar la influencia de los relaves de flotación de cobre en la capacidad de soporte (CBR) y su efecto en la resistencia y la durabilidad del afirmado en la ruta estudiada. Metodológicamente, el trabajo fue de tipo aplicado, de nivel correlacional – explicativo, con un diseño experimental completamente no aleatorizado y un enfoque cuantitativo. Las pruebas incluyeron la evaluación del CBR al 95 % en tres tipos de suelos (cohesivo, no cohesivo y mixto) tratados con diferentes proporciones de relaves de flotación de cobre (5 %, 15 % y 25 %). Los resultados principales mostraron que el suelo mixto (S3) presentó el mayor incremento en el CBR, alcanzando un 60.64 % con el 25 % de relaves, mientras que el suelo no cohesivo (S2) mostró mejoras significativas con una media de 25.60 % al 5 % de relaves. En contraste, el suelo cohesivo (S1) registró una disminución del CBR a medida que aumentaba la proporción de relaves, reduciéndose a 3.43 % al 25 %. Además, el análisis de costo-beneficio demostró que el uso de relaves de flotación de cobre es económicamente viable, reduciendo costos en comparación con estabilizantes tradicionales y aprovechando residuos industriales. Se concluyó que la incorporación de relaves de flotación de cobre es una alternativa técnica, económica y ambientalmente sostenible para la estabilización de suelos en proyectos viales, particularmente en suelos mixtos, optimizando su capacidad de soporte y contribuyendo al desarrollo de vías rurales más duraderas.

Palabras clave: *Estabilización de suelos, relaves de flotación de cobre, capacidad de soporte del suelo, afirmado.*



ABSTRACT

The research project entitled "Soil stabilization incorporating copper flotation tailings to improve the strength and durability of the AP-917 road surface (km 10+500 – km 18+000), Cotabambas province, Apurímac - 2023" initially addressed the rapid deterioration of rural roads due to the limited bearing capacity of the soils and the lack of sustainable and economical stabilizing materials. The main objective was to determine the influence of copper flotation tailings on bearing capacity (CBR) and their effect on the strength and durability of the pavement on the route studied. Methodologically, the work was applied, correlational-explanatory in nature, with a completely non-randomized experimental design and a quantitative approach. The tests included the evaluation of the 95 % CBR in three types of soils (cohesive, non-cohesive, and mixed) treated with different proportions of copper flotation tailings (5 %, 15 %, and 25 %). The main results showed that mixed soil (S3) had the highest increase in CBR, reaching 60.64 % with 25 % tailings, while non-cohesive soil (S2) showed significant improvements with an average of 25.60 % at 5 % tailings. In contrast, cohesive soil (S1) recorded a decrease in CBR as the proportion of tailings increased, falling to 3.43 % at 25 %. In addition, the cost-benefit analysis showed that the use of copper flotation tailings is economically viable, reducing costs compared to traditional stabilizers and taking advantage of industrial waste. It was concluded that the incorporation of copper flotation tailings is a technically, economically, and environmentally sustainable alternative for soil stabilization in road projects, particularly in mixed soils, optimizing their bearing capacity and contributing to the development of more durable rural roads.

Keywords: *Soil stabilization, copper flotation tailings, soil bearing capacity, subgrade.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La estabilización de suelos con relaves de flotación de cobre representa una innovadora estrategia de ingeniería civil que busca mejorar las propiedades mecánicas de los suelos para diversas aplicaciones en construcción y pavimentación. Utilizando relaves de flotación de cobre, un subproducto de la industria metalúrgica generalmente considerado como desecho, se puede aumentar la densidad y estabilidad de los suelos, al mismo tiempo que se contribuye a la gestión sostenible de residuos.

A nivel internacional, en Chile, se evaluó la viabilidad de utilizar los relaves de flotación de cobre, proveniente de un vertedero abandonado, como sustituto parcial del árido grueso en mezclas asfálticas, donde destacó que los relaves de flotación de cobre, normalmente vista como un pasivo ambiental, puede tener una aplicación beneficiosa en la fabricación de pavimentos asfálticos, contribuyendo así a la mejora de las condiciones ambientales y a la reducción de la demanda de áridos naturales en regiones áridas como la Región de Atacama en Chile. (Nazer, et al., 2021)

En el Perú, Llacza (2020), realizó un estudio acerca de la estabilización de suelos limo-inorgánicos para la cimentación de edificaciones en el distrito de San Martín de Porres mediante la incorporación de relave minero como aditivo estabilizante, Lima - Perú. Tuvo como objetivo principal determinar el impacto del relave minero en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos limo-inorgánicos, con el fin de mejorar su comportamiento para la cimentación de edificaciones. La investigación utilizó una metodología experimental que incluyó pruebas de laboratorio y ensayos técnicos, con muestras de suelo obtenidas de una calicata en la zona de estudio y muestras de relave extraídas de la unidad minera Carhuacayan, ubicada en el Collpa, Junín – Perú. Los resultados demostraron que la adición de relave minero incrementó las propiedades físicas de los suelos, como la densidad y la capacidad de soporte, mejorando la estabilidad de los mismos. En conclusión, el estudio demuestra que el relave minero tuvo un efecto positivo en la mejora de las propiedades físicas de los suelos limo-inorgánicos,



contribuyendo a la estabilidad y resistencia de los mismos para aplicaciones en cimentación de edificaciones. Este enfoque no solo proporcionó una solución efectiva para los problemas de estabilidad del suelo, sino que también promovió la reutilización de desechos industriales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

En el contexto de la provincia de Cotabambas, Apurímac, la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000) presenta desafíos significativos en términos de infraestructura vial, los cuales afectan directamente la calidad de vida y el acceso a oportunidades de las comunidades locales. Estos problemas se destacan especialmente en regiones alejadas y vulnerables donde las vías de comunicación son cruciales para el desarrollo socioeconómico y la integración regional.

Por lo que, se identificó que la principal problemática radicaba en la inestabilidad y deterioro rápido del afirmado de la ruta debido a la naturaleza limosa y poco compacta del suelo, lo cual comprometía la durabilidad de la carretera, elevaba los costos y la frecuencia del mantenimiento necesario. Esta situación resultaba en accesibilidad limitada durante periodos de lluvia, aumentando el aislamiento de las comunidades y dificultando el transporte de bienes y servicios esenciales como alimentos, atención médica y educación.

Ante dicha situación observada, si no se toman medidas para mejorar la estabilidad y durabilidad de la ruta AP-917 en la provincia de Cotabambas, las consecuencias fueron cada vez más perjudiciales para las comunidades locales. Esto afectará negativamente la educación y la salud, disminuyendo la regularidad con la que estudiantes y pacientes acceden a escuelas y centros médicos, y empeorando la vulnerabilidad de estas poblaciones. Además, la eficiencia del transporte de bienes se verá comprometida, afectando la economía local y aumentando los riesgos de accidentes en una carretera cada vez más deteriorada, elevando la carga económica y de seguridad sobre las comunidades y los servicios de emergencia.

Ante este escenario, se planteó la necesidad de explorar soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar la infraestructura vial. La incorporación de relaves de flotación de cobre en la construcción de carreteras se presenta como una solución innovadora y sostenible, propuesta a través de este estudio, para abordar tales problemáticas. Esta técnica no solo aumentaría la durabilidad y resistencia de las carreteras frente a las exigencias del clima y el uso intensivo, sino que también permitiría reutilizar un

subproducto industrial actualmente considerado residuo, contribuyendo así a la reducción de pasivos ambientales y la promoción de una gestión de recursos más eficiente.

Este estudio, se centra en el tramo del km 10+500 al km 18+000 de la ruta AP-917, gestionada por la Municipalidad Provincial de Cotabambas – Tambobamba a través del Instituto Vial Provincial (IVP), donde se ha observado una disminución en la calidad de la infraestructura vial que resulta en insatisfacción entre los usuarios y frecuentes accidentes. Relaves de flotación de cobre, desecho de la producción de minerales en la región de Apurímac, utilizada en este contexto como parte de un enfoque proactivo para mejorar la calidad y transitabilidad de esta vía esencial, garantizando así un acceso más seguro y efectivo para las comunidades locales y apoyando el desarrollo socioeconómico de la región.

Para mejorar la resistencia y la durabilidad de la capa de rodadura y la conectividad entre los distritos de Coyllurqui y Challhuahuacho a lo largo del tramo km 10+500 al km 18+000 de la ruta AP-917, este estudio sugiere la utilización de relaves de flotación de cobre de la planta procesadora Minera Máximo Jesús Sociedad Anónima Cerrada. La propuesta tuvo como objetivo no solo optimizar la infraestructura vial local, sino también fomentar una gestión de residuos más sostenible, reutilizando subproductos de la industria minera que, de otro modo, contribuirían a la acumulación de pasivos ambientales en la región.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo influye la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023?



1.1.2 Problemas específicos

- ¿Qué tipo de suelo (cohesivo, no cohesivo o mixto) tuvo mayor incremento en el CBR al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023?
- ¿Cuál es el porcentaje más favorable y desfavorable del CBR al estabilizar suelos con relaves de flotación de cobre al 5 %, 15 % y 25 % en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023?
- ¿Cuál es el costo-beneficio de usar relaves de flotación de cobre frente a otros estabilizantes en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023?

1.3 Justificación de la investigación

a) Justificación técnica:

La incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos representó un enfoque técnico innovador, como una solución potencial no solo para mejorar la durabilidad y resistencia del afirmado, sino también para reducir la frecuencia de las intervenciones de mantenimiento, lo que implicó una reducción de costos y un impacto económico positivo para la comunidad y la administración local. Este método aprovechó las características físicas y químicas de la escoria, como su alta resistencia y estabilidad, para incrementar la capacidad de soporte y reducir deformaciones en el suelo. La investigación buscó validar técnicamente esta solución mediante pruebas específicas en condiciones geográficas y climáticas locales, contribuyendo a mejorar los estándares constructivos y ofreciendo un procedimiento técnico replicable en otras regiones con problemas similares.

b) Justificación social:

La mejora del afirmado de la ruta AP-917 tuvo un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades locales, al garantizar una vía más segura y transitable durante todo el año. Esta intervención facilitó el acceso a servicios esenciales como salud, educación y mercados, fomentando la integración social y el desarrollo de las zonas rurales. Además, al utilizar pasivos ambientales como relaves de flotación de cobre, se



promovió la conciencia social sobre la reutilización de recursos y la participación activa de las comunidades en proyectos sostenibles.

c) Justificación económica:

La incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos redujo significativamente los costos de mantenimiento y reparación de la ruta AP-917, generando un ahorro sustancial para las autoridades locales. Asimismo, esta técnica aprovechó un subproducto industrial abundante en la región minera, lo que disminuyó la necesidad de adquirir materiales tradicionales y su correspondiente transporte, optimizando los recursos financieros. Este enfoque también estimuló la economía local mediante la creación de empleos asociados al proceso de reciclaje y aplicación del material.

d) Justificación Ambiental:

El uso de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos tuvo un impacto ambiental positivo al promover la reutilización de residuos industriales que de otra manera representarían un riesgo ambiental. Esta práctica contribuyó a mitigar la acumulación de desechos en las operaciones mineras, reduciendo la contaminación del suelo y del agua. Asimismo, el reciclaje de relaves disminuyó la extracción de materiales vírgenes como áridos, reduciendo así la presión sobre los recursos naturales. Para concluir, esta investigación fomentó la adopción de prácticas constructivas sostenibles con un enfoque en la reducción de la huella de carbono, apoyando los objetivos de sostenibilidad ambiental en la región.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar cuál de los tipos de suelo (cohesivo, no cohesivo o mixto) presenta el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.
- Identificar los resultados más favorables y desfavorables en el porcentaje de capacidad de soporte (CBR) con la incorporación de relaves de flotación de cobre al 5 %, 15 % y 25 % en los tipos de suelo de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.
- Evaluar el costo-beneficio de la incorporación de relaves de flotación de cobre frente a otros estabilizantes en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos mejora significativamente la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.



2.2.2 Hipótesis específicas

- El tipo de suelo mixto presenta el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.
- El resultado más favorable del porcentaje de la capacidad de soporte (CBR) se obtendrá en el tipo de suelo mixto con la incorporación de un 25 % de relaves de flotación de cobre, mientras que para el tipo de suelo cohesivo con la utilización de un 25 % de relaves de flotación de cobre se tuvo resultados desfavorables e inferiores respecto al CBR para la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 - km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.
- La incorporación de relaves de flotación de cobre es menos costoso y más efectivo en comparación con otros materiales estabilizantes, considerando su disponibilidad, acceso de adquisición y las mejoras significativas en la capacidad de soporte (CBR) en la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.

2.3 Operacionalización de variables

A continuación, en la tabla 1 se presenta la operacionalización de las variables en estudio:

Tabla 1 — Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Subindicadores	Índice de estudio	Und	Método	Instrumento
V. Independiente Relaves de flotación de cobre	Porcentaje de incorporación de relaves de flotación de cobre en 5 %,15 % y 25 % en suelos cohesivos, no cohesivos y mixtos	Aplicación en muestras	$\frac{\text{masa de relave}}{\text{masa de suelo}} \times 100 \%$	Porcentaje de aplicación	%	Dosificación en masa	Balanza de laboratorio y recipientes.
V. Dependiente Estabilización de suelos	Capacidad de soporte de suelos cohesivos	• CBR • Expansión	$\frac{\text{carga del ensayo}}{\text{carga estandar}}$	%	%	Ensayo de California Bearing Ratio	Máquina de ensayo CBR, moldes, pistón de penetración, deformímetro y prensa de carga.
	Capacidad de soporte de suelos no cohesivos						
	Capacidad de soporte de suelos mixtos						

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) **Yilmaz y Fall (2017)**, en su artículo "Paste Tailings Management: Stabilization Techniques for Sustainable Engineering", evaluaron las propiedades geotécnicas y químicas de los relaves mineros para su uso en la estabilización de suelos, especialmente en infraestructura vial. Su metodología experimental incluyó ensayos de compresión uniaxial y resistencia al corte para determinar la viabilidad de estos residuos. El estudio, de enfoque cuantitativo, demostró un aumento del 45 % en el índice CBR para suelos limosos y del 35 % para suelos arcillosos, además de una reducción en la expansión y contracción de los suelos. Los autores concluyeron que el uso de relaves es una solución técnica y ambientalmente sostenible.
- b) **Li et al. (2021)**, en su artículo "Utilization of Copper Tailings in Soil Stabilization for Road Applications", exploraron el uso de relaves de cobre para estabilizar suelos limosos en carreteras rurales de China. Su metodología, con un enfoque cuantitativo y un diseño cuasi-experimental, incluyó ensayos de consolidación, resistencia al corte y pruebas proctor modificado para evaluar la capacidad de soporte y resistencia a la deformación del suelo. Los resultados mostraron que una mezcla con el 15 % de relaves de cobre aumentó el índice CBR en un 30 % y redujo la expansión del suelo en un 20 % en condiciones húmedas. El estudio concluyó que los relaves de cobre son una solución técnica y ambientalmente sostenible para mejorar la calidad de los suelos de baja cohesión en infraestructura vial.
- c) **Moyo et al. (2019)**, en su artículo "Stabilization of Tropical Soils Using Mine Tailings", se centraron en la estabilización de suelos arcillosos en regiones tropicales de Zambia, utilizando relaves de cobre y níquel. Mediante un



estudio cuantitativo y no experimental, se realizaron ensayos triaxiales, pruebas de resistencia al corte y análisis geoquímicos. Los resultados indicaron que las mezclas con relaves incrementaron la resistencia al corte en un 25 % y redujeron la expansión del suelo en un 15 %, lo que mejoró significativamente la estabilidad de las subrasantes. El estudio concluyó que los relaves mineros son técnica y económicamente viables, promoviendo la sostenibilidad ambiental.

- d) **Zhang et al. (2022)**, en su artículo "Advanced Techniques in Soil Stabilization with Industrial By-Products", evaluaron el potencial de los relaves de minería de carbón como material de mejora de suelos para proyectos de infraestructura vial en China. A través de un estudio experimental y cuantitativo, los ensayos de compactación, resistencia y análisis microestructural confirmaron la efectividad de los relaves. Los resultados mostraron un aumento del 40 % en la resistencia a la penetración y una reducción del 30 % en la expansión de los suelos arcillosos. En conclusión, el uso de relaves se presenta como una alternativa viable y sostenible para la estabilización de suelos.
- e) **Behera et al. (2020)**, en su artículo "Evaluation of Mine Tailings in Road Construction", evaluaron la viabilidad de utilizar relaves de hierro y cobre para estabilizar subrasantes y bases de carreteras. Mediante una metodología experimental de enfoque mixto que incluyó pruebas de carga, ensayos Proctor y análisis de permeabilidad, se demostró un aumento del 50 % en la resistencia a la compresión uniaxial. Adicionalmente, se logró una reducción de la permeabilidad y una mejora en la resistencia a la erosión. El uso de este subproducto industrial no solo validó su viabilidad técnica, sino que también redujo los costos de construcción en un 25 %. Por lo tanto, el estudio concluyó que los relaves mineros representan una solución económica y ecológica para proyectos de infraestructura vial en regiones semiáridas.

3.1.2 Antecedentes nacionales

- a) **Fernández et al. (2005)**, en su tesis "Estabilización de suelos arcillosos en Huánuco con relave", tuvieron un estudio experimental y cuantitativo y



evaluaron el uso de relaves mineros para mejorar las propiedades mecánicas de suelos arcillosos en Huánuco, que presentaban una baja capacidad de soporte. La metodología incluyó pruebas de compactación y ensayos de CBR (California Bearing Ratio) con diferentes proporciones de relave (5 %, 10 % y 20 %). Los resultados demostraron que una adición del 10 % de relaves aumentó la densidad seca máxima en un 23 % y redujo la humedad óptima en un 13 %. Se concluyó que los relaves son un aditivo viable, económico y sostenible para optimizar las características del suelo en proyectos de infraestructura vial.

- b) **Puma y Quispe** (2024), en su tesis "Comportamiento físico-mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023", evaluaron el efecto de los relaves mineros como estabilizador en la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco. Se realizaron pruebas de laboratorio y de campo para analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, incluyendo su densidad, humedad e índice CBR, con mezclas de relave al 10 %, 20 % y 30 %. Los resultados mostraron que una adición del 30 % de relave incrementó la capacidad de soporte de la subrasante, alcanzando un valor de CBR superior al 6 %. La investigación concluyó que los relaves mineros son una solución efectiva, económica y sostenible para la mejora de suelos en caminos rurales.
- c) **Romero** (2020), en su tesis "Estabilización de suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3N (Catac)– túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – EMP.PE-14A (Succha)", evaluó el uso de relaves de la mina de Ticapampa para mejorar la subrasante de una carretera. La metodología incluyó ensayos de laboratorio para análisis granulométrico, límites de consistencia, compactación y CBR, utilizando mezclas de suelo con 5 % y 10 % de relaves. Los resultados mostraron una mejora significativa en las propiedades del suelo, con un incremento en el índice CBR de hasta 21.2 % para las muestras con un 10 % de relaves. La investigación concluyó que los relaves de Ticapampa son una solución viable para mejorar las subrasantes viales y gestionar un pasivo ambiental.



- d) **Anicama** (2010), en su investigación "Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios," exploró el uso de desechos mineros peruanos como aditivos en mezclas cementicias. La investigación midió la resistencia a la compresión y la durabilidad, y encontró que la adición de estos residuos aumentó la resistencia en un 25 %. Además, la incorporación de estos materiales redujo los costos de producción en un 15 %. El autor concluyó que los desechos mineros tuvieron un gran potencial para la construcción sostenible, ya que mejoran el rendimiento de las mezclas y ofrecen beneficios económicos y ambientales.

3.1.3 Antecedentes locales

- a) **Ponce y Segundo** (2022), en su tesis "Aplicación del aditivo Sika Dust Seal en la estabilización de suelos para vías no pavimentadas en el tramo Antarumi – San Mateo, Tintay, Aymaraes – Apurímac", evaluaron la influencia del aditivo Sika Dust Seal en la mejora de suelos para vías no pavimentadas en Apurímac, Perú. Siguiendo las directrices del MTC, se realizaron ensayos de proctor modificado y CBR con varias dosificaciones. Los resultados mostraron incrementos significativos en la capacidad de soporte, con mejoras del CBR de hasta 118.97 %. El estudio concluyó que la dosificación óptima de 31.85 cm³ mejora sustancialmente la estabilidad y durabilidad de estas vías.
- b) **Huamaní y Condori** (2018), en su tesis "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 kms) Abancay-Apurímac 2018", evaluaron el efecto de un estabilizador a base de polímeros en la resistencia de un material de afirmado en una carretera departamental. El estudio, siguiendo normativas ASTM y MTC, analizó en laboratorio muestras de afirmado de la cantera Condebamba. Los resultados demostraron que la aplicación del estabilizador Z incrementó notablemente el índice CBR, mejorando así la capacidad de soporte de la vía. En conclusión, el uso de estabilizadores poliméricos es una alternativa viable para optimizar las propiedades mecánicas de los suelos en proyectos viales.



- c) **Herbas y Garrafa** (2023), en su tesis " Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del afirmado, utilizando material granular reciclado del pavimento asfáltico en la carretera AP – 646, del distrito de Abancay – Abancay – Apurímac, 2023", se enfocaron en la influencia del material granular de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en las propiedades de un material de afirmado para la carretera AP-646. Se conformaron nueve grupos experimentales con dosificaciones de RAP del 0 % al 60 %. Los resultados mostraron que la dosificación óptima fue del 10 % (Grupo G3). Con esta mezcla, el índice CBR promedio alcanzó un 95.91 %, el contenido óptimo de humedad fue de 6.24 % y la densidad seca máxima fue de 2.27 g/cm³. El estudio concluyó que el uso de RAP mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas del afirmado.

3.2 Marco teórico

3.3.1 Estabilización de suelos

La estabilización del suelo es un proceso crucial tiene como objetivo mejorar las propiedades físicas, mecánicas y de resistencia de los suelos, permitiendo que estos sean más adecuados para su uso en la construcción de infraestructuras, especialmente en pavimentación de carreteras, pistas y otras obras viales. Este proceso puede implicar el tratamiento de suelos no aptos para la construcción con diferentes agentes estabilizantes, como cal, cemento, polímeros, asfalto o incluso residuos industriales, de manera que se modifiquen sus características estructurales y se logre un material más firme y estable. Los agentes estabilizantes alteran la estructura del suelo, reduciendo su plasticidad, mejorando su resistencia al corte y aumentando su capacidad de soporte. Dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del proyecto, se pudieron utilizar diferentes proporciones de estos estabilizantes para obtener el mejor rendimiento posible. En primer lugar, permite que suelos que no son naturalmente aptos para la construcción sean transformados en materiales adecuados para soportar infraestructuras, lo cual es fundamental en lugares donde los recursos naturales de calidad son limitados o difíciles de obtener. Al estabilizar el suelo, se reduce la necesidad de importar materiales costosos, lo que disminuye los costos de construcción. Además, la estabilización mejora la durabilidad y la estabilidad de las infraestructuras, reduciendo el riesgo



de deformaciones, fisuras y otros daños debido a la humedad, el tráfico o las condiciones climáticas extremas (Alarcón, et al., 2020).

Según la sección "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" del Manual de Carreteras, la estabilización del suelo se considera una técnica empleada para fortalecer las propiedades físicas del suelo mediante el uso de compuestos químicos, mecánicos y naturales o artificiales. Esta estrategia se aplica comúnmente en suelos con una subrasante deficiente y se conoce como estabilización del suelo con cemento, cal, asfalto u otros materiales similares. Asimismo, cuando se busca mejorar la calidad y capacidad de soporte de subbases granulares o bases granulares mediante refuerzos, se denomina subbase tratada o base granular (MTC, 2014).

Al seleccionar un método de estabilización, es fundamental realizar un análisis detallado de diversos factores que influirán en la decisión. Las consideraciones clave incluyen las características del terreno (tipo de suelo, grado de humedad, etc.), el estado actual de la carretera (nivel de deterioro y capacidad de soporte), la estabilidad previa del suelo, la antigüedad del proyecto y la infraestructura existente. Además, es crucial evaluar la disponibilidad de recursos financieros para asegurar la viabilidad económica del proceso, así como realizar una evaluación ambiental que garantice que la técnica de estabilización elegida cumpla con los requisitos de sostenibilidad y no genere impactos negativos en el entorno. Esta evaluación integral permitirá seleccionar el método de estabilización más adecuado, maximizando la eficiencia y la durabilidad a largo plazo del proyecto.

3.3.2 Estabilización mecánica de suelos

De acuerdo con Rivera et. al. (2020), la estabilización mecánica del suelo es un proceso mediante el cual se incrementa la densidad y resistencia de un suelo mediante la compactación, ya sea de manera estática o dinámica, con el fin de mejorar sus características físicas y mecánicas. Este procedimiento tuvo como principal objetivo aumentar la capacidad de soporte del suelo, reducir el asentamiento de las estructuras, controlar cambios volumétricos indeseados, disminuir la permeabilidad al agua y mejorar la estabilidad de taludes. En este proceso, el suelo se mezcla o compacta de manera que se minimiza su porosidad,



aumentando así su rigidez y resistencia al desgaste, lo que lo convierte en un material más adecuado para obras de infraestructura.

3.3.3 Suelos estabilizados con cemento

Por otro lado, Zamora Et., al. (2023) manifiesta que la estabilización de suelos con cemento es un proceso en el que se emplea cemento como agente estabilizador para mejorar las características de un suelo natural, especialmente aquellos suelos que presentan deficiencias en su capacidad de soporte, cohesión o resistencia. En este procedimiento, el cemento se mezcla con el suelo en una proporción determinada, lo que genera reacciones químicas que alteran las propiedades originales del material, haciendo que se vuelva más firme y resistente.

Este tipo de estabilización ayuda a reducir la plasticidad del suelo, lo que significa que disminuye su tendencia a expandirse o contraerse debido a la humedad. Además, aumenta la resistencia al corte, lo que mejora la capacidad del suelo para soportar cargas pesadas sin deformarse. La mezcla de cemento y suelo no solo fortalece la base de caminos y pavimentos, sino que también proporciona una mayor durabilidad a las infraestructuras, reduciendo la posibilidad de asentamientos y erosión. Dependiendo de la proporción de cemento aplicada, los suelos pudieron alcanzar características óptimas para su uso en la construcción, lo que resulta en un terreno más estable y apto para soportar estructuras viales.

3.3.4 Suelos estabilizados con cal

La estabilización de suelos con cal es un proceso mediante el cual se emplea este material como estabilizador para modificar las propiedades de suelos arcillosos y mejorar su comportamiento en términos de resistencia, durabilidad y capacidad de soporte. Este procedimiento implica la adición de cal al suelo, lo que genera reacciones químicas que alteran la estructura de las partículas de arcilla, reduciendo su capacidad de absorción de agua y aumentando su cohesión y estabilidad. Al combinar el suelo con cal, se obtiene una mezcla más compacta y menos susceptible a los cambios volumétricos causados por la humedad, mejorando así su capacidad para soportar cargas sin deformarse.

La cal utilizada en este proceso puede ser cal viva o cal hidratada, dependiendo del contenido de humedad del suelo. Este método no solo incrementa la resistencia del suelo a la compresión, sino que también mejora su textura y facilita su trabajo



en aplicaciones de construcción, como la creación de firmes y bloques de tierra comprimida. La estabilización con cal ha sido utilizada a lo largo de la historia en diversas civilizaciones, y actualmente se busca recuperar su uso debido a su bajo impacto ambiental en comparación con otros materiales de estabilización, como el cemento. Este proceso es especialmente valioso por su bajo costo y sus beneficios en términos de sostenibilidad, ya que la cal tiene una menor huella de carbono en su producción (Navarro, et al., 2019).

3.3.5 Suelos estabilizados con relaves de flotación de cobre

La estabilización de suelos con relaves de flotación de cobre implica la utilización de este material residual de la industria del cobre para mejorar las características de los suelos utilizados en la construcción, especialmente en pavimentos asfálticos. Relaves de flotación de cobre, que generalmente se considera un pasivo ambiental, se usa como sustituto parcial de los áridos convencionales. Al integrarse en las mezclas asfálticas, mejora la densidad, la resistencia y la estabilidad del material, lo que contribuye a la durabilidad y calidad del pavimento. Este proceso no solo optimiza las propiedades mecánicas de los suelos, sino que también proporciona una solución sostenible al reducir la cantidad de residuos industriales y disminuir la demanda de áridos naturales.

Sin embargo, es importante señalar que el aumento de relaves de flotación de cobre en las mezclas puede afectar la estabilidad en ciertas proporciones, lo que limita su aplicación a ciertos niveles. En general, la estabilización con relaves de flotación de cobre ofrece una alternativa eficaz y ambientalmente responsable para la mejora de suelos en la construcción de infraestructuras viales (Nazer, et al., 2021).

3.3.6 Ensayos de laboratorio según normativa

A continuación, se presentan las pruebas de laboratorio recomendadas en el manual de carreteras para evaluar la calidad de los suelos presentes en el área de estudio.

a) MTC E 107 (Análisis granulométrico de suelos por tamizado)

Según MTC (2014) el análisis granulométrico de suelos por tamizado es una prueba fundamental para determinar cómo están distribuidos los tamaños de



las partículas en una muestra de suelo. Este procedimiento es esencial en ingeniería civil, ya que permite clasificar el suelo y entender sus propiedades para aplicaciones específicas, como cimentaciones, pavimentos o rellenos. El método consiste en secar el suelo para eliminar cualquier humedad presente y luego pasarlo a través de una serie de tamices con aberturas progresivamente más pequeñas. Cada tamiz retiene partículas de un tamaño específico, y el material que pasa a través del tamiz más pequeño se denomina fino. Se calcula el porcentaje de masa retenida en cada tamiz y se representa gráficamente para obtener la curva granulométrica, que ayuda a identificar si el suelo es bien graduado (con una buena distribución de tamaños) o mal graduado (predominancia de ciertos tamaños). Esta prueba es crucial porque permite evaluar la estabilidad y la compactibilidad del suelo, dos factores esenciales para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras. Además, se utiliza para determinar si el material cumple con los estándares requeridos para un proyecto.

b) MTC E 108 (Determinación del contenido de humedad de un suelo)

El contenido de humedad de un suelo es la relación entre el peso del agua presente en una muestra y su peso seco. Este parámetro es crucial en proyectos de ingeniería civil porque afecta directamente la capacidad de soporte, la compactación y la estabilidad del suelo.

El ensayo se realiza extrayendo una muestra del suelo, pesándola en su estado húmedo y luego secándola en un horno a 110°C hasta que alcance un peso constante. La diferencia entre el peso húmedo y el peso seco corresponde al contenido de agua, que se expresa como un porcentaje. Este ensayo es fundamental para determinar si el suelo está en condiciones óptimas para su compactación, ya que un exceso de humedad puede provocar asentamientos o fallas, mientras que una falta de agua puede dificultar el alcance de la densidad máxima. Además, el contenido de humedad es un indicador clave para evaluar la capacidad del suelo para drenar agua, un factor crítico en la construcción de carreteras y edificaciones (MTC, 2014).

c) MTC E 110 (Determinación del límite líquido de los suelos)

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Este parámetro se determina utilizando el aparato de Casagrande, que permite medir la cantidad de golpes necesarios para cerrar una ranura en una muestra de suelo.

Este límite es esencial para clasificar los suelos y entender su comportamiento bajo cargas, especialmente en condiciones donde hay presencia de agua. Por ejemplo, suelos con un límite líquido alto suelen ser más susceptibles a deformaciones y asentamientos, lo que puede representar un riesgo en construcciones. El ensayo también proporciona información clave para decidir si un suelo necesita ser estabilizado antes de ser utilizado en un proyecto. Además, este límite es una de las bases para los sistemas de clasificación de suelos, como el AASHTO y el SUCS, que son ampliamente utilizados en ingeniería geotécnica (MTC, 2014).

d) MTC E 111 (Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.))

El límite plástico es el contenido de humedad en el que un suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido, mientras que el índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Este ensayo es fundamental para evaluar la capacidad del suelo de deformarse sin romperse, un factor clave en proyectos de ingeniería geotécnica.

Para determinar el límite plástico, se toma una muestra de suelo, se enrolla en forma de hilos delgados de aproximadamente 3 mm de diámetro, y se mide el contenido de humedad en el momento en que los hilos comienzan a romperse. Suelos con un índice de plasticidad alto tienden a ser más inestables y susceptibles a deformaciones, mientras que los suelos con índices bajos suelen ser más estables. Este parámetro es crucial para clasificar suelos y diseñar soluciones adecuadas en proyectos de construcción (MTC, 2014).

e) MTC E 115 (Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada - Proctor modificado)

El ensayo proctor modificado es una de las pruebas más importantes en la ingeniería civil, ya que determina cómo se debe compactar un suelo para

alcanzar su densidad seca máxima y su humedad óptima. Este ensayo utiliza un molde estándar y un pisón que aplica una energía específica al suelo a través de golpes controlados.

La muestra se compacta en varias capas, y el proceso se repite con diferentes niveles de humedad. La información obtenida se representa en una curva que muestra la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad, identificando el punto óptimo de compactación. Este ensayo es crucial porque asegura que el suelo tenga la resistencia y estabilidad necesarias para soportar las cargas a las que fue sometido, reduciendo el riesgo de asentamientos o fallas estructurales. Además, permite optimizar los procesos de construcción al garantizar que el suelo utilizado cumpla con las especificaciones del diseño (MTC, 2014).

f) MTC E 132 (CBR de suelos)

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), el ensayo CBR (California Bearing Ratio) es un método esencial para evaluar la capacidad de soporte de un suelo, especialmente en el diseño de pavimentos y terraplenes. Este ensayo mide la resistencia del suelo al ser penetrado por un pistón estándar bajo condiciones controladas de humedad y compactación. Se compacta una muestra de suelo en un molde y se satura para simular las condiciones en campo.

Luego, se aplica una carga a través del pistón, midiendo la presión necesaria para alcanzar ciertas profundidades de penetración, generalmente 2.5 mm y 5 mm. Los resultados se expresan como un porcentaje de la resistencia medida en un material de referencia. Un CBR alto indica que el suelo tiene buena capacidad para soportar cargas, mientras que un valor bajo sugiere que el material puede necesitar estabilización o reemplazo. Este ensayo es de gran importancia para garantizar la durabilidad y seguridad de las estructuras viales, ya que permite seleccionar los materiales más adecuados para la subrasante y otras capas estructurales.

g) MTC (Sistemas de clasificación de los suelos)

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones., 2014) los sistemas de clasificación de suelos son herramientas fundamentales para categorizar los

suelos en función de sus propiedades físicas y mecánicas, facilitando su selección y uso en proyectos de ingeniería.

- Sistema AASHTO M145 (ASTM D382): Este sistema es ampliamente utilizado para categorizar los suelos en proyectos viales. Este sistema clasifica los suelos en siete grupos principales, que van del A-1 al A-7, dependiendo de su granulometría y plasticidad. Los suelos del grupo A-1 son los más adecuados para carreteras, ya que tienen alta estabilidad y baja deformabilidad, mientras que los suelos del grupo A-7, que contienen mayores cantidades de limo y arcilla, son menos estables y más susceptibles a deformaciones. Además, el sistema utiliza subgrupos para refinar la clasificación y proporcionar información más detallada sobre la calidad del suelo. Este método es fundamental para seleccionar el tipo de suelo adecuado en la construcción de pavimentos, asegurando su durabilidad y resistencia frente a las cargas vehiculares.
- Sistema Unificado de Clasificación (SUCS ASTM D2487): Es una herramienta estándar utilizada para categorizar suelos en categorías principales como grava, arena, limo y arcilla, basándose en sus características físicas, como la granulometría y los límites líquido y plástico. Este sistema emplea códigos como GW (grava bien graduada), SP (arena mal graduada), CL (arcilla de baja plasticidad) y MH (limo de alta plasticidad) para identificar los suelos de manera clara y precisa. La clasificación permite predecir cómo se comportará un suelo bajo cargas y diferentes condiciones ambientales, lo que es esencial en proyectos de ingeniería geotécnica. Este sistema es ampliamente utilizado en proyectos de cimentaciones, terraplenes y estabilización de suelos, y proporciona un lenguaje común para que los ingenieros y técnicos puedan comunicar las características del suelo de manera eficiente.

3.3.7 Relaves de flotación de cobre

Los relaves de flotación de cobre (RFC) es uno de los subproductos industriales producidos que deben eliminarse adecuadamente o reutilizarse, material que resulta del proceso metalúrgico, donde los relaves de flotación de cobre se separan junto con los metales no deseados, generando partículas de diversas morfologías y tamaños que se agrupan en un material relativamente estable. Estos compuestos



forman una estructura granular de tamaño similar al de la arena, lo que le confiere una textura uniforme.

Los relaves de flotación de cobre provienen del proceso de concentración de mineral sulfurado mediante flotación, un proceso en el cual se separan concentrados de cobre de las fracciones de relave. Aproximadamente, de cada 1.000 kg de mineral procesado, solo 30 kg corresponden a concentrados de cobre, mientras que el resto se convierte en relaves, que históricamente se han considerado desechos. Sin embargo, estos relaves contienen diversos minerales y elementos valiosos, como molibdeno, hierro y tierras raras, lo que ha generado un interés creciente en su reprocesamiento. La tecnología utilizada para este reprocesamiento ha sido adaptada para mejorar la eficiencia, lo que permite a la minería secundaria aprovechar los relaves como un recurso potencialmente rentable, contribuyendo además a la reducción de la huella ambiental (JRI Ingeniería, EcoMetales, 2020).

a) Procedencia de los relaves de flotación de cobre

Los relaves de flotación de cobre son productos de los procesos de pirometalurgia, es decir remanente de la flotación de minerales en las plantas concentradoras y se considera un subproducto, desecho minero o residuo de la industria. Se encuentran normalmente almacenados en los relaves y se les considera un pasivo ambiental minero.

La gestión adecuada de la escoria de cobre a nivel global se enfrenta a un importante desafío, ya que su disposición es complicada y ocupa grandes extensiones de terreno, lo que resulta en una disminución de la superficie cultivable y efectos ambientales negativos. En los últimos años, ha aumentado el interés por encontrar sustitutos para la utilización de escorias de cobre, debido al potencial de lixiviación natural de metales pesados (Nazer, et al., 2010).

Los relaves de flotación de cobre son generados como resultado del procesamiento del mineral mediante flotación, un proceso que se emplea para separar los concentrados de cobre del material no deseado. Estos relaves se caracterizan por una mezcla de agua y minerales finamente molidos, que son bombeados hacia los depósitos, usualmente mediante un sistema hidráulico.

La estabilidad física de estos depósitos es una prioridad, ya que deben mantenerse en condiciones que eviten desbordamientos, saturación del terreno y filtraciones de contaminantes hacia el subsuelo. En el caso del depósito San Andrés, se emplean diversas medidas como la construcción de diques de material compactado y el uso de geomembranas para prevenir la filtración. Además, los análisis de estabilidad física han mostrado que los depósitos cumplen con los factores de seguridad requeridos, tanto en condiciones estáticas como sísmicas, lo que asegura la integridad de las estructuras durante su operación y posterior cierre Avellaneda y Avellaneda (2020).

3.2 Marco conceptual

- a) **Estabilización de suelos:** Para Zambrano y Zambrano (2023), la estabilización de suelos con cal y cemento es un proceso mediante el cual se modifican las características geotécnicas del suelo, como su resistencia y plasticidad, al incorporar estos aditivos químicos. Este tratamiento mejora la capacidad de soporte del suelo, reduciendo su deformabilidad y aumentando su durabilidad. Es particularmente útil para suelos arcillosos, proporcionando una base más firme para la construcción de infraestructuras viales.
- b) **Relaves:** Para Vizcaino y Silva (2023), los relaves son un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 3 %). Una vez que ese material (la roca) ha sido finamente molido y concentrado por procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más alta de cobre (entre 20 y 30 %), que se puede vender como Concentrado o procesar hasta cobre metálico puro. El resto del material (muy pobre en cobre) se denomina “relave”, y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable.
- c) **Relaves de flotación de cobre:** Los relaves de flotación de cobre son un material residual que quedan después de que se separan los minerales sulfurados del cobre en el proceso de flotación. El tratamiento pirometalúrgico empleado en la flotación de



concentrados de cobre da lugar a la formación de relaves de flotación de cobre, uno de los principales subproductos generados en el proceso. Este residuo industrial tiende a acumularse en grandes áreas de terreno, sin que se haya encontrado una aplicación práctica o un uso económico significativo para su aprovechamiento. Como resultado, los relaves de flotación de cobre se considera un pasivo ambiental, dado que su acumulación y disposición inadecuada pudieron generar efectos adversos en el entorno natural, tales como la contaminación del suelo, el agua y la atmósfera, contribuyendo al deterioro ecológico a largo plazo (Perez, 2017).

- d) **Afirmado:** El afirmado es un material granular utilizado en la construcción de caminos no pavimentados, especialmente en áreas de bajo tráfico vehicular. Este tipo de material forma la capa superior del camino, expuesta a condiciones ambientales, lo que puede afectar su resistencia y durabilidad (Análisis del afirmado con la adición de polímero acrilamida y cemento, Ocobamba, Chincheros, Apurímac 2023, 2023).
- e) **Pasivo ambiental:** Cobeña et. al. (2023) indican que el "pasivo ambiental" hace referencia a los daños al medio ambiente causados por actividades humanas, que, a pesar de haber ocurrido en el pasado, siguen representando un riesgo para la salud pública y el entorno natural. Estos pasivos incluyen la contaminación del aire, agua y suelo, así como la degradación de recursos naturales, que requieren medidas de mitigación o restauración.
- f) **Conservación vial:** Huamani et. al (2022), sostienen que la conservación vial es un conjunto de actividades orientadas a mantener en buen estado las infraestructuras viales, garantizando su funcionalidad, seguridad y durabilidad. Estas tareas incluyen tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo, y buscan minimizar el desgaste de las vías mediante intervenciones periódicas y planificadas. Su objetivo principal es asegurar una circulación fluida y sin riesgos para los usuarios.
- g) **Calicata:** La calicata es una técnica utilizada para estudiar el perfil del suelo mediante la excavación de un pozo, generalmente de un metro y medio de profundidad, para observar sus características. Esta práctica permite identificar y diferenciar los distintos horizontes del suelo, así como analizar su composición,

textura, presencia de raíces y organismos, facilitando el manejo adecuado del terreno para diversos usos agrícolas (Passeti, et al., 2023).

- h) Capacidad de soporte (CBR):** La Capacidad de Soporte (CBR) es un ensayo que mide la capacidad de soporte de un suelo, comparando su resistencia con la de un material de referencia, como piedra triturada. Es fundamental para evaluar su idoneidad en la construcción de pavimentos, ya que determina la estabilidad y resistencia del terreno a las cargas aplicadas, influyendo en el diseño de estructuras viales (Portilla, 2022).



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.2.1 Tipo de investigación

- **Según su finalidad**

En el texto de Borja (2016), la investigación aplicada se enfocaba en resolver problemas específicos y prácticos. A diferencia de la investigación básica, que buscaba generar conocimiento sin aplicación inmediata, la investigación aplicada tuvo un objetivo claro de mejorar o modificar una situación específica. Borja indicó que este tipo de investigación "estaba más orientada a la solución de problemas concretos, especialmente en campos como la ingeniería, donde se buscaba resolver dificultades presentes en la infraestructura, los procesos o los materiales" (Borja, 2016).

El diseño de investigación de esta tesis fue de tipo aplicada, ya que se utilizó un conjunto de conocimientos y principios propios de la ingeniería civil para abordar un problema concreto: la estabilización de suelos mediante la incorporación de relaves de flotación de cobre. Además, la investigación fue aplicada porque no solo se limitó a la medición de variables, sino que también evaluó de manera directa los efectos que se produjeron en la variable dependiente, que en este caso fue la estabilización del suelo. Al realizar comparaciones entre suelos tratados con diferentes proporciones de relaves de flotación de cobre y aquellos sin tratamiento, se pudo determinar con precisión en qué medida mejoraba la capacidad de soporte del suelo, lo cual fue fundamental para la toma de decisiones en proyectos viales. Esta finalidad aplicada no solo proporcionó soluciones a problemas inmediatos en la ingeniería civil, sino que también tuvo el potencial de aportar conocimientos prácticos para el mejoramiento de la infraestructura, beneficiando a la sociedad en general al garantizar una mayor durabilidad y resistencia de los afirmados.



- **Por su enfoque**

Según Borja (2016), el enfoque cuantitativo de investigación se basaba en la recolección y análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis. Este enfoque consideraba que la realidad podía ser medida de manera objetiva mediante el conteo y el uso de herramientas estadísticas, permitiendo generalizar los resultados a una población más amplia. En investigaciones cuantitativas, los conceptos incluidos en las hipótesis eran transformados en variables que luego eran medidas y sometidas a análisis estadísticos para verificar o refutar las hipótesis planteadas. Era un enfoque ampliamente utilizado en estudios donde se requería objetividad y precisión en los resultados, con el fin de establecer patrones de comportamiento y tendencias en una población (Borja, 2016).

El enfoque de investigación de este estudio fue cuantitativo, ya que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar el impacto de la incorporación de relaves de flotación de cobre en la capacidad de soporte del suelo (CBR). Este enfoque fue adecuado porque permitió medir y comparar de manera objetiva los efectos que tuvieron los diferentes porcentajes de relaves de flotación de cobre (5 %, 15 % y 25 %) sobre la capacidad de soporte del suelo en tres tipos de suelos. A través de este enfoque, se extrajeron conclusiones precisas, objetivas y replicables sobre el comportamiento del suelo en función de las distintas cantidades de relave, utilizando herramientas estadísticas para analizar los datos.

4.2.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación adoptado en este proyecto fue correlacional – explicativo, dado que tuvo como propósito principal identificar y demostrar la relación entre dos variables: la capacidad de soporte del suelo y el porcentaje de relaves de flotación de cobre incorporada en el proceso de estabilización. Según Arias (2012), la investigación explicativa buscaba establecer relaciones causales, es decir, analizar cómo una variable influyó o modificó el comportamiento de otra.



4.2 Diseño de la investigación

De acuerdo con Arias (2012), el diseño experimental proporcionaba un control riguroso de las condiciones experimentales, lo que permitía inferir de manera precisa cómo una variable influía sobre otra. Creswell (2014) también destacó que el diseño experimental era esencial para probar hipótesis causales en un entorno controlado, asegurando que los resultados fueran válidos y confiables.

El diseño de la investigación adoptado fue experimental, ya que se manipularon distintos tipos de suelo mediante la incorporación de porcentajes específicos de relaves de flotación de cobre (5 %, 15 % y 25 %) para evaluar su capacidad de soporte, medida a través del índice CBR (California Bearing Ratio). De acuerdo con Arias (2012) y Creswell (2014), el diseño experimental era fundamental cuando se deseaba establecer relaciones causales claras, ya que la manipulación de variables independientes permitía observar de manera precisa el impacto de dichas variables sobre las dependientes.

4.3 Descripción ética de la investigación

En cuanto a la recolección de datos, la investigación fue realizada de manera rigurosa y respetuosa de los derechos y la dignidad de todas las partes involucradas. De acuerdo con los principios éticos de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), todos los procedimientos de recolección de datos se adherieron a normas de transparencia, exactitud y protección de la privacidad.

La ética en la ejecución de ensayos de esta investigación estuvo regida por normativas nacionales e internacionales que garantizaban la calidad y la confiabilidad de los resultados obtenidos. En este caso, se siguieron los protocolos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP), que aseguraban el cumplimiento de los estándares requeridos en las evaluaciones de suelos y estabilización (MTC, 2016).

La ética en la interpretación de los resultados de esta investigación implicó que los hallazgos reflejaran fielmente la realidad observada y se utilizaron con responsabilidad. Según la UNESCO (2019), los investigadores debían ser responsables de cómo presentan sus resultados, asegurándose de que la interpretación fuera objetiva y no sesgada por intereses personales o externos.



4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

En el libro de Arias (2012), la población de estudio se refería al conjunto total de elementos que cumplían con ciertas características y que eran objeto de análisis dentro de una investigación, debía estar delimitada geográficamente, temporalmente, y por las características que la componían, lo cual permitía establecer los límites del estudio y garantizar que la muestra seleccionada fuera representativa del total de la población.

Se definió como población el proyecto titulado “Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023”. Esta ruta fue seleccionada debido a su clasificación como carretera de tercera clase según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), visualizar en la figura 1.



Figura 1 — Tramo de la ruta AP-917

a) Criterios de inclusión

- Ubicación geográfica: Se incluyó el tramo de la ruta AP-917 que tuvo una extensión de 30 kilómetros y se encontraba dentro del distrito de Coyllurqui, provincia de Cotabambas y en el departamento de Apurímac.
- Contexto de la problemática: Se incluyó el tramo de la ruta que experimentaba problemas evidentes de deterioro debido a la inestabilidad del suelo, lo que hacía que la transitabilidad fuera difícil para los vehículos y pasajeros, especialmente aquellos que se veían afectados durante la temporada de lluvias.

b) Criterios de exclusión

- Tramos fuera del área de estudio: Se excluyeron tramos que se encontraban fuera del tramo comprendido de la ruta AP-917, ya que no formaron parte de la población de estudio definida para esta investigación.
- Áreas sin problemas de deterioro: Se excluyeron rutas donde no se presentaban dificultades de tránsito, ya que estas no cumplieron con la problemática que la investigación intentaba abordar.

4.4.2 Muestra

Según Borja (2012) y Arias (2012), la muestra de una investigación representaba una selección de elementos extraídos de una población más amplia, los cuales se elegían para ser estudiados con el objetivo de hacer inferencias o generalizaciones sobre dicha población. En la investigación, la muestra se limitó al tramo de la ruta AP-917 comprendido entre el km 10+500 y el km 18+000, lo cual abarcó aproximadamente 9 kilómetros de la población seleccionada.

a) Criterios de inclusión

- Ubicación de las muestras: La muestra en la presente investigación se extrajo ejecutando calicatas entre las progresivas del km 10+500 al km 18+000 (ver figura 2) de la ruta AP-917, este tipo de muestra fue no probabilística o dirigida, ya que el muestreo no fue al azar, más por el contrario, se consideró el tramo más crítico.



Figura 2 — Ubicación del tramo en estudio km 10+500 al km 18+000

- Cantidad de muestras: Para determinar la cantidad de pozos de prueba requeridos, el manual de carreteras recomendaba como mínimo, una fosa de prueba por cada kilómetro, a una profundidad de 1,50 metros por debajo del nivel del suelo. Se llevó a cabo un total de 9 exploraciones mediante la excavación de calicatas, según el orden que se observó en la figura 3; puesto que, este trabajo tuvo un enfoque académico.



Figura 3 — Ubicación de las calicatas del km 10+500 al km 18+000

- Ubicación geográfica de las calicatas: En la tabla 2, se aprecian las coordenadas geográficas norte y este, el margen de ubicación, las progresivas y la profundidad de excavación de las calicatas.

Tabla 2 — Cuadro de ubicación geográfica de las calicatas

Calicata	Prof. (m)	Coordenadas		Margen
		Norte	Este	
C-01 Km 10+500	1.50 m	8465987.16	777994.27	Derecho
C-02 Km 11+500	1.50 m	8465490.85	778281.40	Derecho
C-03 Km 12+500	1.50 m	8465292.56	778175.54	Derecho
C-04 Km 13+500	1.50 m	8464758.10	778531.81	Derecho
C-05 Km 14+500	1.50 m	8464190.74	778320.19	Derecho
C-06 Km 15+500	1.50 m	8464182.49	778864.99	Izquierdo
C-07 Km 16+500	1.50 m	8463903.29	778719.16	Izquierdo
C-08 Km 17+500	1.50 m	8463886.80	778018.73	Derecho
C-09 Km 18+000	1.50 m	8463109.82	777817.94	Izquierdo

- Ubicación geográfica de los relaves de flotación de cobre: Para este estudio, se emplearon relaves de flotación de cobre proveniente de los relaves de la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C., cuyas coordenadas UTM (WGS84) fueron: Este 762,215.00 m, Norte 8,448,849.00 m, y con una altitud de 2,780.00 m.s.n.m. La planta se encontraba ubicada en el distrito de Curasco, provincia de Grau, en el departamento de Apurímac.

4.4.3 Diseño experimental

En este estudio, se emplearon tres tipos de suelo diferentes (S1, S2 y S3), sin la adición de relaves de flotación de cobre, manteniendo un CBR al 95 % con un Proctor de 25 golpes (P1) como muestras de referencia, tabla 5. Por otro lado, el grupo experimental incluyó los mismos tres tipos de suelo (S1, S2 y S3), pero con la incorporación de relaves de flotación de cobre en distintas proporciones: E1 = 5 %, E2 = 15 % y E3 = 25 %, para un CBR del 95 % y un Proctor de 25 golpes, tabla 6. Por lo tanto, el diseño experimental fue de tipo factorial aleatorio con tres repeticiones.

Tabla 3 — Cuadro simplificado de los tipos de suelo de calicatas en estudio

Simbología	Definición	Descripción	Calicatas
S1	suelo cohesivo	suelo limoso	1, 6 y 7
S2	suelo no cohesivo	suelo arena bien graduada	2, 3 y 5
S3	suelo mixto	suelo arena limosa con grava	4, 8 y 9

Tabla 4 — Diseño experimental

Factores de estudio			Variable respuesta
Relaves de flotación de cobre			CBR al 95 %
Tipos de suelo			proctor
S1 = suelo cohesivo (calicata 1, 6 y 7)	S2 = suelo no cohesivo (calicata 2, 3 y 5)	S3 = suelo mixto (calicata 4, 8 y 9)	
Porcentaje de incorporación de relaves de flotación de cobre			
E1 = 5 %	E2 = 15 %	E3 = 25 %	
Determinación del tamaño de la muestra del grupo experimental con incorporación de relaves de flotación de cobre			
Primera repetición			
P1 = 25 golpes			
S1E1	S1E2	S1E3	
S2E1	S2E2	S2E3	
S3E1	S3E2	S3E3	
Segunda repetición			
P1 = 25 golpes			
S1E1	S1E2	S1E3	
S2E1	S2E2	S2E3	
S3E1	S3E2	S3E3	
Tercera repetición			
P1 = 25 golpes			
S1E1	S1E2	S1E3	
S2E1	S2E2	S2E3	
S3E1	S3E2	S3E3	

- a) **Grupo de control:** El grupo de control estuvo compuesto por los CBR obtenidos de los diferentes tipos de suelo mencionados anteriormente, los cuales no incluyeron la adición de relaves de flotación de cobre.

Tabla 5 — Grupo de control del diseño de mezcla sin relaves de flotación de cobre

Determinación del tamaño de la muestra del grupo experimental sin incorporación de relaves de flotación de cobre		
Primera repetición		
P1 = 25 golpes		
S1		
S2		
S3		
Segunda repetición		
P1 = 25 golpes		
S1		
S2		
S3		
Tercera repetición		
P1 = 25 golpes		
S1		
S2		
S3		

b) Grupo experimental: El grupo experimental estuvo compuesto por los CBR obtenidos de diferentes tipos de suelo mencionados previamente, y se les añadió relaves de flotación de cobre en concentraciones del 5 %, 15 % y 25 %.

Tabla 6 — Grupo de control del diseño de mezcla con relaves de flotación de cobre

Determinación del tamaño de la muestra del grupo experimental con incorporación de relaves de flotación de cobre		
Primera repetición		
P1 = 25 golpes		
S1E1	S1E2	S1E3
S2E1	S2E2	S2E3
S3E1	S3E2	S3E3
Segunda repetición		
P1 = 25 golpes		
S1E1	S1E2	S1E3
S2E1	S2E2	S2E3
S3E1	S3E2	S3E3
Tercera repetición		
P1 = 25 golpes		
S1E1	S1E2	S1E3
S2E1	S2E2	S2E3
S3E1	S3E2	S3E3

4.4.3.1 Técnicas de muestreo

La técnica de muestreo que se utilizó fue no probabilística, ya que la selección de los elementos no se basó en probabilidades, sino en el juicio y criterio del investigador.

4.4.3.2 Tamaño y cálculo de la muestra

De acuerdo al diseño experimental mencionado anteriormente, fueron 36 muestras para ensayos de capacidad de soporte (CBR).

$$N = \#S \times \#E \times \#P \times \#R \quad (1)$$

Donde:

- N = Número de muestras total
- #S = Suelos tipo 1,2 y 3
- #E = Porcentaje relaves de flotación de cobre 5 %, 15 % y 25 %
- #P = Proctor a 25 golpes
- #R = Número de repeticiones

A continuación, se reemplazó en la fórmula:

N (Número de muestras con incorporación de relaves de flotación de cobre) =

$$3 \times 3 \times 1 \times 3 = 27$$

N (Número de muestras sin la incorporación de relaves de flotación de cobre) =

$$3 \times 1 \times 3 = 9$$

$$N = 27 + 9$$

$$N = 36$$

4.5 Procedimiento

A continuación, en la figura 4, se detallan los pasos a seguir para llevar a cabo el estudio de la investigación, con el objetivo de obtener la información necesaria para llegar a las conclusiones correspondientes.

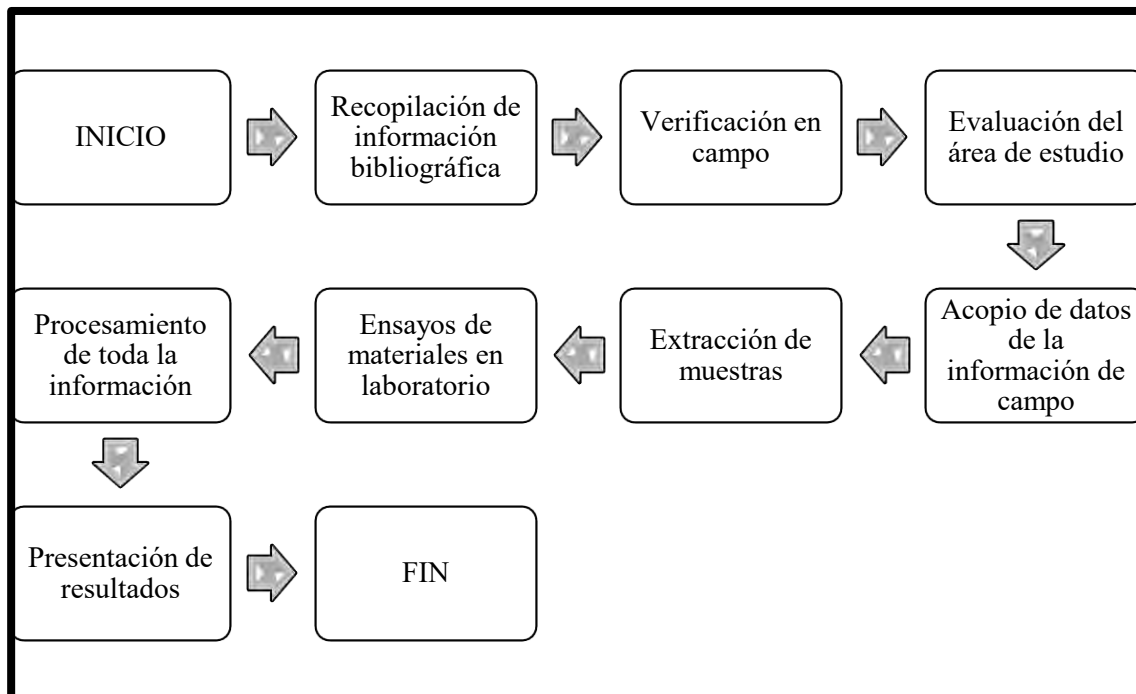


Figura 4 — Flujo del proceso de la investigación

4.5.1 Ensayo de materiales en laboratorio

Una vez extraídas las muestras de suelo de los pozos de evaluación, se procedió a realizar una serie de ensayos estándar, incluyendo pruebas de clasificación y compactación, con el objetivo de identificar los distintos tipos de suelo presentes en el área de estudio, tabla 7. Además, se determinaron las constantes geotécnicas y las propiedades mecánicas, como la capacidad de soporte, la plasticidad, el índice de humedad y otros parámetros relevantes. Estos datos permitieron caracterizar de manera precisa las condiciones del suelo y evaluar su comportamiento bajo cargas, lo que resultó crucial para el diseño de infraestructuras y la aplicación de técnicas de estabilización. En esta etapa también se llevó a cabo la dosificación con la incorporación de relaves de flotación de cobre, a partir de la cual se obtuvieron los valores nominales y porcentuales óptimos.

Tabla 7 — Ensayos de laboratorio según normativa del MTC

Ensayos Estándar	Norma
Análisis granulométrico	MTC E-107 -
Límite líquido y límite plástico	MTC E 110 - MTC E 111
Contenido de humedad	MTC E 108
Clasificación de suelos	SUCS - AASHTO
Proctor Modificado	MTC E-115
California Bearing Ratio (CBR)	MTC E-132

A continuación, se detallaron los procedimientos de los ensayos realizados en el laboratorio con las muestras de suelo natural, así como con las muestras incorporadas de 5 %, 15 % y 25 % de relaves de flotación de cobre, teniendo un total de 9 calicatas en estudio.

a) Análisis granulométrico por tamizado

Equipos:

- Balanza con sensibilidad de 0.01 y 0.1 gramos, dependiendo del número de tamiz en uso.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Materiales:

- Tamices de malla cuadrada: 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100 y N°200.
- Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

Muestreo:

Se tomó la muestra de acuerdo a las recomendaciones del manual de ensayos y se realizó el cuarteo correspondiente MTC E 105.

Procedimiento:

- Primeramente, se inició con el pesado de las muestras de 2100 gramos.
- Seguidamente se procedió a lavar la muestra con agua limpia, eliminando las materias orgánicas existentes.
- Se secó la muestra hasta que su masa fue constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se ordenaron los tamices de grande a pequeño en orden decreciente y se prosiguió con la colocación de la muestra desde la parte superior de los tamices.

- Se colocaron los tamices en una tamizadora electromagnética de laboratorio, durante 5 minutos.
- Antes de culminar se procedió a realizar el cribado. Este procedimiento culminó cuando ya no hubo material pasante por lo menos en un tiempo de 1 minuto.
- Se prosiguió a registrar la masa en gramos retenido en cada tamiz en un formato de cálculo.

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado en la malla}$$

b) Límite líquido y límite plástico

Límite líquido

Equipos:

- Recipiente para almacenaje.
- Aparato del límite líquido o de Casagrande de operación manual.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Acanalador o también llamado ranurador.
- Tamiz N° 40.

Materiales:

- Espátula de hoja flexible de unos 3" de longitud y $\frac{3}{4}$ " de ancho aproximadamente.

Insumo:

- Agua destilada.

Procedimiento:

- Primeramente, se obtuvo una muestra de 200 g de material pasante del tamiz N°40.
- Se combinó la muestra con una adecuada cantidad de agua destilada.
- Se colocó una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de Casagrande en el punto en que la copa descansaba sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa con la espátula, formando una superficie aproximadamente horizontal y no dejando burbujas de aire atrapadas en la pasta.



- Se utilizó el acanalador, y se dividió la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que unía el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa.
- Se levantó y se soltó la copa girando el manubrio a una velocidad de 2 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estuvieron en contacto en la base de la ranura una longitud de ½ pulg.
- Se registró el número de golpes, N , necesario para cerrar la ranura.
- Se tomó una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, colocándola en un recipiente de peso conocido la tajada de muestra húmeda y se procedió a pesar en la balanza.
- Se colocó la muestra de suelo húmedo al horno de secado durante 24 horas y se pesó en la balanza.
- Se determinó el límite líquido de cada espécimen para contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad (2)$$

Donde:

- N = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura
- W^n = Contenido de humedad del suelo

Límite plástico

Equipos:

- Recipiente para almacenaje.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz N° 40.
- Vidrio grueso esmerilado, para determinación de humedades.

Materiales:

- Espátula de hoja flexible de unos 3" de longitud y ¾" de ancho aproximadamente.

Insumo:

- Agua destilada.

Procedimiento:

- Se tomó una muestra de 50 gramos, se combinó con el agua destilada y se moldeó en forma de elipsoide de 1 cm³.
- A continuación, se rodó con los dedos de la mano sobre una superficie lisa del vidrio grueso esmerilado, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Continuó reduciendo el diámetro del cilindro hasta el punto de que se comenzó a desmoronar, entonces se reunieron unos 6 gramos de muestra húmeda.
- Se colocó en un recipiente de peso conocido la muestra húmeda y se procedió a pesar en la balanza.
- Para concluir, se colocó la muestra de suelo húmedo al horno de secado durante 24 horas y se pesó en la balanza.

c) Contenido de humedad

Equipos:

- Balanza con sensibilidad de 0.1 gramos.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Materiales:

- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión.
- Utensilios para manipulación de recipientes como: guantes, espátulas, tenazas, o un sujetador para mover y manipular los recipientes calientes.

Procedimiento:

- Se tomó una muestra no menor a 500 gramos, el cual se procedió a pesar, de lo cual se halló el peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente.
- Seguidamente, se llevó la muestra húmeda a un horno de secado para secarlo durante 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Pasada las 24 horas, se procedió a pesar el recipiente con la muestra seca (peso del recipiente + muestra seca)
- Seguidamente, se determinó la cantidad de agua evaporada y la muestra seca.
- Al final, se reemplazaron los datos en la siguiente formula, para obtener el contenido de humedad de las muestras:



$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

- W = contenido de humedad, expresado en %
- M_{CWS} = peso del contenedor más el suelo húmedo, en gr
- M_{CS} = peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gr
- M_C = peso del contenedor, en gr

d) Clasificación de suelos

El sistema AASHTO estableció un procedimiento para clasificar suelos en grupos, como se puede visualizar en la tabla 8. La evaluación de cada grupo se realizó mediante un "índice de grupo" y siguiendo las condiciones establecidas:

- Si pasó menos del 35 % por el tamiz ASTM #200, fue considerado un material granular.
- Si pasó más del 35 % por el tamiz ASTM #200, fue considerado un material limo – arcilloso.

La designación del índice de grupo se hizo de acuerdo al valor obtenido aplicando la siguiente formula:

$$IG = (F\ 200 - 35)[0.2 + 0.005 (L - 40)] + 0.01 (F\ 200 - 15)(I - 10) \quad (4)$$

Donde:

- $F\ 200$ = porcentaje que pasa la malla # 200
- L = limite liquido
- I = índice de plasticidad

El Índice de Grupo (IG) es un valor entero positivo, que puede estar comprendido entre 0 y 20 o más. Si el valor es negativo, se asigna un valor de cero. Este valor obtenido determina la calidad de la subrasante: un IG mayor a 9 indica un suelo de subrasante muy pobre, un IG entre 4 y 9 señala un suelo de subrasante pobre, un IG entre 2 y 4 sugiere un suelo de subrasante regular, un IG entre 1 y 2 indica un suelo de subrasante bueno, y un IG entre 0 y 1 denota un suelo de subrasante muy bueno (MTC, 2016).

El sistema SUCS utilizó la textura y el tamaño de las partículas de un suelo para asignar términos descriptivos con dos letras. La primera y/o segunda letra corresponde a G, S, M, C y O, mientras que la segunda letra vendría a ser P, W, H o L. La clasificación se realizó siguiendo ciertos criterios, que se presentaron en la tabla 9, y las siguientes fórmulas:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4; \quad 1 < C_c < 3 \quad (5)$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6; \quad 1 < C_c < 3 \quad (6)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} \times D_{60})} \quad (7)$$

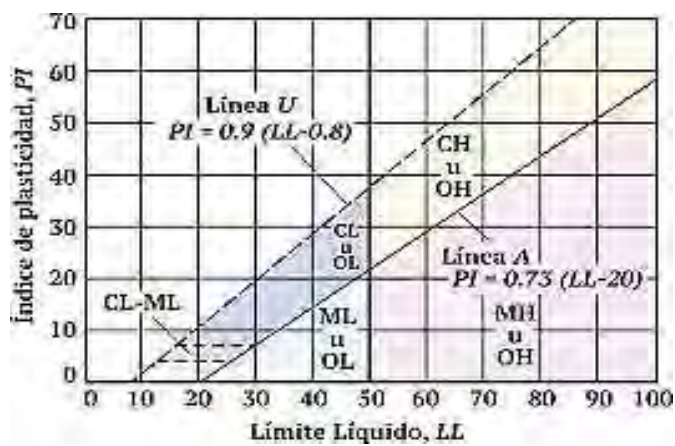
Donde:

- C_u = coeficiente de uniformidad
- C_c = coeficiente de curvatura
- D_{60} = diámetro cuando el porcentaje que pasa es 60 %
- D_{10} = diámetro cuando el porcentaje que pasa es 10 %
- D_{30} = diámetro cuando el porcentaje que pasa es 30 %

Tabla 8 — Clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Suelos granulosos 35 % máx. que pasa por tamiz de 0.08 mm							Suelos finos más de 35 % pasa por el tamiz de 0.08 mm				
Grupo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
Sub grupo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
% que pasa por el tamiz de 2 mm	máx. 50											
0.5 mm	máx. 30	máx. 50	mín. 50									
0.08 mm	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
límite de líquido				máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40
índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10 IP<L L-30	mín. 10 IP<L L-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	piedras, gravas y arena		arena fina	gravas y arenas limosas o arcillosas				suelos limosos		suelos arcillosos		
Calidad del suelo como subrasante	de excelente a bueno					de pasable a malo						
FUENTE: MTC, 2016												

Tabla 9 — Clasificación de suelos según SUCS

Divisiones Principales			Símb.	Nombre del grupo	Criterio de clasificación		
SUELOS DE GRANO GRUESO (> 50 % retenido en tamiz N° 200)	GRAVAS (> 50 % retenido en tamiz N° 4)	Gravas limpias (< 5 % de finos)	GW	Grava bien graduada	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 4 ∧ Cc = (D ₃₀) ² /D ₁₀ x D ₆₀ ∧ 1 < Cc < 3		
			GP	Grava mal graduada	No cumplen con las especificaciones para GW		
		Gravas con finos (> 12 % de finos)	GM	Grava limosa	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4	Encima de la línea A con IP entre 4 y 7 son casos que requieren doble símbolo	
			GC	Grava arcillosa	Límites de Atterberg sobre de la línea A o IP > 7		
	ARENAS (50 % pasa el tamiz N° 4)	Arenas limpias (< 5 % de finos)	SW	Arena bien graduada	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 6 ∧ Cc = (D ₃₀) ² /D ₁₀ x D ₆₀ ∧ 1 < Cc < 3		
			SP	Arena mal graduada	No cumplen con las especificaciones para SW		
		Arenas con fino (> 12 % de finos)	SM	Arena limosa	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4	Ubicados en la zona rayada con 4 IP entre 4 y 7.	
			SC	Arena arcillosa	Límites de Atterberg sobre la línea A o IP > 7		
Determinar el porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz N° 200), 4 al 12 % son casos limite que requieren usar doble símbolo							
SUELOS DE GRANO FINO (> 50 % pasa por tamiz N° 200)	LIMOS Y ARCILLAS LL < 50 %		ML	Limo	IP< 4 o cae bajo la línea A		
			CL	Arcilla de baja plasticidad	IP >7 y cae en o sobre la línea A		
			OL	Arcilla o limo orgánico	L.L (secado al horno) / L.L (sin secado al horno) < 0.75		
	LIMOS Y ARCILLAS LL ≥ 50 %		MH	Limo elástico	IP cae bajo de la línea A		
			CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad	IP cae en o sobre la línea A		
			OH	Arcilla orgánica de plasticidad media a elevada o limo orgánico	L.L (secado al horno) / L.L (sin secado al horno) < 0.75		
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico	Patrón principal de identificación: color oscuro a negro, color orgánico, textura fibrosa a amorfa. No aplican ensayos		
	FUENTE: MTC, 2016						

e) Proctor Modificado

Equipos:

- Moldes cilíndricos cilindro metálico de 4“de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ de altura y de 4 “de diámetro interior.
- Pisón operado manualmente de 45 cm de caída y 4.54 kg de peso.
- Extractor de muestras - gata hidráulica.
- Balanza con sensibilidad de 1.0 gramos.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Materiales:

- Una regla recta metálica, rígida de una longitud 10 pulgadas.
- Tamices.
- Herramientas de mezcla: Cucharas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.
- Recipientes metálicos.

Procedimiento:

- Primeramente, se ensambló y se aseguró el molde y el collar al plato base. El molde se apoyó sobre un cimiento uniforme y rígido. Se determinó la masa del molde y el plato de base, usando la balanza.
- Se compactó el espécimen en cinco capas del mismo espesor. Antes de la compactación, se colocó el suelo suelto dentro del molde y se extendió en una capa de espesor uniforme. Se compactó cada capa con 56 golpes utilizando el pisón para apisonar.
- Después de la compactación de la última capa, se removió el collar y plato base del molde.
- Cuidadosamente se enrasó el espécimen compactado, por medio de una regla recta para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde.
- Se registró la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se dejó unido el plato base al molde.
- Se utilizó el extractor de muestras o gata hidráulica y se comenzó a remover el material.

- Se removió el material del molde y se obtuvo un espécimen para determinar el contenido de agua, se colocó durante 24 horas en el horno de secado, pasado el tiempo se pesó en la balanza.

f) California Bearing Ratio (CBR)

Equipos:

- Moldes cilíndricos cilindro metálico de 4“de diámetro interior por 4 ½ de altura y una extensión de 2 ½ de altura y de 4 “de diámetro interior.
- Pisón operado manualmente de 45 cm de caída y 4.54 kg de peso.
- Extractor de muestras - gata hidráulica
- Balanza con sensibilidad de 1.0 gramos.
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Disco espaciador, de metal, de forma circular.
- Aparato medidor de expansión.
- Uno o dos pesas anulares de metal.

Materiales:

- Una regla recta metálica, rígida de una longitud 10 pulgadas.
- Tamices.
- Herramientas de mezcla: Cucharas, mezclador, paleta, espátula.
- Recipientes metálicos.
- Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

Procedimiento:

- Primeramente, se pesó el molde con su base, se colocó el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro. Una vez preparado el molde, se compactó el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación.
- La prueba se efectuó, en 3 moldes cada uno con cinco capas de 55, 26 y 12 golpes y con contenido de agua correspondiente a la óptima.
- Terminada la compactación, se quitó el collar y se enrasó el espécimen.
- Se desmontó el molde y se volvió a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base, y este se pesó utilizando la balanza.

- Enseguida se tomó nota de la expansión inicial. Se sumergieron los moldes en el tanque de agua con la sobrecarga colocada, dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantuvo la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días), pasadas las 24 horas se volvió a tomar la medición de la expansión.
- Después del periodo de inmersión se sacó el molde del tanque y se vertió el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se dejó escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y, a continuación, se retiró la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesó y se procedió al ensayo de penetración.
- Para finalizar, se desmontó el molde y se tomó de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad, se colocó durante 24 horas en el horno de secado, pasado el tiempo se pesó en la balanza.

4.6 Técnica e instrumentos

4.6.1 Técnica de recolección de datos

Esta investigación tuvo una técnica de muestreo no probabilístico, muestreo por juicio, lo cual permitió recopilar datos numéricos representativos que luego fueron analizados estadísticamente. Esta investigación, se centró en la estabilización de suelos con relaves de flotación de cobre, las técnicas estuvieron orientadas a medir dos variables clave: relaves de flotación de cobre (variable independiente) y estabilización de suelos (variable dependiente).

4.6.2 Instrumentos de recolección de datos

Según Arias (2012), un instrumento de recolección de datos es cualquier herramienta, ya sea en formato papel o digital, utilizada para obtener, registrar o almacenar información relevante para la investigación. Los instrumentos de recolección de datos en esta investigación se seleccionaron de acuerdo con los objetivos y se mencionaron líneas arriba en cada ensayo de laboratorio realizado, los cuales estuvieron dirigidos a evaluar el impacto de relaves de flotación de cobre en la estabilización de los suelos para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado en la ruta AP-917.



4.7 Análisis estadístico

4.7.1 Identificación y selección de la prueba estadística

El análisis estadístico empleó técnicas descriptivas e inferenciales para verificar la hipótesis planteada en la investigación. La estadística descriptiva se utiliza para organizar, analizar e interpretar los datos de manera visual y comprensible.

En cuanto al análisis inferencial, se seleccionó la prueba t de Student para comparar las medias de dos grupos de suelos: uno con la incorporación de relaves de flotación de cobre y otro sin ella. Esta prueba es adecuada cuando se desea comparar dos grupos independientes, en este caso, suelos tratados y no tratados con relaves de flotación de cobre, para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa en la capacidad de soporte.

4.7.2 Criterios de selección de la prueba estadística

La selección de la prueba t de Student se basó en los siguientes criterios:

- Tipo de datos: Los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio fueron numéricos y continuos, lo que hizo adecuado el uso de pruebas paramétricas.
- Comparación de dos grupos: Se requirió comparar dos grupos de suelos (con y sin relaves de flotación de cobre) para determinar el impacto de los relaves de flotación de cobre en la capacidad de soporte del suelo.
- Distribución normal: Se asumió que los datos siguieron una distribución normal, lo cual es una condición necesaria para la aplicación de la prueba t de Student.

4.7.3 Herramientas estadísticas utilizadas

El software Microsoft Excel se utilizó para el análisis descriptivo, con el cual se generaron tablas, figuras y gráficos para representar de manera clara los valores numéricos y porcentuales obtenidos en los ensayos de laboratorio, como el índice de capacidad de soporte CBR, la expansión y otros parámetros geotécnicos del suelo. Por otro lado, el software IBM SPSS Statistics 25 fue utilizado para realizar la prueba t de Student, que permitió verificar la hipótesis de la investigación y validarla mediante la comparación de los grupos de suelos tratados y no tratados con relaves de flotación de cobre. Si los resultados obtenidos mostraron una diferencia significativa (valor de $p < 0.05$), se rechazó la hipótesis nula, apoyando la hipótesis alternativa de que la incorporación de relaves de flotación de cobre mejora la capacidad de soporte del suelo.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

A continuación, se desarrolló el análisis de los resultados relativos a la estabilización de suelos mediante la incorporación de relaves de flotación de cobre, con el objetivo de mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (tramo km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac – 2023, obtenidos en campo, laboratorio y en gabinete, conforme a los protocolos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, las Normas Técnicas Peruanas y otras normativas aplicables. Los resultados de los ensayos que se realizaron en el laboratorio se encuentran en el Anexo F.

5.1.1 Características de los suelos y del relave de flotación de cobre

5.1.1.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

a) Suelo natural

Tabla 10 — Resultados de % de finos, % de arenas y % gravas de SN

Análisis granulométrico por tamizado - suelo natural				
Muestra	Profundidad (m)	% finos	% arenas	% gravas
C-01	1.50 m	70.26 %	27.64 %	2.11 %
C-02	1.50 m	25.16 %	70.03 %	4.81 %
C-03	1.50 m	2.85 %	89.70 %	7.45 %
C-04	1.50 m	18.72 %	69.23 %	12.05 %
C-05	1.50 m	4.40 %	88.21 %	7.39 %
C-06	1.50 m	56.82 %	43.14 %	0.03 %
C-07	1.50 m	89.51 %	9.29 %	1.19 %
C-08	1.50 m	19.78 %	68.12 %	12.10 %
C-09	1.50 m	18.51 %	65.05 %	16.45 %

En el análisis de la tabla 10, se presentó el resultado de un análisis granulométrico realizado sobre muestras de suelo natural extraídas de diferentes puntos a lo largo de la ruta AP-917 (km 10+500 – km

18+000), en la provincia de Cotabambas, Apurímac. Los datos incluyeron la distribución porcentual de finos, arenas y gravas en cada muestra de suelo.

- **Variedad en la granularidad del suelo**

El análisis también muestra una importante diversidad en la composición granulométrica, lo que resaltó la heterogeneidad del terreno a lo largo de la ruta. Algunas muestras, como C-07, presentaron un 89.51 % de finos, lo que pudo indicar una alta plasticidad y cohesión, mientras que otras muestras, como C-02, presentaron una mayor proporción de arenas (70.03 %) y gravas (4.81 %), lo que sugirió una mayor capacidad de drenaje, pero quizás con una menor estabilidad en su estado natural sin algún tratamiento adicional.

- **Relevancia para la estabilización de suelos**

La estabilización de estos suelos con relaves de flotación de cobre, como propuso el estudio, fue crucial para mejorar sus características físicas y mecánicas. La incorporación de relaves de flotación de cobre pudo mejorar la resistencia a la compresión, disminuir la plasticidad de los suelos más finos y aumentar la cohesión de aquellos con una alta concentración de gravas y arenas.



Figura 5 — Ensayo análisis granulométrico de suelos por tamizado

b) Relaves de flotación de cobre

Tabla 11 — Resultados % de finos, % de arenas y % gravas de RFC

Análisis granulométrico por tamizado – relaves de flotación de cobre			
Muestra	% finos	% arenas	% gravas
RFC	17.24 %	82.76 %	NP

En la tabla 11, los datos muestran la distribución porcentual de finos, arenas y gravas de los RFC, lo cual fue crucial para entender cómo este material pudo influir en la estabilización de los suelos de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000) en la provincia de Cotabambas, Apurímac.

- **Análisis de las características granulométricas de los RFC**

Los RFC mostraron un 17.24 % de finos, lo que sugirió que el material tuvo una alta concentración de partículas gruesas, principalmente arenas, lo cual fue una característica favorable para la estabilización de suelos. Los RFC presentaron un 82.76 % de arenas, estos valores indicaron que los RFC fueron predominantemente de grano grueso, con una cantidad casi nula de gravas (NP), lo que reforzó su capacidad de modificar la granularidad del suelo cuando se incorporaron en el proceso de estabilización.

- **Comparación con las muestras de suelo natural**

Al comparar estos resultados con los del análisis granulométrico de los suelos naturales, se observó que los RFC tuvieron una proporción considerablemente mayor de arenas y una menor cantidad de finos. Esto fue relevante, ya que los suelos naturales de la ruta AP-917, presentaron suelos con una alta concentración de finos (como la muestra C-07, con un 89.51 % de finos). Al incorporar RFC en estos suelos, se esperó que la alta proporción de arenas favoreciera las propiedades de drenaje y estabilización de los suelos, al mismo tiempo que pudo reducir la plasticidad de los suelos con un exceso de finos, como los presentes en la muestra C-01.



Figura 6 — Ensayo de granulometría por tamizado de RFC

5.1.1.2 Contenido de humedad

a) Suelo natural

Tabla 12 — Resultados del contenido de humedad del suelo natural

% humedad del suelo natural									
# C	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07	C-08	C-09
W %	16.40	9.40	3.70	6.00	4.10	24.60	26.20	6.00	6.70

En la tabla 12 se presentaron los resultados del contenido de humedad de las muestras de suelo natural, extraídas a 1.50 metros de profundidad a lo largo de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), en la provincia de Cotabambas, Apurímac.

- **Importancia del contenido de humedad en la estabilización del suelo**

El contenido de humedad en los suelos naturales fue un factor crucial para evaluar la necesidad de estabilización. Los suelos con altos contenidos de humedad, como los representados en las muestras C-06 y C-07, pudieron ser problemáticos para la estabilización debido a la mayor plasticidad y la susceptibilidad a cambios volumétricos por variaciones en la humedad. En estos casos, la incorporación de relaves de flotación de cobre pudo ser útil para reducir la plasticidad del suelo y mejorar su capacidad de soporte, al aumentar la cantidad de partículas gruesas (arenas) y mejorar la estructura del suelo.

En contraste, los suelos con bajo contenido de humedad, como las muestras C-03 y C-05, ya presentaron una mayor estabilidad natural, pero pudieron beneficiarse de los relaves de flotación de cobre para aumentar su capacidad de soporte y resistencia a largo plazo, especialmente en condiciones de tráfico pesado o en climas más lluviosos. Los relaves de flotación de cobre, con su alta proporción de arenas y baja cantidad de finos, pudieron mejorar aún más la estructura del suelo y proporcionar una base más firme para el afirmado.

b) Relaves de flotación de cobre

Tabla 13 — Resultados del contenido de humedad de RFC

Muestra	W %
RFC	4.80 %



Figura 7 — Proceso de secado de las muestras en horno temperatura 110 °C

Los valores de humedad se expresaron en porcentaje (% W) (tabla 13), y este análisis fue fundamental para evaluar cómo los relaves de flotación de cobre pudieron influir en el proceso de estabilización de los suelos a lo largo de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000).

- **Relevancia del contenido de humedad de RFC en la estabilización de suelos**

El bajo contenido de humedad en la muestra sugirió que los relaves de flotación de cobre pudieron contribuir favorablemente al

proceso de estabilización. En su forma natural, los RFC tuvo una humedad controlada, lo que implicó que su uso en la estabilización de suelos pudo no generar efectos adversos relacionados con la variabilidad de la humedad. Esto fue relevante, ya que los suelos de la ruta AP-917 presentaron una considerable diversidad en sus contenidos de humedad (según los resultados de la tabla 12), por lo que los relaves de flotación de cobre, al tener una humedad moderada, pudieron ayudar a equilibrar las propiedades del suelo, mejorando la cohesión sin introducir excesos de agua que pudieran alterar la resistencia de los suelos estabilizados.

5.1.1.3 Límites de Atterberg

a) Suelo natural

Tabla 14 — Resultados de LL, LP y IP del suelo natural

Límites de Atterberg				
Muestra	Profundidad	LL %	LP %	IP %
C-01	1.50 m	24.57	19.52	5.05
C-02	1.50 m	NP	NP	NP
C-03	1.50 m	NP	NP	NP
C-04	1.50 m	38.42	28.54	9.88
C-05	1.50 m	NP	NP	NP
C-06	1.50 m	30.00	27.51	2.49
C-07	1.50 m	38.53	27.74	10.79
C-08	1.50 m	40.35	28.43	11.92
C-09	1.50 m	39.06	31.10	7.96

• Análisis de los límites de Atterberg

En la tabla 14, se observaron valores de LL, LP e IP para varias muestras de suelo. Por ejemplo, la muestra C-01 presentó un límite líquido (LL) de 24.57 %, un límite plástico (LP) de 19.52 %, y un índice de plasticidad (IP) de 5.05 %. Estos valores sugirieron que el suelo de esta muestra tuvo una plasticidad baja, lo que indicó que fue un suelo relativamente estable con poca capacidad para deformarse con cambios de humedad. En comparación, la muestra C-04 tuvo un LL de 38.42 %, un LP de 28.54 % y un IP de 9.88 %, lo que indicó una mayor plasticidad y, por lo tanto, una mayor

susceptibilidad a la deformación y cambios volumétricos bajo condiciones de humedad variable.

- **Implicaciones para la estabilización del suelo**

Los suelos con un índice de plasticidad alto, como C-07 y C-08, pudieron ser problemáticos para proyectos de estabilización de caminos, ya que fueron más susceptibles a los cambios volumétricos debido a la variación de la humedad. La estabilización de estos suelos con relaves de flotación de cobre pudo ser especialmente beneficiosa, ya que el relave, al ser un material con características más estables y menos susceptibles a la humedad, pudo ayudar a reducir la plasticidad del suelo. Por otro lado, los suelos con bajo índice de plasticidad, como C-06, presentaron una mayor estabilidad en términos de deformación con cambios de humedad, pero pudieron beneficiarse de la incorporación de relaves de flotación de cobre para mejorar su capacidad de soporte y resistencia al desgaste, especialmente si se consideraron las condiciones de tráfico pesado en la ruta AP-917.



Figura 8 — Ensayo en laboratorio de los límites de Atterberg

5.1.1.4 Sistema de clasificación de suelos AASHTO y SUCS

a) Suelo natural

Tabla 15 — Resultados de la clasificación de suelos AASHTO y SUCS

Clasificación de los suelos					
Muestra	AASHTO			SUCS	
C-01	A-4	2	suelo limoso	ML	limo baja plasticidad con arena
C-02	A-1-b	0	fragmento de roca, grava y arena	SM	arena limosa
C-03	A-1-b	0	fragmento de roca, grava y arena	SW	arena bien graduada
C-04	A-1-b	0	fragmento de roca, grava y arena	SM	arena limosa con grava
C-05	A-1-b	0	fragmento de roca, grava y arena	SW	arena bien graduada
C-06	A-4	0	suelo limoso	ML	limo baja plasticidad con arena
C-07	A-5	11	suelo limoso	ML	limo baja plasticidad
C-08	A-1-b	0	fragmento de roca, grava y arena	SM	arena limosa con grava
C-09	A-1-b	1	fragmento de roca, grava y arena	SM	arena limosa con grava

• Impacto en la estabilización de suelos

Los suelos clasificados como A-1-b (C-02, C-03, C-04, C-05, C-08 y C-09) tuvieron características favorables para el uso en la construcción de afirmados, ya que su buena capacidad de drenaje y alta resistencia a la compresión los hicieron ideales para la estabilización y la construcción de un afirmado de calidad. Estos suelos pudieron beneficiarse de la incorporación de relaves de flotación de cobre para mejorar aún más su estabilidad y resistencia, especialmente en áreas con tráfico pesado.

En contraste, los suelos clasificados como A-4 y A-5 (C-01, C-06 y C-07) presentaron desafíos debido a su mayor contenido de finos, lo que pudo causar problemas de plasticidad y deformación bajo condiciones de humedad variable. La incorporación de relaves de flotación de cobre en estos suelos pudo ser crucial para mejorar su cohesión, reducir su plasticidad y aumentar su resistencia al

desgaste, lo que resultó en un mejor desempeño del afirmado de la ruta AP-917.

b) Relaves de flotación de cobre

Tabla 16 — Resultados de la clasificación del tipo de suelo de los relaves de flotación de cobre

Clasificación de los suelos					
Muestra	AASHTO			SUCS	
RFC	A-2-4	0	Arena limosa	SM	arena limosa

• **Análisis de la clasificación AASHTO**

En la clasificación AASHTO, tabla 16, los relaves de flotación de cobre RFC se clasificaron como A-2-4, lo que indicó que fue un suelo de baja plasticidad con una buena capacidad de drenaje, formado principalmente por arena limosa. Este tipo de clasificación fue generalmente adecuado para la estabilización de suelos en proyectos de infraestructura vial, ya que tuvo una buena capacidad para resistir la compresión y los cambios volumétricos, lo que fue importante para la resistencia y la durabilidad del afirmado.

• **Análisis de la clasificación SUCS**

En el sistema SUCS, los relaves de flotación de cobre RFC se clasificaron como SM, lo que indicó que fue una arena limosa. Las arenas limosas tuvieron una baja plasticidad, lo que mejoró la cohesión y la estabilidad del suelo cuando se utilizó para la estabilización de afirmados. Esta clasificación indicó que RFC tuvo buenas propiedades para mejorar el comportamiento de los suelos con mayor contenido de finos, ya que proporcionó una mejor resistencia y cohesión al incorporar partículas gruesas.

• **Impacto en la estabilización de suelos**

Las clasificaciones de los relaves de flotación de cobre muestran que tuvieron un buen potencial para la estabilización de suelos que pudieron influir en su aplicación en la ruta AP-917. Los relaves de flotación (RFC), con su clasificación A-2-4 y SM, fueron un material más adecuado para la mejora de suelos con mayor

contenido de finos, proporcionando una estructura más estable y duradera para el afirmado.

5.1.1.5 Compactación de suelos – Proctor Modificado

a) Suelo natural

Tabla 17 — Resultados del ensayo de compactación del suelo natural

Ensayo de compactación - Proctor modificado		
Muestra	Densidad seca máxima (g/cm ³)	Contenido óptimo de agua (%)
C-01	1.961	12.590
C-02	1.967	10.570
C-03	1.978	12.560
C-04	2.107	6.380
C-05	2.021	10.450
C-06	1.591	22.190
C-07	1.689	17.740
C-08	2.090	7.020
C-09	2.073	7.880



Figura 9 — Ensayo de proctor modificado de las muestras de suelo

- **Análisis de la densidad seca máxima y contenido óptimo de agua**

En la tabla 17, los resultados indicaron una variabilidad en la densidad seca máxima y el contenido óptimo de agua entre las muestras de suelo. La muestra C-04 tuvo la mayor densidad seca

máxima (2.107 g/cm^3) y el contenido óptimo de agua más bajo (6.38 %), lo que indicó que este suelo tuvo una excelente capacidad para ser compactado a alta densidad y una baja retención de agua. Esto lo hizo ideal para la estabilización y construcción del afirmado de la carretera AP-917, ya que ofreció una gran resistencia y menor deformación a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la muestra C-06 presentó la menor densidad seca máxima (1.591 g/cm^3) y el contenido óptimo de agua más alto (22.19 %). Esto sugirió que este suelo tuvo una capacidad de compactación baja y necesitó un mayor contenido de agua para alcanzar su máxima densidad, lo que pudo afectar negativamente su desempeño en términos de resistencia y estabilidad, especialmente si se usó directamente en la construcción del afirmado.

5.1.1.6 CBR de los suelos

El ensayo de CBR se realizó sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad. Este ensayo se realizó en cumplimiento de la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC E 132.



Figura 10 — Ensayo de C.B.R. de las muestras de suelo natural más la incorporación de RFC en un 5 %, 15 % y 25 %.

a) Calicata 01

Tabla 18 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-01

Calicata - 01	
Muestra C-01	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	13.04
95 % SN + 5 % RFC	7.70
85 % SN + 15 % RFC	5.10
75 % SN + 25 % RFC	3.80

- **Análisis de los resultados de C.B.R.**

El C.B.R. es un ensayo que mide la capacidad de un suelo o mezcla para soportar cargas comparado con un suelo estándar de referencia, en este caso, a un 95 % de la máxima densidad seca (M.D.S.). Según los resultados de la tabla 18, el suelo natural (C-01) presentó un C.B.R. de 13.04 %, lo que indicaba una capacidad de soporte relativamente buena para ser utilizado en la construcción del afirmado de la ruta. Este valor fue considerado un buen indicador de la estabilidad y resistencia del suelo en su estado natural.

Cuando se incorporaron relaves de flotación de cobre en distintas proporciones, el C.B.R. disminuyó significativamente. Al agregar un 5 % de relaves de flotación de cobre a la muestra de suelo natural (95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre), el C.B.R. decreció a 7.70 %. Con un 15 % de relaves de flotación de cobre (85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre), el C.B.R. bajó aún más a 5.10 %. Por último, cuando la proporción de relaves de flotación de cobre alcanzó el 25 % (75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre), el C.B.R. descendió a 3.80 %. Estos resultados mostraron que la adición de relaves de flotación de cobre redujo progresivamente la capacidad de soporte del suelo, lo que sugirió que el aumento de relaves de flotación de cobre en la mezcla afectaba negativamente la resistencia y estabilidad del material.

- **Impacto de los RFC en la resistencia y la durabilidad del suelo**

Los resultados indicaron que la incorporación de relaves de flotación de cobre en el suelo natural tuvo un efecto negativo en la capacidad de soporte del material, lo que podía afectar su idoneidad para ser utilizado en el afirmado de la carretera sin un tratamiento adicional. Aunque el suelo natural obtuvo un C.B.R. aceptable para la construcción, la mezcla con relaves de flotación de cobre, incluso en bajas proporciones (5 %), redujo significativamente el valor de C.B.R., lo que sugirió que los relaves de flotación de cobre pudieron haber estado afectando la cohesión y resistencia del suelo.

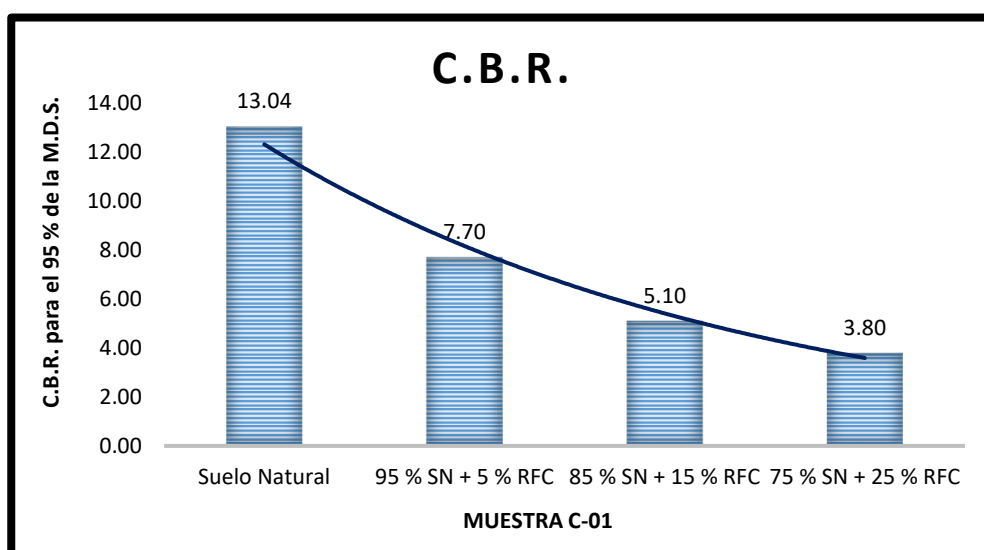


Figura 11 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-01

Tabla 19 — Expansión (%) de la C-01

Calicata - 01	
Muestra C-01	Expansión %
suelo natural	1.13
95 % SN + 5 % RFC	2.10
85 % SN + 15 % RFC	3.16
75 % SN + 25 % RFC	4.19

- **Análisis de los resultados de expansión**

La tabla 19 mostró que el suelo natural (C-01) tuvo una expansión de 1.13 %, lo que indicó una baja capacidad de expansión cuando se veía afectado por cambios de humedad. Este valor fue relativamente bajo, lo que sugirió que el suelo en su estado natural poseyó una buena estabilidad dimensional y fue menos propenso a

sufrir deformaciones volumétricas significativas bajo condiciones de humedad variable, lo que resultó beneficioso para la construcción del afirmado de la ruta AP-917.

Sin embargo, cuando se incorporaron relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones, la expansión del suelo aumentó significativamente. En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión se elevó a 2.10 %. A medida que la proporción de relaves de flotación de cobre incrementó, la expansión también lo hizo: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión alcanzó 3.16 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión llegó a 4.19 %. Estos incrementos indicaron que la incorporación de relaves de flotación de cobre en el suelo natural provocó una mayor expansión volumétrica a medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentaba.

- **Impacto de la expansión en la estabilización de suelos**

La expansión del suelo es un factor crítico, ya que una alta expansión puede generar problemas de estabilidad y durabilidad del afirmado de la carretera, especialmente bajo condiciones climáticas de humedad variable. Los resultados sugirieron que, aunque el suelo natural tuvo una expansión controlada y relativamente baja, la adición de relaves de flotación de cobre tendió a aumentar la expansión del material. Esto pudo haber sido un problema si se buscaba una base de afirmado con una mínima deformación volumétrica, ya que las expansiones elevadas pudieron llevar a la formación de grietas, baches y otras deformaciones en la superficie de la carretera a medida que las condiciones de humedad cambiaban.

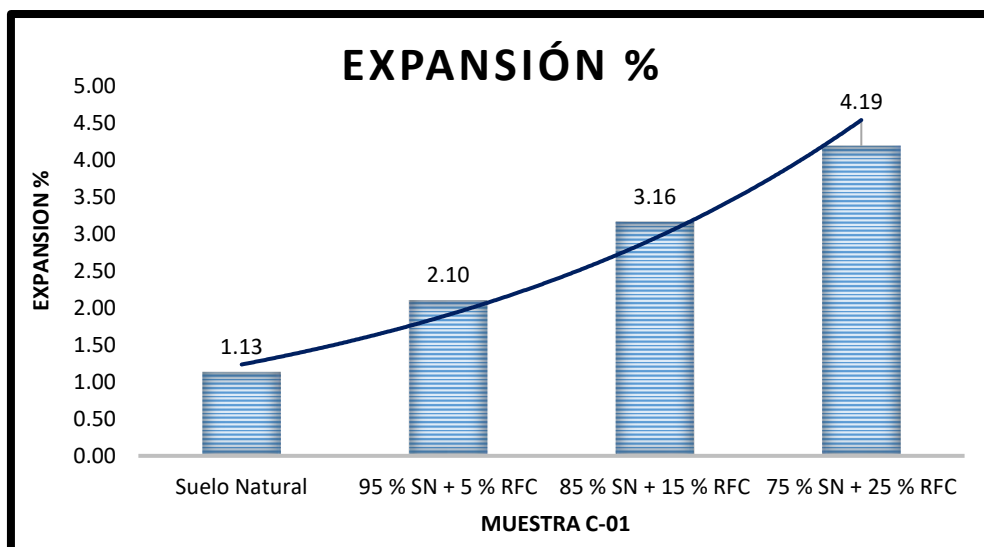


Figura 12 — Expansión (%) de la C-01

b) Calicata 02

Tabla 20 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-02

Calicata - 02	
Muestra C-02	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	10.60
95 % SN + 5 % RFC	20.30
85 % SN + 15 % RFC	15.20
75 % SN + 25 % RFC	10.10

• **Análisis de los resultados de C.B.R.**

Según los resultados, tabla 20, el C.B.R. del suelo natural en la muestra C-02 fue de 10.60 %, lo que indicó una capacidad de soporte moderada para el material en su estado natural. Este valor sugirió que el suelo tuvo un desempeño adecuado para ser utilizado en la construcción de afirmados, pero pudo haberse beneficiado de una estabilización para mejorar su resistencia.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. se elevó a 20.30 %, lo que indicó una mejora significativa en la capacidad de soporte. Esto sugirió que la pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre mejoró considerablemente las propiedades mecánicas del suelo, posiblemente al aumentar su cohesión y resistencia a la compresión. Sin embargo, a medida que aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre, el C.B.R. comenzó a disminuir: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de

flotación de cobre, el C.B.R. bajó a 15.20 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. descendió aún más a 10.10 %, acercándose al valor del suelo natural.

- **Impacto de los RFC en la resistencia y la durabilidad del suelo**

Los resultados sugirieron que una pequeña adición de relaves de flotación de cobre (5 %) mejoró significativamente la capacidad de soporte del suelo, lo que pudo ser beneficioso para la estabilización y la mejora de la resistencia y la durabilidad del afirmado. Sin embargo, a medida que la cantidad de relaves de flotación de cobre aumentó, la capacidad de soporte disminuyó, lo que pudo implicar que altas proporciones de relaves de flotación de cobre no fueron tan efectivas como un estabilizante en términos de resistencia. Este fenómeno pudo haber estado relacionado con las características específicas de los relaves de flotación de cobre, como su densidad y la forma en que interactuó con los componentes del suelo.

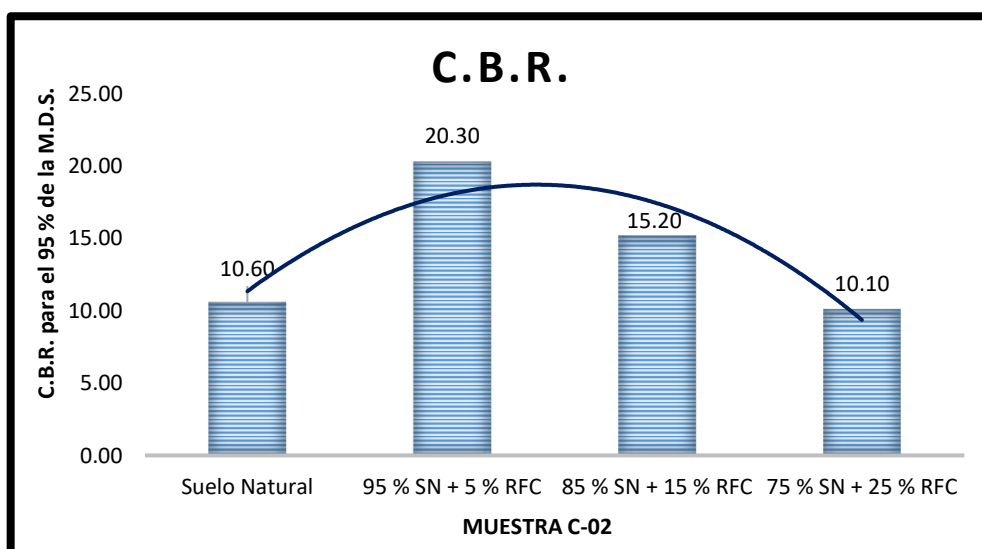


Figura 13 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-02

Tabla 21 — Expansión (%) de la C-02

Calicata - 02	
Muestra C-02	Expansión %
suelo natural	1.09
95 % SN + 5 % RFC	0.88
85 % SN + 15 % RFC	1.07
75 % SN + 25 % RFC	1.17

- **Análisis de los resultados de expansión**

El suelo natural (C-02), en la tabla 21, tuvo una expansión de 1.09 %, lo que indicó una expansión moderada cuando se sometió a cambios de humedad. Este valor fue relativamente bajo, lo que sugirió que el suelo en su estado natural poseyó una buena estabilidad volumétrica y fue adecuado para su uso en la construcción de la base de afirmado de la carretera, siempre que se controlara el contenido de agua y las condiciones de humedad.

Al agregar relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones, los resultados mostraron que la expansión varió ligeramente. En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión se redujo a 0.88 %. Esto indicó que la incorporación de relaves de flotación de cobre redujo ligeramente la expansión del suelo, lo que pudo mejorar la estabilidad del material frente a cambios de humedad. En la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión aumentó a 1.07 %, mientras que en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión alcanzó 1.17 %.

- **Impacto de la expansión en la estabilización de suelos**

La reducción en la expansión observada en la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre fue un aspecto positivo, ya que una menor expansión indicó una mayor estabilidad del material bajo condiciones de humedad variable. Sin embargo, a medida que la cantidad de relaves de flotación de cobre aumentó en la mezcla, la expansión también lo hizo, lo que pudo indicar que mayores proporciones de relaves de flotación de cobre pudieron hacer que el material fuera más susceptible a la expansión. Este efecto pudo ser problemático en la construcción de afirmados, ya que la expansión excesiva pudo generar grietas y deformaciones en la superficie de la carretera, afectando su durabilidad y desempeño a largo plazo.

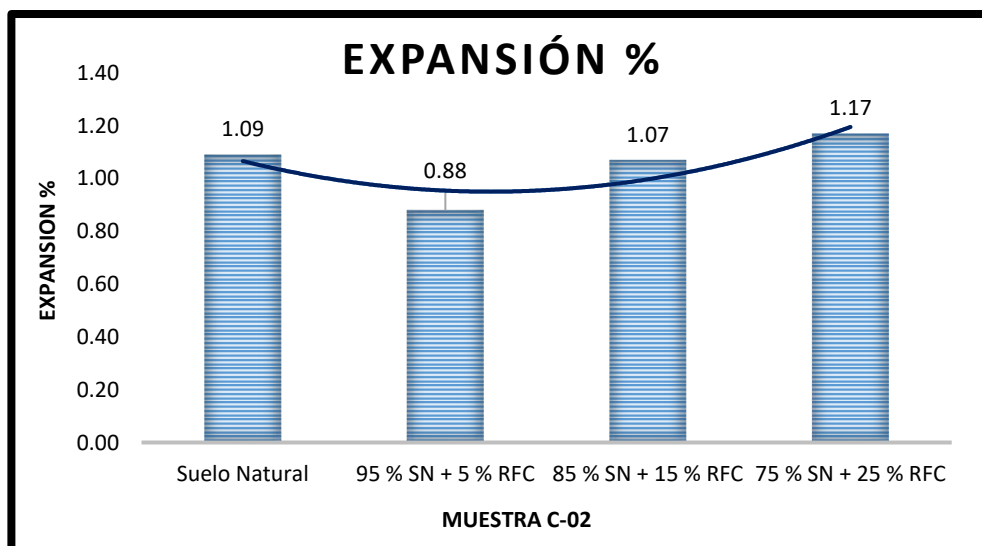


Figura 14 — Expansión (%) de la C-02

c) Calicata 03

Tabla 22 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-03

Calicata - 03	
Muestra C-03	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	20.50
95 % SN + 5 % RFC	27.60
85 % SN + 15 % RFC	22.10
75 % SN + 25 % RFC	14.80

• Análisis de los resultados de C.B.R.

El C.B.R. del suelo natural (C-03), en la tabla 22, fue de 20.50 %, lo que indicó una capacidad de soporte moderadamente buena para el material en su estado natural. Este valor sugirió que el suelo en su estado original tuvo un desempeño adecuado para ser utilizado en la construcción de afirmados, aunque se pudo haber mejorado su resistencia mediante estabilización.

Cuando se incorporaron relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones, los resultados mostraron una mejora inicial en el C.B.R. en la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, donde el C.B.R. se elevó a 27.60 %. Este aumento indicó que la pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre mejoró significativamente la capacidad de soporte del suelo, lo que pudo haber estado relacionado con una mayor cohesión y resistencia proporcionada por los relaves de flotación de cobre. Sin embargo,

a medida que la cantidad de relaves de flotación de cobre aumentó, el C.B.R. comenzó a disminuir: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. bajó a 22.10 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. descendió aún más a 14.80 %.

- **Impacto de los RFC en la resistencia y la durabilidad del suelo**

Los resultados sugirieron que la incorporación de relaves de flotación de cobre mejoró significativamente la capacidad de soporte del suelo en bajas proporciones (5 %), pero el efecto positivo disminuyó a medida que se incrementó la cantidad de relaves de flotación de cobre en la mezcla. En la mezcla con 5 % de relaves de flotación de cobre, el C.B.R. mejoró notablemente, lo que indicó que una pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre pudo aumentar la resistencia del material, haciéndolo más adecuado para la estabilización del suelo y la construcción de la carretera. Sin embargo, en mezclas con mayores proporciones de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %), el C.B.R. disminuyó, lo que sugirió que el aumento de relaves de flotación de cobre pudo tener efectos adversos sobre las propiedades del suelo, como la cohesión o la interacción entre las partículas, reduciendo su resistencia y capacidad de soporte.

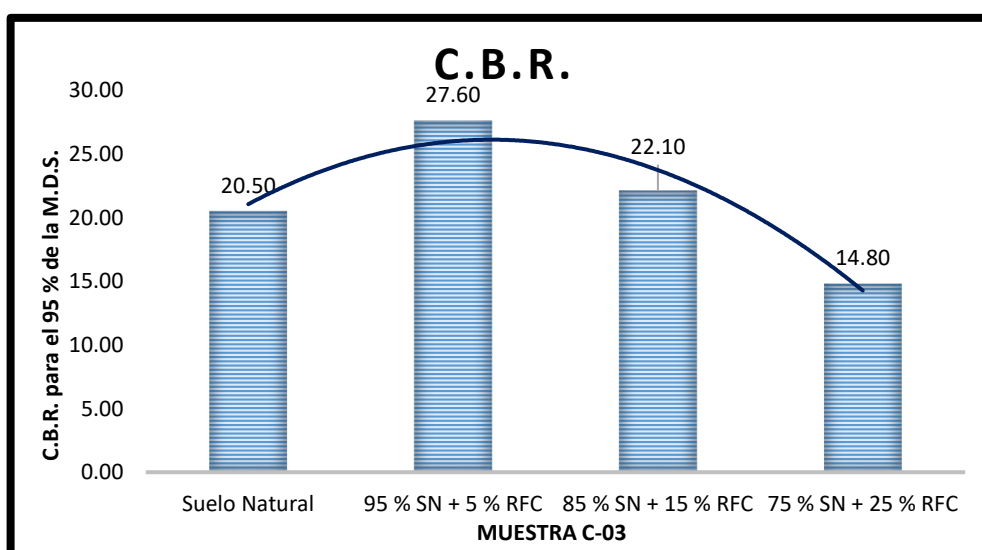


Figura 15 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-03

Tabla 23 — Expansión (%) de la C-03

Calicata - 03	
Muestra C-03	Expansión %
suelo natural	1.02
95 % SN + 5 % RFC	0.82
85 % SN + 15 % RFC	1.03
75 % SN + 25 % RFC	1.21

- **Análisis de los resultados de expansión**

El suelo natural (C-03), en la tabla 23, presentó una expansión de 1.02 %, lo que indicó un comportamiento moderadamente expansivo. Este valor sugirió que el suelo tuvo una capacidad de expansión controlada y fue relativamente estable frente a variaciones de humedad, lo que lo hizo adecuado para su uso en la construcción del afirmado de la carretera, siempre que se controlaron las condiciones climáticas y de humedad.

Cuando se incorporaron relaves de flotación de cobre en el suelo, se observó una ligera disminución en la expansión con la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, cuyo valor de expansión fue 0.82 %. Esta reducción en la expansión sugirió que los relaves de flotación de cobre, en pequeñas cantidades, tuvieron un efecto positivo al reducir la susceptibilidad del suelo a la expansión volumétrica, lo que pudo mejorar la estabilidad del material en condiciones de humedad variable.

Por otro lado, a medida que aumentó la cantidad de relaves de flotación de cobre en la mezcla, la expansión también aumentó. En la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión fue 1.03 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión alcanzó 1.21 %. Estos aumentos, aunque pequeños, indicaron que el suelo tendió a ser más expansivo a medida que se incrementó la proporción de relaves de flotación de cobre, lo que pudo generar problemas de estabilidad en el afirmado de la carretera si no se controló adecuadamente.

- **Impacto de la expansión en la estabilización de suelos**

La ligera disminución en la expansión conseguida con la incorporación de relaves de flotación de cobre en proporciones bajas (5 %) fue un aspecto positivo, ya que indicó una mejora en la estabilidad volumétrica del suelo. Esto sugirió que los relaves de flotación de cobre pudieron haber ayudado a reducir los riesgos asociados con la expansión del suelo, como la formación de grietas o deformaciones en el afirmado. Sin embargo, el aumento progresivo de la expansión en mezclas con mayores proporciones de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %) señaló que un exceso de este material pudo afectar negativamente la estabilidad volumétrica, aumentando la susceptibilidad a la deformación bajo condiciones de humedad.

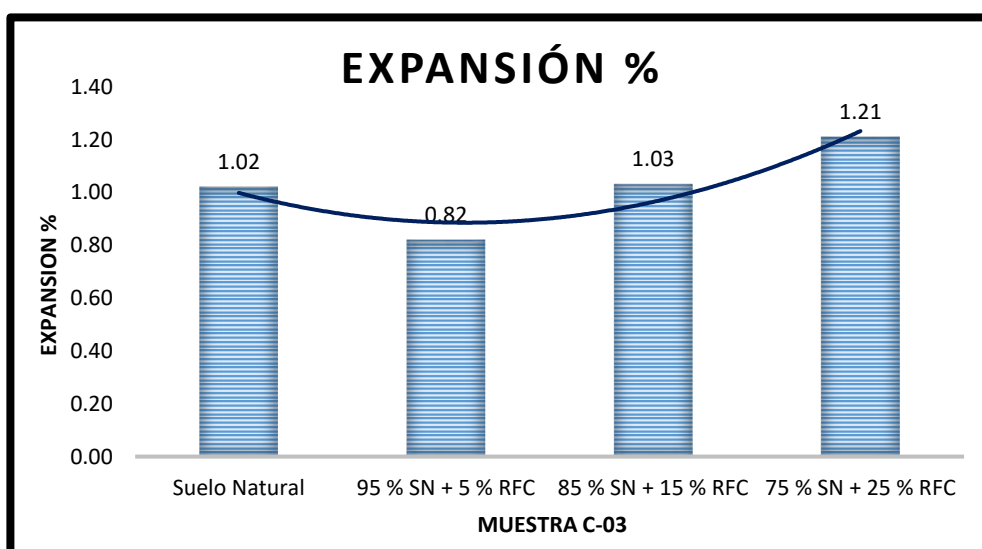


Figura 16 — Expansión (%) de la C-03

d) **Calicata 04**

Tabla 24 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-04

Calicata - 04	
Muestra C-04	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	32.10
95 % SN + 5 % RFC	41.60
85 % SN + 15 % RFC	51.10
75 % SN + 25 % RFC	60.60

- **Análisis de los resultados de C.B.R.**

El valor de C.B.R. del suelo natural (C-04), en la tabla 24, fue 32.10 %, lo que indicó que el material tuvo una capacidad de soporte relativamente alta, siendo adecuado para su uso en la base de afirmado sin necesidad de aditivos. Sin embargo, los resultados mostraron que la incorporación de relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones mejoró significativamente el C.B.R. del suelo, lo que sugirió que los relaves de flotación de cobre tuvieron un efecto positivo en la resistencia y capacidad de soporte del material.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. aumentó a 41.60 %, lo que representó un incremento notable respecto al suelo natural. Este aumento indicó que una pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre mejoró la cohesión y la resistencia del suelo, lo que pudo ser beneficioso para la estabilización del suelo y la mejora de la resistencia y la durabilidad del afirmado. A medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentó, el C.B.R. siguió incrementando: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. alcanzó 51.10 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. llegó a 60.60 %. Este aumento progresivo en el C.B.R. sugirió que una mayor proporción de relaves de flotación de cobre mejoró aún más las propiedades mecánicas del material, lo que lo hizo aún más adecuado para su uso en la estabilización de suelos y la construcción de la carretera.

- **Impacto de los RFC en la capacidad de soporte del suelo**

Los resultados indicaron que los relaves de flotación de cobre tuvieron un impacto significativo en la capacidad de soporte del suelo, especialmente cuando se utilizaron en proporciones mayores. Con una adición del 5 % de relaves de flotación de cobre, el C.B.R. ya mostró una mejora sustancial, y a medida que se incrementó la cantidad de relaves de flotación de cobre (15 % y 25

%), la capacidad de soporte siguió aumentando. Esto sugirió que los relaves de flotación de cobre pudieron haber mejorado las propiedades físicas y mecánicas del suelo, particularmente en términos de resistencia a la compresión y durabilidad frente al tráfico pesado y las condiciones climáticas adversas.

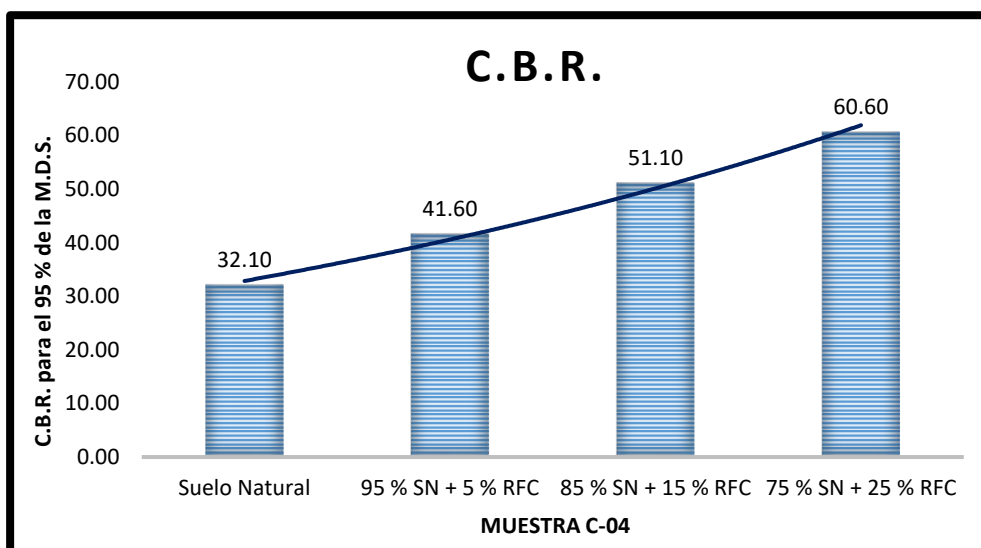


Figura 17 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-04

Tabla 25 — Expansión (%) de la C-04

Calicata - 04	
Muestra C-04	Expansión %
suelo natural	3.67
95 % SN + 5 % RFC	3.25
85 % SN + 15 % RFC	2.88
75 % SN + 25 % RFC	2.43

- **Análisis de los resultados de expansión**

El suelo natural (C-04) presentó una expansión de 3.67 %, lo que indicó una expansión moderada. Este valor reflejó que el suelo tuvo una cierta tendencia a expandirse cuando se veía afectado por cambios de humedad, lo que pudo generar problemas de estabilidad en la construcción del afirmado de la carretera, como la formación de grietas o deformaciones. En este contexto, la estabilización del suelo se volvió crucial para controlar esta expansión y garantizar la durabilidad del afirmado.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión disminuyó a 3.25 %, lo que representó una ligera mejora

en comparación con el suelo natural. A medida que se aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre en la mezcla, la expansión siguió disminuyendo: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión fue de 2.88 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión se redujo aún más a 2.43 %. Estos resultados sugirieron que la incorporación de relaves de flotación de cobre ayudó a reducir la expansión volumétrica del suelo, mejorando su estabilidad frente a la humedad y potenciando sus propiedades para el uso en afirmados de carreteras.

- **Impacto de los RFC en la expansión del suelo**

La disminución de la expansión con la incorporación de relaves de flotación de cobre fue un aspecto positivo, ya que un menor porcentaje de expansión indicó que el material fue más estable y menos propenso a deformaciones bajo cambios de humedad. Este efecto fue particularmente importante para la construcción de afirmados de carreteras, ya que la expansión excesiva pudo comprometer la integridad del afirmado con el tiempo. En las mezclas, la reducción en la expansión sugirió que los relaves de flotación de cobre contribuyeron a mejorar la cohesión del suelo y disminuir su susceptibilidad a las deformaciones volumétricas.

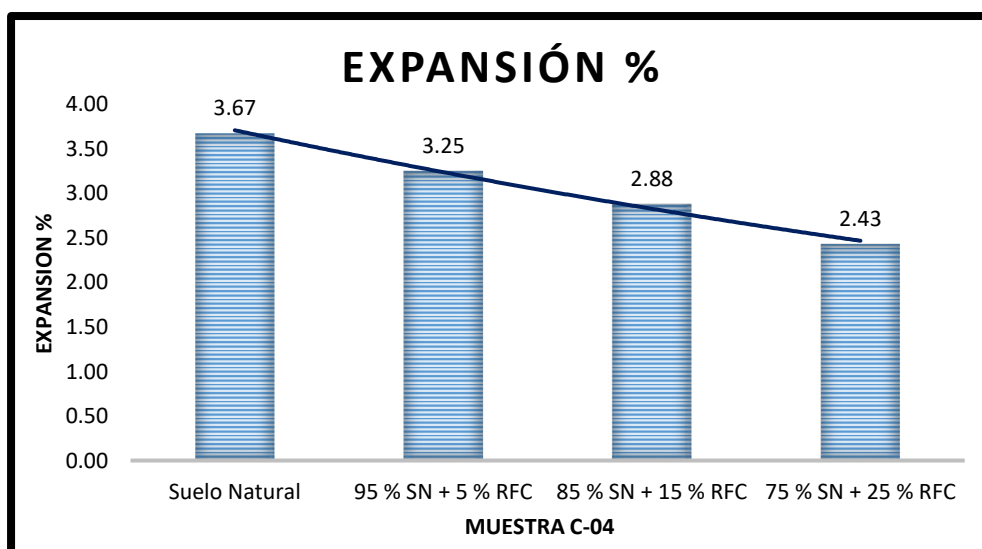


Figura 18 — Expansión (%) de la C-04

e) Calicata 05

Tabla 26 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-05

Calicata - 05	
Muestra C-05	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	21.80
95 % SN + 5 % RFC	28.90
85 % SN + 15 % RFC	23.40
75 % SN + 25 % RFC	16.10

- Análisis de los resultados de C.B.R.**

El C.B.R. del suelo natural en la muestra C-05, en la tabla 26, fue de 21.80 %, lo que sugirió que el suelo en su estado natural tuvo una capacidad de soporte razonable para su uso en la construcción de afirmados. Aunque este valor fue adecuado, la adición de relaves de flotación de cobre en diversas proporciones mejoró la capacidad de soporte del material, lo que resaltó el efecto positivo de los relaves de flotación de cobre en la estabilización del suelo.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. aumentó significativamente a 28.90 %, lo que indicó una mejora considerable en la capacidad de soporte del suelo. Este aumento sugirió que los relaves de flotación de cobre, incluso en pequeñas cantidades, mejoraron la cohesión y resistencia del suelo, lo que pudo ser ventajoso para la estabilidad y durabilidad del afirmado. Sin embargo, a medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentó, el C.B.R. comenzó a disminuir: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. bajó a 23.40 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. disminuyó aún más a 16.10 %. Estos resultados mostraron que, aunque los relaves de flotación de cobre mejoraron la capacidad de soporte en proporciones bajas, en concentraciones más altas pudieron tener efectos adversos, reduciendo la resistencia del material.

- Impacto de los RFC en la capacidad de soporte del suelo**

La incorporación de relaves de flotación de cobre en bajas concentraciones (5 %) mejoró considerablemente la capacidad de

soporte del suelo, lo que sugirió que los relaves de flotación de cobre tuvieron un impacto positivo en la cohesión y resistencia del material. Sin embargo, a medida que la cantidad de relaves de flotación de cobre aumentó (15 % y 25 %), la capacidad de soporte del material disminuyó, lo que pudo indicar que un exceso de relaves de flotación de cobre redujo la cohesión entre las partículas del suelo y afectó negativamente las propiedades mecánicas del material.

Para optimizar los beneficios de los relaves de flotación de cobre en la estabilización del suelo, fue recomendable utilizar concentraciones más bajas, como 5 %, donde se observaron mejoras significativas en la capacidad de soporte sin comprometer demasiado la estabilidad del material. El uso de mayores concentraciones de relaves de flotación de cobre (15 % o 25 %) pudo requerir ajustes adicionales en la mezcla, como la incorporación de aditivos estabilizantes o el ajuste del contenido de agua, para contrarrestar la disminución en el C.B.R. y mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

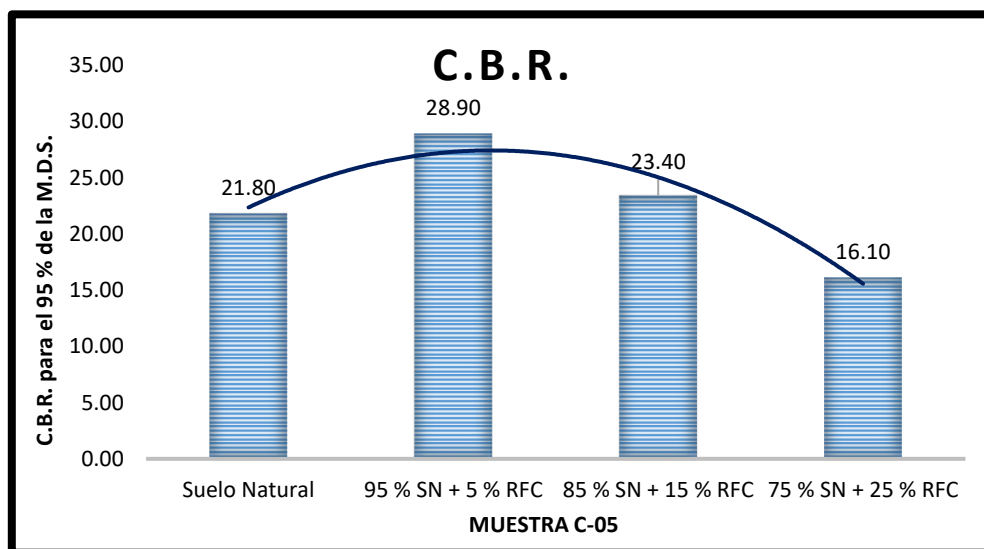


Figura 19 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-05

Tabla 27 — Expansión (%) de la C-05

Calicata - 05	
Muestra C-05	Expansión %
suelo natural	1.01
95 % SN + 5 % RFC	0.84
85 % SN + 15 % RFC	1.01
75 % SN + 25 % RFC	1.20

- **Análisis de los resultados de expansión del suelo natural con RFC**

El suelo natural (C-05), en la tabla 27, presentó una expansión inicial de 1.01 %, lo que indicó una expansión moderada bajo condiciones de humedad. Este valor sugirió que el suelo tuvo una cierta tendencia a expandirse, lo cual fue común en suelos con una mezcla de partículas finas. Este comportamiento pudo ser problemático para la resistencia y la durabilidad a largo plazo del afirmado, ya que la expansión podía causar grietas y otras deformaciones en la superficie del afirmado.

Cuando se incorporaron relaves de flotación de cobre en la mezcla, los resultados mostraron una ligera reducción en la expansión. En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión disminuyó a 0.84 %, lo que indicó una mejora en la estabilidad volumétrica del suelo al incorporar este material. Esta reducción sugirió que los relaves de flotación de cobre pudieron haber ayudado a controlar la expansión del suelo, mejorando su comportamiento frente a cambios de humedad. Sin embargo, a medida que aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre, la expansión comenzó a aumentar. En la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión volvió al valor inicial de 1.01 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión aumentó a 1.20 %. Este patrón reflejó que, a mayores concentraciones de relaves de flotación de cobre, la expansión del suelo tendió a incrementarse ligeramente.

- **Impacto de los relaves de flotación de cobre en la expansión del suelo**

El descenso en la expansión observado en la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre fue un aspecto positivo, ya que una menor expansión redujo la probabilidad de deformaciones en el afirmado debido a cambios de humedad. La incorporación de relaves de flotación de cobre pareció ser beneficiosa en pequeñas cantidades, ya que mejoró la estabilidad volumétrica sin generar efectos adversos significativos. Sin embargo, a concentraciones más altas de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %), el aumento de la expansión pudo generar problemas de estabilidad, lo que sugirió que más relaves de flotación de cobre no fue siempre mejor.

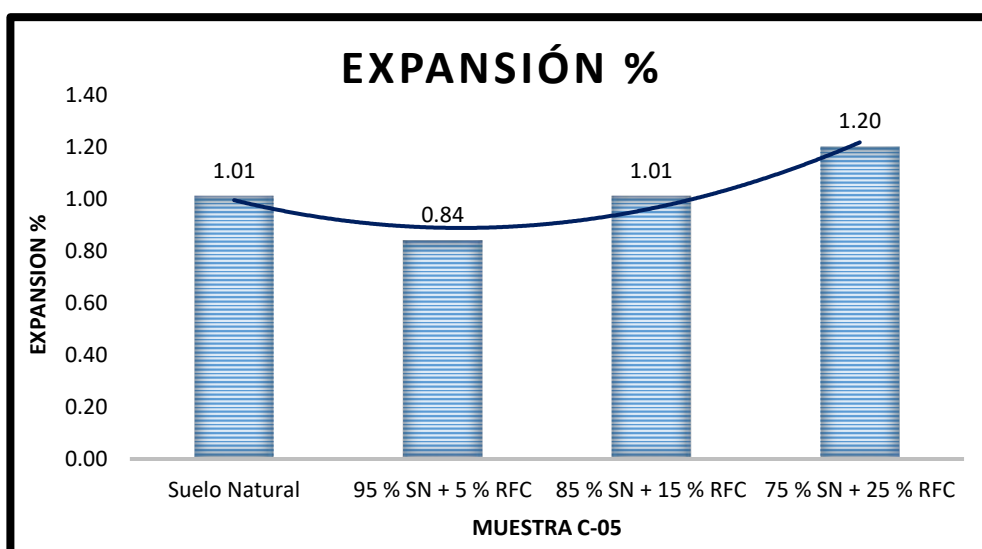


Figura 20 — Expansión (%) de la C-05

f) Calicata 06

Tabla 28 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S. de la C-06

Calicata - 06	
Muestra C-06	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	12.54
95 % SN + 5 % RFC	7.20
85 % SN + 15 % RFC	4.60
75 % SN + 25 % RFC	3.30

- **Análisis de los resultados de C.B.R.**

El C.B.R. del suelo natural, en la tabla 28, muestra C-06, fue de 12.54 %, lo que sugirió que el suelo tuvo una capacidad de soporte moderada, pero no óptima para su uso directo en la construcción de afirmados sin un tratamiento adicional. A medida que se incorporaron relaves de flotación de cobre en diversas proporciones, el C.B.R. disminuyó considerablemente. En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. bajó a 7.20 %, lo que representó una reducción significativa en la capacidad de soporte. Con 15 % de relaves de flotación de cobre (85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre), el C.B.R. disminuyó aún más a 4.60 %, y por último, con 25 % de relaves de flotación de cobre (75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre), el C.B.R. descendió a 3.30 %. Esta disminución progresiva sugirió que los relaves de flotación de cobre, a medida que aumentó su proporción en la mezcla, redujeron la capacidad de soporte del material, lo cual pudo ser contraproducente para la estabilización del suelo y el rendimiento del afirmado de la carretera.

- **Impacto de los relaves de flotación de cobre en la resistencia y la durabilidad del suelo**

Los resultados indicaron que los relaves de flotación de cobre tuvieron un efecto negativo en la capacidad de soporte del suelo a medida que aumentó su concentración en la mezcla. Aunque los relaves de flotación de cobre pudieron mejorar la cohesión del suelo en pequeñas cantidades (5 %), cuando se aumentó la cantidad de relaves de flotación de cobre, el C.B.R. disminuyó de manera significativa, lo que indicó que el exceso de relaves de flotación de cobre pudo afectar las propiedades mecánicas del suelo, reduciendo su resistencia y capacidad de soporte. Este comportamiento sugirió que los relaves de flotación de cobre no debieron ser utilizados en grandes cantidades si el objetivo fue mejorar la capacidad de soporte y la resistencia del material.



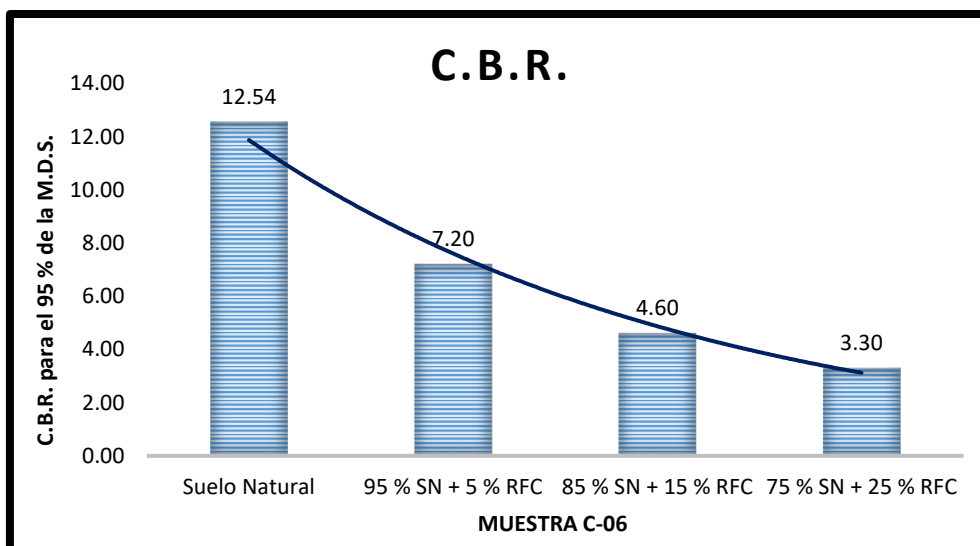


Figura 21 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-06

Tabla 29 — Expansión (%) de la C-06

Calicata - 06	
Muestra C-06	Expansión %
suelo natural	2.33
95 % SN + 5 % RFC	3.12
85 % SN + 15 % RFC	4.20
75 % SN + 25 % RFC	5.23

- **Análisis de los resultados de expansión del suelo natural con relaves de flotación de cobre**

El suelo natural (C-06), en la tabla 29, presentó una expansión de 2.33 %, lo que indicó que el material tuvo una tendencia moderada a expandirse bajo condiciones de humedad. Este valor sugirió que el suelo poseyó una capacidad de expansión que pudo causar algunos problemas de estabilidad en el afirmado de la carretera, especialmente en condiciones de humedad variable.

Cuando se incorporaron relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones, se observó que la expansión aumentó en todas las mezclas. En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión ascendió a 3.12 %, lo que representó un incremento en comparación con el suelo natural. A medida que se aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre, la expansión siguió incrementándose. En la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión llegó a 4.20 %, y en

la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión alcanzó 5.23 %. Este patrón mostró que, a medida que aumentó la cantidad de relaves de flotación de cobre, también lo hizo la expansión del suelo, lo que pudo indicar que los relaves de flotación de cobre contribuyeron a la expansión volumétrica del material.

- **Impacto de los relaves de flotación de cobre en la expansión del suelo**

Dado que la incorporación de relaves de flotación de cobre tendió a aumentar la expansión del suelo, se recomendó utilizar concentraciones más bajas de relaves de flotación de cobre, como el 5 %, para minimizar este efecto. A medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentó, el impacto negativo sobre la expansión se hizo más pronunciado, lo que sugirió que las mezclas con mayores concentraciones de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %) debieron ser manejadas con precaución. Además, para mitigar la expansión, se pudieron considerar tratamientos adicionales, como el ajuste de la compactación o el uso de aditivos que ayudaron a reducir la plasticidad y la capacidad de expansión del material.

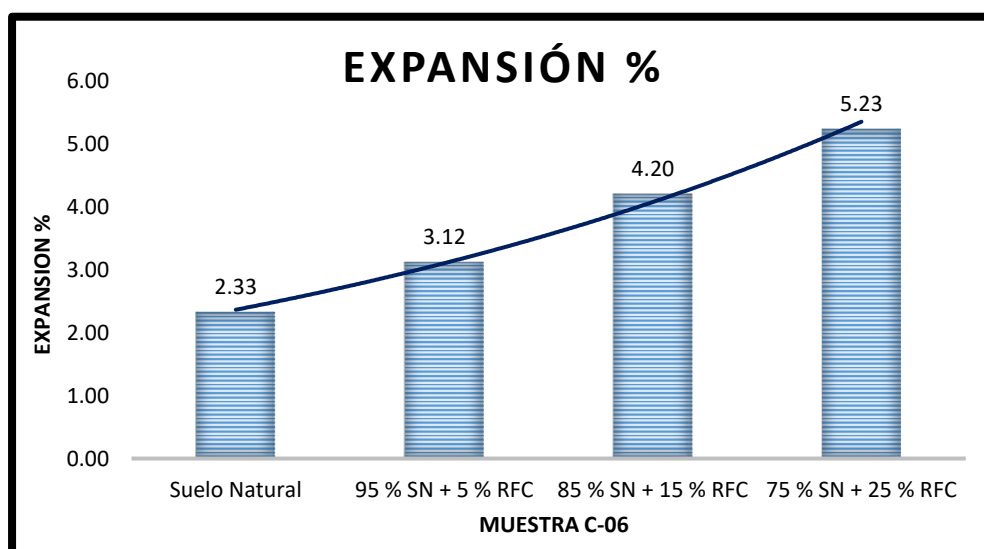


Figura 22 — Expansión (%) de la C-06

g) Calicata 07

Tabla 30 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-07

Calicata - 07	
Muestra C-07	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	12.44
95 % SN + 5 % RFC	7.10
85 % SN + 15 % RFC	4.50
75 % SN + 25 % RFC	3.20

- Análisis de los resultados de C.B.R.**

El C.B.R. del suelo natural (C-07), en la tabla 30, fue de 12.44 %, lo que reflejó una capacidad de soporte moderada en su estado natural, adecuada para aplicaciones generales en construcción de caminos, pero mejorable. Al incorporar relaves de flotación de cobre en diversas proporciones, se observó una disminución progresiva en el C.B.R., lo que sugirió que los relaves de flotación de cobre tuvieron un impacto negativo en la resistencia del material.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. bajó a 7.10 %, lo que representó una reducción considerable en comparación con el suelo natural. A medida que se aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre, la capacidad de soporte del material siguió descendiendo: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. fue de 4.50 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. disminuyó a 3.20 %.

- Impacto de los RFC en la capacidad de soporte del suelo**

Los resultados indicaron que la incorporación de relaves de flotación de cobre tuvo un efecto adverso en la capacidad de soporte del material. Mientras que una pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre (5 %) redujo notablemente la capacidad de soporte, el aumento de su concentración (15 % y 25 %) causó una caída aún más pronunciada en el C.B.R. Esto pudo deberse a la naturaleza de los relaves de flotación de cobre, que, al ser añadida

al suelo, pudo alterar las propiedades de cohesión y compactación del material, resultando en una disminución de su resistencia estructural.

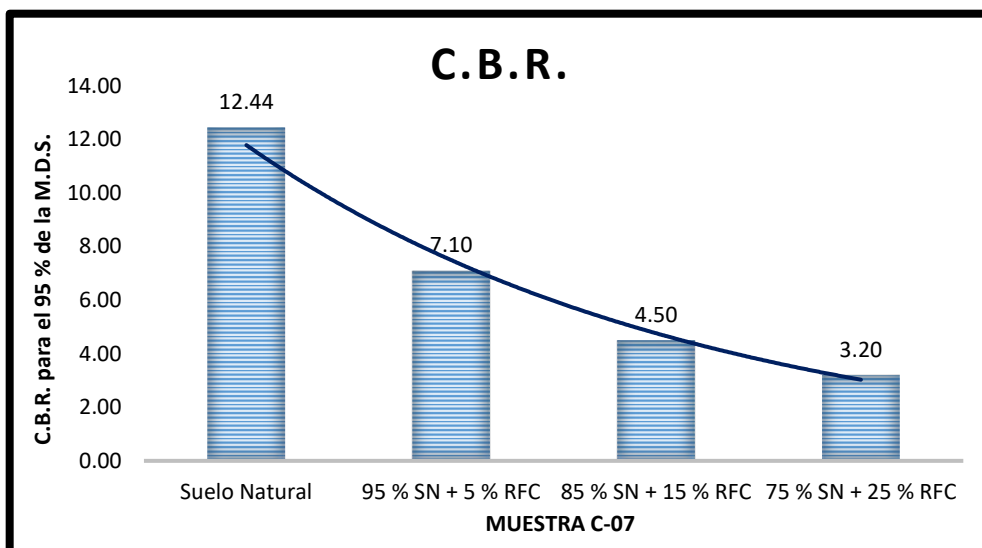


Figura 23 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-07

Tabla 31 — Expansión (%) de la C-07

Calicata - 07	
Muestra C-07	Expansión %
suelo natural	0.77
95 % SN + 5 % RFC	1.74
85 % SN + 15 % RFC	2.81
75 % SN + 25 % RFC	3.79

- **Análisis de los resultados de expansión del suelo natural incorporando relaves de flotación de cobre**

El suelo natural (C-07), en la tabla 31, tuvo una expansión inicial de 0.77 %, lo que sugirió que el material presentó una expansión moderada ante cambios de humedad. Este valor indicó que el suelo tuvo una capacidad de expansión relativamente baja, lo que fue positivo para la estabilidad del afirmado. Sin embargo, a medida que se incorporaron relaves de flotación de cobre en el suelo, los resultados mostraron un aumento progresivo en la expansión. En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión aumentó a 1.74 %, lo que indicó un incremento significativo en la capacidad de expansión. Este aumento sugirió que incluso una pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre

aumentó la sensibilidad del suelo a las variaciones de humedad. A medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentó, la expansión siguió incrementándose. En la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión fue de 2.81 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión llegó a 3.79 %. Este patrón reflejó que, a medida que se aumentó la concentración de relaves de flotación de cobre, el suelo se volvió más expansivo, lo que afectó la estabilidad del afirmado a largo plazo, especialmente en zonas con alta variabilidad de humedad.

- **Impacto de los RFC en la expansión del suelo**

Para mitigar el efecto de la expansión, se recomendó utilizar concentraciones bajas de relaves de flotación de cobre, como el 5 %, ya que esta proporción mostró un aumento manejable en la expansión sin comprometer demasiado las propiedades mecánicas del suelo. A medida que se incrementó la concentración de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %), el aumento en la expansión se volvió más pronunciado, lo que sugirió que se debieron considerar otras técnicas de estabilización o la reducción de la cantidad de relaves de flotación de cobre en las mezclas.

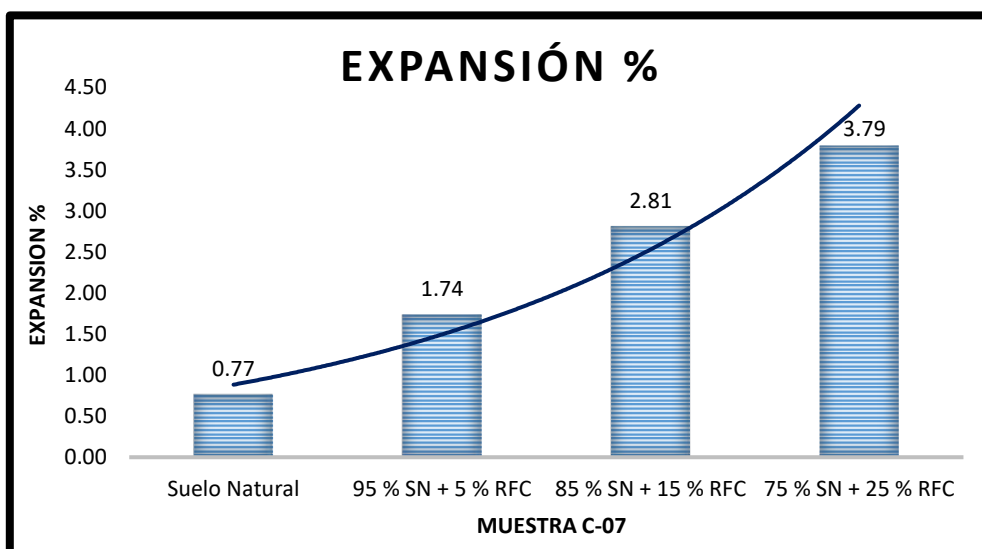


Figura 24 — Expansión (%) de la C-07

h) Calicata 08

Tabla 32 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-08

Calicata - 08	
Muestra C-08	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	32.66
95 % SN + 5 % RFC	43.83
85 % SN + 15 % RFC	51.35
75 % SN + 25 % RFC	60.82

- Análisis de los resultados de C.B.R.**

El valor de C.B.R. del suelo natural (C-08), en la tabla 32, fue 32.66 %, lo que indicó que el material tuvo una capacidad de soporte relativamente alta, siendo adecuado para su uso en la base de afirmado sin necesidad de aditivos. Sin embargo, los resultados mostraron que la incorporación de relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones mejoró significativamente el C.B.R. del suelo, lo que sugirió que los relaves de flotación de cobre tuvieron un efecto positivo en la resistencia y capacidad de soporte del material.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. aumentó a 43.83 %, lo que representó un incremento notable respecto al suelo natural. Este aumento indicó que una pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre mejoró la cohesión y la resistencia del suelo, lo que pudo ser beneficioso para la estabilización del suelo y la mejora de la resistencia y la durabilidad del afirmado. A medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentó, el C.B.R. siguió incrementándose: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. alcanzó 51.35 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. llegó a 60.82 %. Este aumento progresivo en el C.B.R. sugirió que una mayor proporción de relaves de flotación de cobre mejoró aún más las propiedades mecánicas del material, lo que lo hizo aún más adecuado para su uso en la estabilización de suelos y la construcción de la carretera.

- **Impacto de los RFC en la capacidad de soporte del suelo**

Los resultados indicaron que los relaves de flotación de cobre tuvieron un impacto significativo en la capacidad de soporte del suelo, especialmente cuando se utilizaron en proporciones mayores. Con una adición del 5 % de relaves de flotación de cobre, el C.B.R. ya mostró una mejora sustancial, y a medida que se incrementó la cantidad de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %), la capacidad de soporte siguió aumentando. Esto sugirió que los relaves de flotación de cobre pudieron haber mejorado las propiedades físicas y mecánicas del suelo, particularmente en términos de resistencia a la compresión y durabilidad frente al tráfico pesado y las condiciones climáticas adversas.

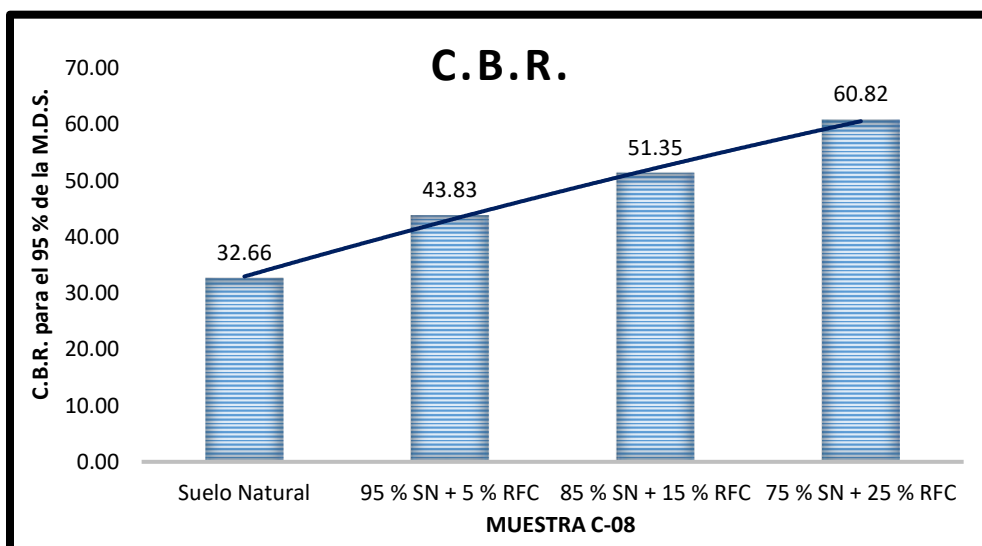


Figura 25 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-08

Tabla 33 — Expansión (%) de la C-08

Calicata - 08	
Muestra C-08	Expansión %
suelo natural	3.65
95 % SN + 5 % RFC	3.16
85 % SN + 15 % RFC	2.79
75 % SN + 25 % RFC	2.43

- **Análisis de los resultados de expansión del suelo natural incorporando relaves de flotación de cobre**

El suelo natural (C-08) presentó una expansión de 3.65 %, lo que indicó una expansión moderada. Este valor reflejó que el suelo tuvo

una cierta tendencia a expandirse o contraerse cuando se veía afectado por cambios de humedad, lo que pudo generar problemas de estabilidad en la construcción del afirmado de la carretera, como la formación de grietas o deformaciones. En este contexto, la estabilización del suelo se volvió crucial para controlar esta expansión y garantizar la durabilidad del afirmado.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión disminuyó a 3.16 %, lo que representó una ligera mejora en comparación con la expansión del suelo natural. A medida que se aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre en la mezcla, la expansión siguió disminuyendo: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión fue de 2.79 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión se redujo aún más a 2.43 %. Estos resultados sugirieron que la incorporación de relaves de flotación de cobre ayudó a reducir la expansión volumétrica del suelo, mejorando su estabilidad frente a la humedad y potenciando sus propiedades para el uso en afirmados de carreteras.

- **Impacto de los relaves de flotación de cobre en la expansión del suelo**

La disminución de la expansión con la incorporación de relaves de flotación de cobre fue un aspecto positivo, ya que un menor porcentaje de expansión indicó que el material fue más estable y menos propenso a deformaciones bajo cambios de humedad. Este efecto fue particularmente importante para la construcción de afirmados de carreteras, ya que la expansión excesiva pudo comprometer la integridad del afirmado con el tiempo. En las mezclas con relaves de flotación de cobre, la reducción en la expansión sugirió que los relaves de flotación de cobre contribuyeron a mejorar la cohesión interna del suelo y disminuir su susceptibilidad a las deformaciones volumétricas durante las temporadas de lluvia.

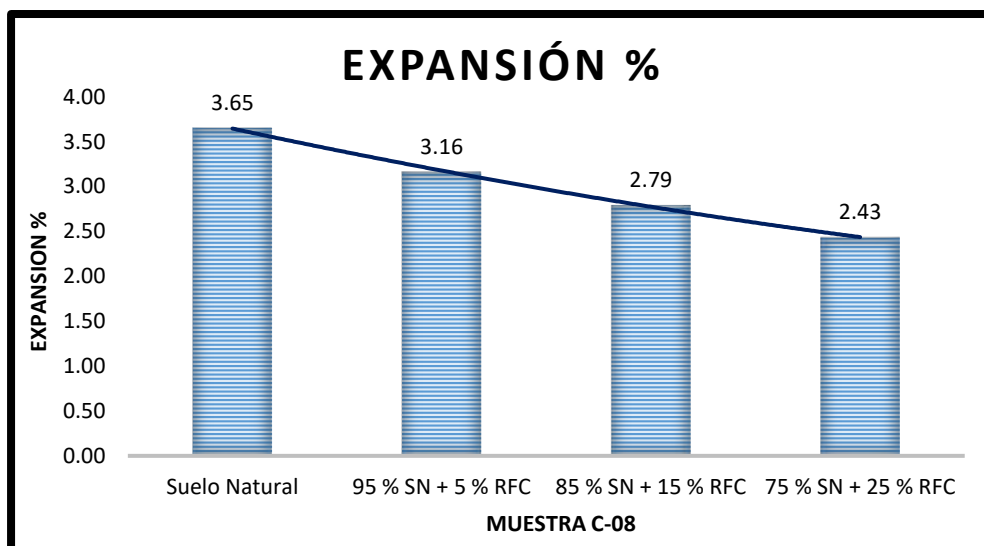


Figura 26 — Expansión (%) de la C-08

i) Calicata 09

Tabla 34 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-09

Calicata - 09	
Muestra C-09	C.B.R. para el 95 % de la M.D.S.
suelo natural	32.97
95 % SN + 5 % RFC	43.21
85 % SN + 15 % RFC	50.72
75 % SN + 25 % RFC	60.51

• **Análisis de los resultados de C.B.R.**

El valor de C.B.R. del suelo natural (C-09), en la tabla 34, fue 32.97 %, lo que indicó que el material tuvo una capacidad de soporte relativamente alta, siendo adecuado para su uso en la base de afirmado sin necesidad de aditivos. Sin embargo, los resultados mostraron que la incorporación de relaves de flotación de cobre en diferentes proporciones mejoró significativamente el C.B.R. del suelo, lo que sugirió que los relaves de flotación de cobre tuvieron un efecto positivo en la resistencia y capacidad de soporte del material.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. aumentó a 43.21 %, lo que representó un incremento notable respecto al suelo natural. Este aumento indicó que una pequeña cantidad de relaves de flotación de cobre mejoró la

cohesión y la resistencia del suelo, lo que pudo ser beneficioso para la estabilización del suelo y la mejora de la resistencia y la durabilidad del afirmado. A medida que la proporción de relaves de flotación de cobre aumentó, el C.B.R. siguió incrementándose: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. alcanzó 50.72 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, el C.B.R. llegó a 60.51 %. Este aumento progresivo en el C.B.R. sugirió que una mayor proporción de relaves de flotación de cobre mejoró aún más las propiedades mecánicas del material, lo que lo hizo aún más adecuado para su uso en la estabilización de suelos y la construcción de la carretera.

- **Impacto de los RFC en la capacidad de soporte del suelo**

Los resultados indicaron que los relaves de flotación de cobre tuvieron un impacto significativo en la capacidad de soporte del suelo, especialmente cuando se utilizaron en proporciones mayores. Con una adición del 5 % de relaves de flotación de cobre, el C.B.R. ya mostró una mejora sustancial, y a medida que se incrementó la cantidad de relaves de flotación de cobre (15 % y 25 %), la capacidad de soporte siguió aumentando.

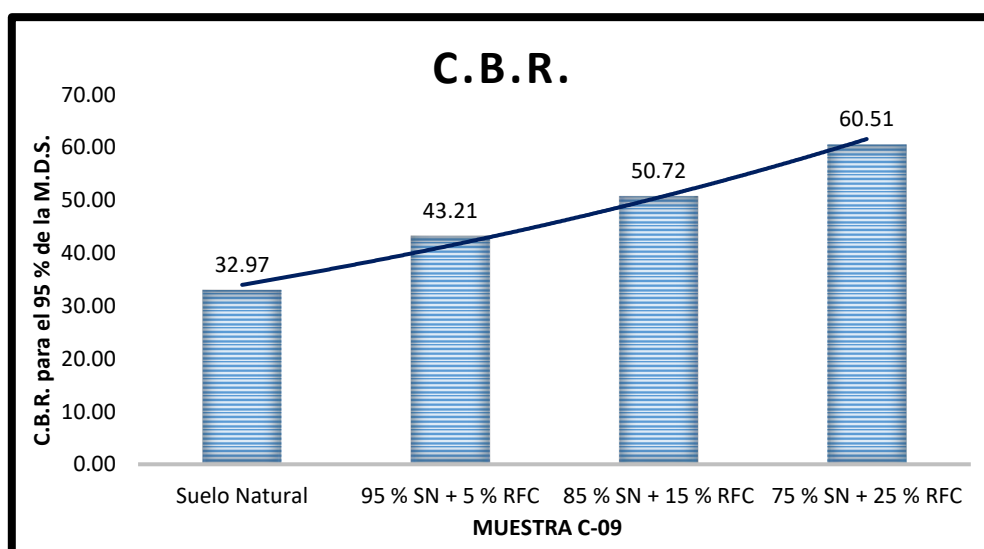


Figura 27 — C.B.R. para el 95 % de la M.D.S de la C-09

Tabla 35 — Expansión (%) de la C-09

Calicata - 09	
Muestra C-09	Expansión %
suelo natural	3.70
95 % SN + 5 % RFC	3.29
85 % SN + 15 % RFC	2.90
75 % SN + 25 % RFC	2.47

- **Análisis de los resultados de expansión del suelo natural incorporando relaves de flotación de cobre**

El suelo natural (C-09) presentó una expansión de 3.70 %, lo que indicó una expansión moderada. Este valor reflejó que el suelo tuvo una cierta tendencia a expandirse o contraerse cuando se veía afectado por cambios de humedad, lo que pudo generar problemas de estabilidad en la construcción del afirmado de la carretera, como la formación de grietas o deformaciones. En este contexto, la estabilización del suelo se volvió crucial para controlar esta expansión y garantizar la durabilidad del afirmado.

En la mezcla de 95 % SN + 5 % relaves de flotación de cobre, la expansión disminuyó a 3.29 %, lo que representó una ligera mejora en comparación con la expansión del suelo natural. A medida que se aumentó la proporción de relaves de flotación de cobre en la mezcla, la expansión siguió disminuyendo: en la mezcla de 85 % SN + 15 % relaves de flotación de cobre, la expansión fue de 2.90 %, y en la mezcla de 75 % SN + 25 % relaves de flotación de cobre, la expansión se redujo aún más a 2.47 %. Estos resultados sugirieron que la incorporación de relaves de flotación de cobre ayudó a reducir la expansión volumétrica del suelo, mejorando su estabilidad frente a la humedad y potenciando sus propiedades para el uso en afirmados de carreteras.

- **Impacto de los RFC en la expansión del suelo**

La disminución de la expansión con la incorporación de relaves de flotación de cobre fue un aspecto positivo, ya que un menor porcentaje de expansión indicó que el material fue más estable y

menos propenso a deformaciones bajo cambios de humedad. Este efecto fue particularmente importante para la construcción de afirmados de carreteras, ya que la expansión excesiva pudo comprometer la integridad del afirmado con el tiempo. En las mezclas con relaves de flotación de cobre, la reducción en la expansión sugirió que los relaves de flotación de cobre contribuyeron a mejorar la cohesión interna del suelo y disminuir su susceptibilidad a las deformaciones volumétricas durante las temporadas de lluvia.

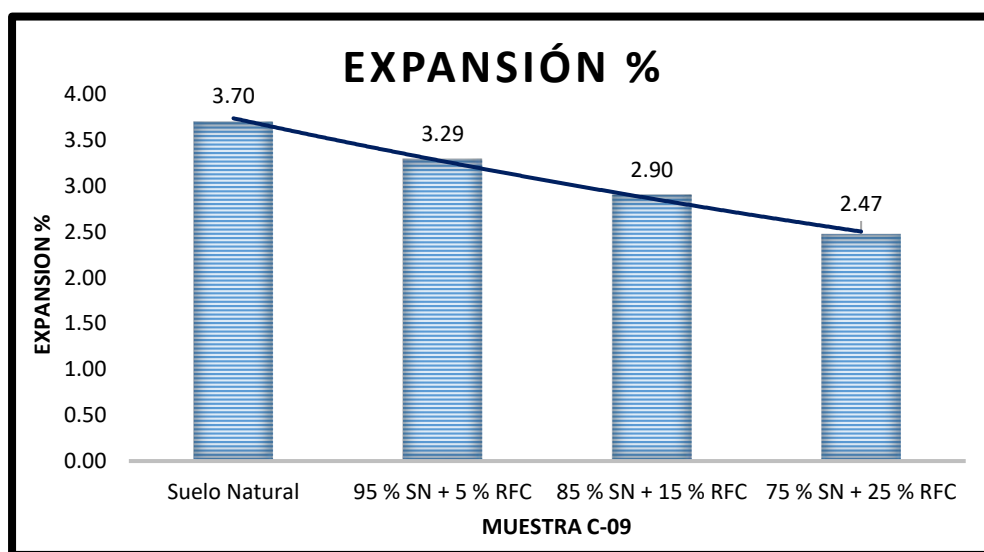


Figura 28 — Expansión (%) de la C-09

5.1.2 Costo – beneficio de relaves de flotación de cobre como estabilizante

Se procedió entonces al análisis de la tabla 36, donde se evaluó la viabilidad económica del empleo de relaves de flotación de cobre. El estudio se centró en la comparación costo-beneficio de este material alternativo frente a estabilizantes tradicionales y no tradicionales de uso común.

Entre los agentes comparados se incluyeron la cal hidratada, el cemento, y diversos polímeros, todos ellos empleados habitualmente en la mejora de las propiedades mecánicas de suelos para afirmados. La incorporación de relaves de flotación de cobre se consideró particularmente relevante, no solo por su potencial técnico, como se demostró en ensayos previos de C.B.R. y expansión, sino también por las ventajas económicas y ambientales que pudo ofrecer como subproducto industrial.

Tabla 36 — Cuadro de costo – beneficio de relaves de flotación de cobre como estabilizante

Material estabilizante	Costo de adquisición	Disponibilidad y acceso	Eficiencia en la estabilización	Impacto ambiental	Beneficios adicionales
Relaves de flotación de cobre	Bajo (Es residual y disponible a bajo costo)	Alta (disponibilidad local en zonas cercanas a plantas procesadoras de cobre)	Alta (mejora la resistencia, reducción de expansión)	Bajo (material residual, reutilización de desechos)	Reutiliza residuos industriales, bajo impacto ambiental, mejora propiedades del suelo
Cal (hidratada)	Moderado	Alta (producción en todo el mundo)	Moderada (mejora la plasticidad y la resistencia, pero más lenta)	Moderado (producción de CO ₂ durante fabricación)	Eficaz para suelos arcillosos, ampliamente disponible
Cemento	Alto	Alta (disponible en todo el mundo)	Alta (mejora notable en la resistencia, pero aumenta rigidez)	Alto (emisiones de CO ₂ durante producción)	Excelente para suelos muy inestables, alta resistencia
Polímeros (orgánicos/inorgánicos)	Alto	Moderada (disponibilidad variable)	Alta (estabiliza suelos con alta plasticidad, control sobre propiedades)	Bajo a moderado (depende del tipo de polímero)	Buena resistencia a la erosión, controla la expansión del suelo

La tabla 36 proporcionó un análisis comparativo de relaves de flotación de cobre como material estabilizante frente a otros materiales comúnmente utilizados en la estabilización de suelos, como la cal hidratada, cemento y polímeros. Esta tabla resultó relevante para determinar la viabilidad y efectividad de los relaves de flotación de cobre como estabilizante para la ruta AP-917, en el contexto de la mejora de la resistencia y la durabilidad del afirmado.

En términos de costo de adquisición, los relaves de flotación de cobre tuvieron una ventaja significativa, ya que su costo fue bajo debido a su naturaleza residual y a la disponibilidad local en zonas cercanas a las plantas procesadoras de cobre.

Esto lo hizo una opción económica en comparación con otros materiales como la cal hidratada o los polímeros, cuyo costo fue moderado o alto, respectivamente. El cemento, por otro lado, tuvo el costo más alto, lo que lo hizo menos atractivo desde una perspectiva económica, especialmente si se buscó minimizar los costos de construcción para proyectos de gran escala.

En cuanto a la disponibilidad y acceso, los relaves de flotación de cobre también destacaron, ya que se pudo obtener fácilmente de manera local, lo que facilitó su acceso y redujo los costos logísticos. Esto fue una ventaja considerable frente a los polímeros, cuya disponibilidad fue moderada y pudo ser variable. Aunque la cal y el cemento tuvieron una alta disponibilidad a nivel mundial, la accesibilidad local del relave de flotación de cobre en áreas cercanas a las plantas procesadoras de cobre, pudo ser una ventaja clave para el uso en proyectos específicos en la región de Cotabambas.

Respecto a la eficiencia en la estabilización, los relaves de flotación de cobre mostraron una alta eficiencia debido a su capacidad para mejorar la resistencia del suelo y reducir la expansión. Estos efectos fueron fundamentales para mejorar la durabilidad del afirmado en condiciones de tráfico pesado y clima variable. En comparación, la cal hidratada tuvo una eficiencia moderada, ya que, aunque mejoró la plasticidad y resistencia del suelo, su acción estabilizadora fue más lenta. El cemento, aunque tuvo una alta eficiencia, pudo aumentar la rigidez del suelo, lo que pudo ser contraproducente en suelos que requirieron cierta flexibilidad, como los que pudieron encontrarse en la ruta AP-917. Los polímeros, por su parte, también mostraron una alta eficiencia, especialmente en suelos con alta plasticidad, proporcionando un control preciso sobre las propiedades del suelo.

En cuanto al impacto ambiental, los relaves de flotación de cobre tuvieron un bajo impacto, ya que fue un material residual y su utilización contribuyó a la reutilización de desechos industriales, lo que lo convirtió en una opción ecológica. En comparación, el cemento tuvo el mayor impacto ambiental debido a las emisiones de CO_2 generadas durante su fabricación. La cal hidratada también presentó un impacto moderado, debido a la emisión de CO_2 , aunque menos significativa que la del cemento. Los polímeros tuvieron un impacto bajo a

moderado, dependiendo del tipo de polímero utilizado, pero en general fueron más sostenibles en términos ambientales en comparación con el cemento.

Para concluir, en términos de beneficios adicionales, los relaves de flotación de cobre ofrecieron ventajas significativas, como la mejora de las propiedades del suelo y la baja huella ambiental al reutilizar residuos industriales. El uso de cal fue eficaz en suelos arcillosos y fue ampliamente disponible, aunque no tuvo el mismo impacto positivo en términos ecológicos. El cemento proporcionó alta resistencia y fue excelente para suelos muy inestables, pero su alto impacto ambiental lo convirtió en una opción menos atractiva en términos de sostenibilidad. Los polímeros, aunque fueron eficaces en la estabilización de suelos con alta plasticidad y con buena resistencia a la erosión, fueron más costosos y tuvieron una disponibilidad variable, lo que pudo limitar su aplicación en proyectos grandes.

5.2 Contrastación de hipótesis

Para poder dar validez y tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula, se realizó un análisis estadístico en el programa SPSS, realizando la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, probabilidad de confianza 95 %, probabilidad de error o equivocarse del 5 %, para determinar el valor de p (una cola), se tuvieron las siguientes hipótesis:

- **H_i**: El impacto de la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023 es positivo y afecta de una forma favorable en la resistencia y la durabilidad del afirmado.
- **H₀**: El impacto de la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023 es negativo y afecta de una forma desfavorable en la resistencia y la durabilidad del afirmado.

Para llevar adelante la contrastación de la hipótesis, se tuvieron en consideración los valores de la tabla 37 y tabla 38.



Tabla 37 — Cuadro de valores de CBR al 95 % de suelo cohesivo S1, suelo no cohesivo S2 y suelo mixto S3 con relaves de flotación de cobre

CBR al 95 %													
Nº	Descripción	% CBR											
		Suelo cohesivo S1			Promedio	Suelo no cohesivo S2			Promedio	Suelo mixto S3			Promedio
E1	Con incorporación al 5 %	7.70	7.20	7.10	7.33	20.30	27.60	28.90	25.60	41.60	43.21	43.83	42.88
E2	Con incorporación al 15 %	5.10	4.60	4.50	4.73	15.20	22.10	23.40	20.23	51.10	50.72	51.35	51.06
E3	Con incorporación al 25 %	3.80	3.30	3.20	3.43	10.10	14.80	16.10	13.67	60.60	60.51	60.82	60.64

Tabla 38 — Cuadro de valores de CBR al 95 % de suelo natural S1, suelo natural S2 y suelo natural S3 sin relaves de flotación de cobre

CBR al 95 %												
Descripción	% CBR											
	Suelo natural (cohesivo) S1			Promedio	Suelo natural (no cohesivo) S2			Promedio	Suelo natural (mixto) S3			Promedio
Sin relaves de flotación de cobre	13.04	12.54	12.44	12.67	10.60	20.50	21.80	17.63	32.10	32.97	32.66	32.58

A continuación, se procedió a deducir las siguientes correlaciones:

- S1 (suelo cohesivo) con E1 vs S2 (suelo no cohesivo) con E1
- S1 (suelo cohesivo) con E1 vs S3 (suelo mixto) con E1
- S2 (suelo no cohesivo) con E1 vs S3 (suelo mixto) con E1
- S1 (suelo cohesivo) con E1 vs suelo natural (cohesivo) S1
- S1 (suelo cohesivo) con E2 vs suelo natural (cohesivo) S1
- S1 (suelo cohesivo) con E3 vs suelo natural (cohesivo) S1
- S2 (suelo no cohesivo) con E1 vs suelo natural (no cohesivo) S2
- S2 (suelo no cohesivo) con E2 vs suelo natural (no cohesivo) S2

- S2 (suelo no cohesivo) con E3 vs suelo natural (no cohesivo) S2
- S3 (suelo mixto) con E1 vs suelo natural (mixto) S3
- S3 (suelo mixto) con E2 vs suelo natural (mixto) S3
- S3 (suelo mixto) con E3 vs suelo natural (mixto) S3

La tabla 37 presentó los valores de CBR al 95 % (California Bearing Ratio) para tres tipos de suelos: cohesivo (S1), no cohesivo (S2) y mixto (S3) con diferentes porcentajes de relaves de flotación de cobre incorporada (5 %, 15 %, y 25 %).

La tabla 38 presentó los valores de CBR al 95 % para tres tipos de suelo natural sin relaves de flotación de cobre: suelo cohesivo (S1), suelo no cohesivo (S2) y suelo mixto (S3). Estos valores fueron fundamentales para comprender las características de resistencia de cada tipo de suelo y evaluar cómo pudieron comportarse al ser estabilizados con relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917.

5.2.1 Contrastación de hipótesis general

Tabla 39 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E1 VS suelo no cohesivo S2 con E1)

	S1 (suelo cohesivo) + E1	S2 (suelo no cohesivo) + E1
Media	7.333333333	25.6
Varianza	0.068888889	14.32666667
Observaciones	4	4
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-9.628864705	
P(T<=t) una cola	0.001188788	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	0.002377576	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

La tabla 39 presentó los resultados de la prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando los efectos de la estabilización con relaves de flotación de cobre (E1) en dos tipos de suelo: suelo cohesivo (S1) y suelo no cohesivo (S2). Esta prueba estadística tuvo como objetivo contrastar si existió una diferencia significativa entre las medias de los CBR de ambos suelos después de la incorporación de relaves de flotación de cobre.

En primer lugar, se observó que la media del CBR para el suelo cohesivo (S1) + E1 fue de 7.33, mientras que para el suelo no cohesivo (S2) + E1, la media fue considerablemente más alta, 25.60. Esta diferencia en las medias reflejó una mayor capacidad de soporte y resistencia del suelo no cohesivo estabilizado con relaves de flotación de cobre en comparación con el suelo cohesivo estabilizado. Esto sugirió que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto más pronunciado en suelos no cohesivos, mejorando significativamente su capacidad de soporte.

El valor crítico de t para una cola fue 2.35, y para dos colas fue 3.18. Dado que el estadístico de t (-9.63) fue mucho menor que el valor crítico de t para ambos casos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no existió diferencia entre las medias de ambos grupos. Esto indicó que la estabilización con relaves de flotación de cobre tuvo un efecto significativamente mayor en suelo no cohesivo en comparación con suelo cohesivo, lo que refuerza la idea de que el relave de flotación de cobre mejora de manera más efectiva la resistencia y capacidad de soporte de los suelos no cohesivos.

En conclusión, la prueba t indicó que el relave de flotación de cobre tuvo un impacto significativamente mayor en suelo no cohesivo que en suelo cohesivo en términos de resistencia. Este hallazgo sugirió que, en el contexto de la ruta AP-917, la estabilización con relaves de flotación de cobre pudo ser más beneficiosa para suelos no cohesivos, lo que justificó su uso preferente en las secciones de la ruta donde este tipo de suelo fue predominante.



**Tabla 40 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales
(suelo cohesivo S1 con E1 VS suelo mixto S3 con E1)**

	S1 (suelo cohesivo) + E1	S3 (suelo mixto) + E1
Media	7.333333333	42.88
Varianza	0.068888889	0.883266667
Observaciones	4	4
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-72.85761064	
P(T<=t) una cola	2.84919E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	5.69838E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

La tabla 40 presentó los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando los efectos de la estabilización con relaves de flotación de cobre (E1) en dos tipos de suelos: suelo cohesivo (S1) y suelo mixto (S3). Esta prueba tuvo como objetivo determinar si existió una diferencia significativa entre las medias de los CBR de ambos suelos después de la incorporación de relaves de flotación de cobre.

En primer lugar, los valores de media mostraron una diferencia considerable entre los dos tipos de suelo. El suelo cohesivo (S1) con relaves de flotación de cobre tuvo un valor de 7.33, mientras que el suelo mixto (S3) con relaves de flotación de cobre alcanzó un valor de 42.88. Esto indicó que el suelo mixto estabilizado con relaves de flotación de cobre tuvo una capacidad de soporte mucho mayor que el suelo cohesivo estabilizado con la misma cantidad de relaves de flotación de cobre. Esta diferencia sugirió que el relave de flotación de cobre tuvo un impacto más fuerte en suelo mixto, mejorando significativamente su resistencia, lo que fue relevante para el afirmado de la ruta AP-917.

El valor crítico de t (una cola) fue 2.85, y el valor crítico de t (dos colas) fue 3.18. Dado que el estadístico de t (-72.86) fue mucho menor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no existió diferencia entre las medias de ambos suelos. Esto confirmó que la estabilización con relaves de flotación de cobre tuvo un efecto mucho más favorable en suelo mixto que en suelo cohesivo.

Estos resultados de la prueba t mostraron que la estabilización con relaves de flotación de cobre tuvo un impacto mucho mayor en la resistencia de los suelos mixtos en comparación con los suelos cohesivos. Esto sugirió que, en el contexto de la ruta AP-917, el relave de flotación de cobre pudo ser una opción más eficaz para la estabilización de suelo mixto, ya que mejoró significativamente su capacidad de soporte. La diferencia significativa entre las medias también destacó la necesidad de considerar el tipo de suelo en la selección de materiales estabilizantes, lo que pudo optimizar los costos, la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917.

Tabla 41 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo no cohesivo S2 con E1 VS suelo mixto S3 con E1)

	S2 (suelo no cohesivo) + E1	S3 (suelo mixto) + E1
Media	25.6	42.88
Varianza	14.32666667	0.883266667
Observaciones	4	4
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-8.861557882	
P(T<=t) una cola	0.001514784	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	0.003029568	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

La tabla 41 presentó los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el efecto del relave de flotación de cobre (E1) en dos tipos de suelo: suelo no cohesivo (S2) y suelo mixto (S3). En cuanto a los valores promedio de CBR, el suelo no cohesivo (S2) con relaves de flotación de cobre presentó una media de 25.60, mientras que el suelo mixto (S3) con relaves de flotación de cobre tuvo una media considerablemente más alta, de 42.88. Esta diferencia sugirió que el relave de flotación de cobre tuvo un impacto más pronunciado en el suelo mixto, proporcionando una mejora mucho mayor en su capacidad de soporte comparado con el suelo no cohesivo. Este hallazgo fue crucial para el diseño del afirmado de la ruta AP-917, ya que implicó que, en zonas con suelos mixtos, el relave de flotación de cobre pudo ser más eficaz para mejorar la resistencia y durabilidad del afirmado.

En términos de varianza, el suelo no cohesivo (S2) tuvo una varianza significativamente más alta, 14.33, en comparación con el suelo mixto (S3), que tuvo una varianza mucho más baja de 0.88. Esta mayor dispersión en los valores del CBR del suelo no cohesivo sugirió que la respuesta al tratamiento con relaves de flotación de cobre fue menos consistente, es decir, que algunos puntos del suelo no cohesivo estabilizado responden mucho mejor que otros, lo que podría indicar una heterogeneidad en la estructura del suelo no cohesivo o en la distribución de los relaves de flotación de cobre. Por otro lado, la menor varianza en el suelo mixto indicó una respuesta más uniforme al tratamiento, lo que hizo que el relave de flotación de cobre fuera más predecible y confiable en su efectividad en este tipo de suelo.

El valor crítico de t para una cola fue 2.35, y para dos colas fue 3.18. Como el estadístico de t (-8.86) fue mucho menor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no existió diferencia entre las medias de los dos grupos. Este rechazo reforzó la idea de que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto significativamente mayor sobre el suelo mixto en términos de capacidad de soporte y resistencia en comparación con el suelo no cohesivo.

Los resultados de esta prueba t confirmaron que la estabilización con relaves de flotación de cobre tuvo un impacto mucho más favorable en los suelos mixtos que en los suelos no cohesivos, en términos de mejora de la resistencia del suelo.



5.2.2 Contratación de hipótesis específicas

Tabla 42 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E1 vs suelo natural S1)

	S1 (suelo cohesivo) + E1	suelo natural S1
Media	7.333333333	12.67333333
Varianza	0.103333333	0.103333333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-20.34542035	
P(T<=t) una cola	1.72303E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	3.44606E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

La tabla 42 presentó los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando los efectos de los relaves de flotación de cobre (E1) en un suelo cohesivo (S1) frente al suelo natural cohesivo (S1) sin relaves de flotación de cobre. Al observar las medias de las dos muestras, se destacó que el suelo cohesivo (S1) + E1 tuvo un CBR promedio de 7.33, mientras que el suelo natural cohesivo (S1) presenta un valor promedio más alto de 12.67. Esta diferencia en las medias indicó que, aunque la incorporación de relaves de flotación de cobre tuvo un efecto sobre el suelo cohesivo, este no generó una mejora significativa en su resistencia, ya que la media con relaves de flotación de cobre fue considerablemente más baja que la del suelo natural sin estabilizar. Este resultado sugirió que los relaves de flotación de cobre no lograron mejorar las propiedades mecánicas del suelo cohesivo en la misma magnitud que otros materiales estabilizantes pudieron hacerlo.

El valor crítico de t para una cola fue 2.13, y para dos colas fue 2.78. Dado que el estadístico t calculado (-20.35) fue mucho menor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no hubo diferencia entre las medias de

ambos grupos, confirmando que el relave de flotación de cobre no tuvo el efecto esperado sobre el suelo cohesivo en términos de mejora de la resistencia.

Por ende, la prueba t mostró que, en el caso del suelo cohesivo, la incorporación de relaves de flotación de cobre no mejoró su resistencia de manera significativa, ya que la media de CBR para el suelo cohesivo con relaves de flotación de cobre fue considerablemente menor que para el suelo natural cohesivo. Este hallazgo sugirió que el relave de flotación de cobre no fue un material adecuado para estabilizar suelos cohesivos, y su uso en este tipo de suelo en particular no aportó mejoras significativas en su capacidad de soporte. En el contexto de la ruta AP-917, pudo ser más efectivo considerar otros materiales estabilizantes para suelos cohesivos si se busca mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado.

Tabla 43 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E2 vs suelo natural S1)

	S1 (suelo cohesivo) + E2	suelo natural S1
Media	4.733333333	12.67333333
Varianza	0.103333333	0.103333333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-30.25143025	
P(T<=t) una cola	3.55615E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	7.11231E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

La tabla 43 mostró los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el efecto de la estabilización de suelo cohesivo (S1) con relaves de flotación de cobre (E2) frente al suelo natural cohesivo (S1). Los resultados mostraron que la media de CBR para el suelo cohesivo (S1) + E2 fue de 4.73, mientras que el suelo natural cohesivo (S1) tuvo un valor promedio de 12.67. Esta diferencia considerable en las medias sugirió que la incorporación de

relaves de flotación de cobre no mejoró la resistencia del suelo cohesivo y, de hecho, redujo su capacidad de soporte en comparación con el suelo natural sin estabilizar. Este hallazgo fue crucial para entender el comportamiento del relave de flotación de cobre en suelos cohesivos, ya que implicó que su estabilización no produjo los beneficios esperados en términos de resistencia.

El valor crítico de t para una cola fue 2.13, y para dos colas fue 2.78. Dado que el estadístico t calculado de -30.25 fue mucho menor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula, que afirmaba que no existió diferencia significativa entre las medias de los dos grupos.

En conclusión, los resultados de la prueba t sugirieron que los relaves de flotación de cobre no fueron eficaces como estabilizante para los suelos cohesivos. De hecho, la incorporación de relaves de flotación de cobre disminuyó la resistencia del suelo, lo que generó problemas en la durabilidad y resistencia del afirmado. Este resultado fue particularmente importante para la ruta AP-917, ya que señaló que la estabilización con relaves de flotación de cobre no debía ser aplicada en suelos cohesivos debido a sus efectos perjudiciales.

Tabla 44 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo cohesivo S1 con E3 vs suelo natural S1)

	S1 (suelo cohesivo) + E3	suelo natural S1
Media	3.433333333	12.67333333
Varianza	0.103333333	0.103333333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-35.2044352	
P(T$\leq t$) una cola	1.94267E-06	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T $\leq t$) dos colas	3.88534E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

La tabla 44 presentó los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el efecto de relaves de flotación de cobre (E3) en el suelo cohesivo (S1) frente al suelo natural cohesivo (S1) sin relaves de flotación de cobre. El propósito de esta prueba fue determinar si la estabilización del suelo cohesivo con relaves de flotación de cobre (E3) tuvo un impacto significativo en la capacidad de soporte de dicho suelo, medida a través del CBR al 95 %.

En primer lugar, los valores de media mostraron una diferencia sustancial entre los dos grupos. El suelo cohesivo (S1) + E3 tuvo un valor de CBR promedio de 3.43, mientras que el suelo natural cohesivo (S1) tuvo un valor promedio de 12.67. Este contraste significativo indica que el relave de flotación de cobre (E3) no mejoró la resistencia del suelo cohesivo y, en cambio, pareció disminuirla considerablemente. Esto sugirió que la incorporación de relaves de flotación de cobre no fue eficaz para estabilizar suelos cohesivos, lo que pudo afectar negativamente en la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917, ya que el suelo estabilizado mostró una resistencia mucho menor en comparación con el suelo natural.

El valor crítico de t para una cola fue 2.13, y para dos colas fue 2.78. Dado que el estadístico t calculado (-35.20) fue mucho menor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no existió diferencia entre las medias de los dos grupos. Este rechazo confirmó que el relave de flotación de cobre tuvo un impacto significativamente negativo sobre el suelo cohesivo en comparación con el suelo natural cohesivo.

Los resultados de la prueba t indicaron que la estabilización de suelo cohesivo con relaves de flotación de cobre (E3) no fue beneficiosa y, en realidad, disminuyó su capacidad de soporte de manera significativa. Esto sugirió que, en el caso de la ruta AP-917, la estabilización con relaves de flotación de cobre no debió ser considerada para suelos cohesivos, ya que pudo reducir la calidad y durabilidad del afirmado. Otros materiales estabilizantes o métodos deben ser evaluados para mejorar la resistencia y la durabilidad de los suelos cohesivos en esta ruta.



**Tabla 45 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales
(suelo no cohesivo S2 con E1 vs suelo natural S2)**

	S2 (suelo no cohesivo) + E1	suelo natural S2
Media	25.6	17.63333333
Varianza	21.4899999999997	37.52333333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	1.796231054	
P(T<=t) una cola	0.07344061	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.14688122	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

La tabla 45 presentó los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el efecto de los relaves de flotación de cobre (E1) en el suelo no cohesivo (S2) frente al suelo natural no cohesivo (S2). Los valores de media mostraron que el suelo no cohesivo (S2) + E1 tuvo un CBR promedio de 25.60, mientras que el suelo natural no cohesivo (S2) tuvo un valor promedio más bajo de 17.63. Esta diferencia indicó que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto positivo sobre la resistencia del suelo no cohesivo, ya que el CBR aumentó significativamente con la estabilización, lo que mejoró las propiedades mecánicas del suelo para su uso en la construcción del afirmado de la ruta AP-917.

En cuanto a las varianzas, el suelo no cohesivo (S2) + E1 tuvo una varianza de 21.49, mientras que el suelo natural no cohesivo (S2) presentó una varianza mayor de 37.52. Esto indicó que, aunque la media del suelo no cohesivo con relaves de flotación de cobre fue más alta, la dispersión de los valores del CBR en este caso fue más baja, lo que pudo señalar que el tratamiento con relaves de flotación de cobre generó una respuesta más homogénea en términos de mejora de la resistencia. Por otro lado, el suelo natural mostró una mayor variabilidad en los

valores del CBR, lo que pudo reflejar que su comportamiento fue menos predecible y más sensible a las condiciones del terreno.

El valor de p para una cola fue 0.073, lo que indicó que la diferencia observada entre las medias fue casi significativa, pero no alcanzó el umbral comúnmente utilizado de 0.05 para ser considerado como tal en una prueba de una cola. Sin embargo, el valor de p para dos colas fue 0.147, lo que indicó que la diferencia entre las medias no fue estadísticamente significativa al considerar ambas direcciones de la diferencia. Estos valores sugirieron que, aunque hubo una tendencia a favor del relave de flotación de cobre, esta diferencia no fue lo suficientemente fuerte como para rechazar la hipótesis nula de que no hubo diferencia entre los grupos.

Estos resultados de esta prueba t sugirieron que los relaves de flotación de cobre tuvieron un efecto positivo sobre la capacidad de soporte del suelo no cohesivo, pero la diferencia no fue lo suficientemente significativa como para considerarla como una mejora sustancial desde el punto de vista estadístico.

Tabla 46 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo no cohesivo S2 con E2 vs suelo natural S2)

	S2 (suelo no cohesivo) + E2	suelo natural S2
Media	20.23333333	17.63333333
Varianza	19.42333333	37.52333333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	0.596760159	
P(T<=t) una cola	0.291401134	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.582802268	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

La tabla 46 mostró los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el impacto de relaves de flotación de cobre (E2) en el suelo no cohesivo (S2) frente al suelo natural no cohesivo (S2). En cuanto a los valores de media, el suelo no cohesivo (S2) + E2 tuvo un CBR promedio de 20.23, mientras que el suelo natural no cohesivo (S2) tuvo un valor promedio de 17.63. Esta diferencia, aunque fue significativa en términos absolutos, fue relativamente pequeña en comparación con otros tratamientos con relaves de flotación de cobre. A pesar de que el suelo con relaves de flotación de cobre mostró una mejora en la resistencia, el suelo natural no cohesivo también mantuvo un valor considerable. Esto sugirió que, si bien los RFC tuvieron un efecto positivo sobre el suelo no cohesivo, la magnitud de la mejora no fue tan grande como en otros tipos de estabilización.

En cuanto a las varianzas, el suelo no cohesivo (S2) + E2 tuvo una varianza de 19.42, mientras que el suelo natural no cohesivo (S2) presentó una varianza mucho mayor de 37.52. Este hallazgo indicó que, aunque el relave de flotación de cobre mejoró la resistencia del suelo no cohesivo, la dispersión de los valores en este grupo fue más baja, lo que sugirió que el tratamiento con relaves de flotación de cobre tuvo un efecto más homogéneo y predecible en la mejora del CBR. En cambio, el suelo natural mostró una mayor variabilidad, lo que pudo implicar que este tipo de suelo respondió de manera más variable a las condiciones de carga.

El valor crítico de t para una cola fue 2.13, y para dos colas fue 2.78. Dado que el estadístico t calculado (0.60) fue considerablemente menor que ambos valores críticos, se pudo no rechazar la hipótesis nula de que no existió diferencia significativa entre las medias de los dos grupos. Este resultado indicó que, desde el punto de vista estadístico, los relaves de flotación de cobre no tuvieron un impacto significativo en la mejora de la resistencia del suelo no cohesivo en comparación con el suelo natural no cohesivo.

En conclusión, los resultados de la prueba t sugirieron que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto positivo sobre la resistencia del suelo no cohesivo, pero la mejora no fue estadísticamente significativa. Esto implicó que el relave de flotación de cobre pudo ser una opción viable para la estabilización de suelos no

cohesivos en la ruta AP-917, pero su efectividad fue limitada en comparación con otros estabilizantes.

Tabla 47 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo no cohesivo S2 con E3 vs suelo natural S2)

	S2 (suelo no cohesivo) + E3	suelo natural S2
Media	13.66666667	17.63333333
Varianza	9.963333333	37.52333333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-0.997012243	
P(T<=t) una cola	0.196119746	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T<=t) dos colas	0.392239493	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

La tabla 47 mostró los resultados de una prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el impacto de relaves de flotación de cobre (E3) sobre el suelo no cohesivo (S2) frente al suelo natural no cohesivo (S2). En primer lugar, se observó que la media de CBR para el suelo no cohesivo (S2) + E3 fue de 13.67, mientras que el suelo natural no cohesivo (S2) tuvo una media de 17.63. Aunque la media de CBR en el suelo estabilizado con relaves de flotación de cobre fue más baja que la del suelo natural, ambas fueron relativamente cercanas, lo que sugirió que el relave de flotación de cobre (E3) no produjo una mejora significativa en la resistencia del suelo no cohesivo. Esta diferencia fue pequeña, lo que pudo implicar que el suelo natural mantuvo una buena capacidad de soporte incluso sin tratamiento, o que el relave de flotación de cobre no tuvo un efecto sustancial en la mejora de la resistencia de este tipo de suelo.

En cuanto a las varianzas, el suelo no cohesivo (S2) + E3 presentó una varianza de 9.96, mientras que el suelo natural no cohesivo (S2) tuvo una varianza considerablemente mayor de 37.52. Esto indicó que el suelo no cohesivo con

relaves de flotación de cobre mostró menos dispersión en los valores de CBR, lo que pudo sugerir que el tratamiento con relaves de flotación de cobre produjo una respuesta más consistente en términos de resistencia. Por otro lado, el suelo natural presentó una mayor dispersión, lo que pudo reflejar una mayor sensibilidad del suelo a las variaciones en las condiciones ambientales o de carga.

El valor crítico de t para una cola fue 2.35, y para dos colas fue 3.18. Dado que el estadístico t calculado (-0.997) fue mucho menor que ambos valores críticos, no se pudo rechazar la hipótesis nula de que no existió una diferencia significativa entre las medias de ambos grupos. Esto indicó que el suelo no cohesivo estabilizado con relaves de flotación de cobre no presentó una mejora significativa en términos de resistencia comparado con el suelo natural no cohesivo.

Dando que los resultados de la prueba t mostraron que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto limitado en la mejora de la resistencia del suelo no cohesivo. Este hallazgo indicó que los relaves de flotación de cobre pudo no ser el estabilizante más adecuado para suelo no cohesivo en la ruta AP-917 y que otras alternativas o tratamientos pudieron ser necesarios para lograr mejoras más sustanciales en la resistencia del suelo y en la durabilidad de la carretera.

Tabla 48 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo mixto S3 con E1 vs suelo natural S3)

	S3 (suelo mixto) + E1	suelo natural S3
Media	42.88	32.57666667
Varianza	1.3249	0.194433333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	14.47810909	
P($T \leq t$) una cola	0.000357188	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P($T \leq t$) dos colas	0.000714375	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

En la tabla 48, el suelo mixto con relaves de flotación de cobre (S3 + E1) tuvo un valor de CBR promedio de 42.88, mientras que el suelo natural mixto (S3) tuvo un valor promedio de 32.58. Esta diferencia en las medias sugirió que el relave de flotación de cobre mejoró de manera considerable la resistencia del suelo mixto, lo que fue prometedor para la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917. El valor crítico de t para una cola fue 2.35, y para dos colas fue 3.18. Dado que el estadístico t calculado (14.48) fue mucho mayor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no existió diferencia entre las medias de los dos grupos. Este rechazo confirmó que los relaves de flotación de cobre tuvieron un impacto significativo en la mejora de la resistencia del suelo mixto.

En contraste, los resultados de la prueba t indicaron que los relaves de flotación de cobre mejoraron significativamente la capacidad de soporte del suelo mixto. La diferencia significativa en el CBR entre el suelo mixto estabilizado con relaves de flotación de cobre y el suelo natural mixto sugirió que el relave de flotación de cobre fue una alternativa efectiva para la estabilización de este tipo de suelo, lo cual pudo mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado en la ruta AP-917.

Tabla 49 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (Suelo mixto S3 con E2 vs Suelo natural S3)

	S3 (suelo mixto) + E2	suelo natural S3
Media	51.05666667	32.57666667
Varianza	0.100633333	0.194433333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	58.92539724	
P(T$\leq t$) una cola	2.48358E-07	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T $\leq t$) dos colas	4.96716E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

En la tabla 49, se observó que la media del CBR para el suelo mixto con relaves de flotación de cobre (S3 + E2) fue de 51.06, mientras que el suelo natural mixto (S3) tuvo un valor promedio de 32.58. Esta diferencia en las medias fue significativa y sugirió que el relave de flotación de cobre mejoró considerablemente la capacidad de soporte del suelo mixto. El aumento en la resistencia fue notable, lo que indicó que el relave de flotación de cobre (E2) tuvo un efecto positivo sobre las propiedades mecánicas del suelo, especialmente en términos de mejorar la resistencia y durabilidad del afirmado de la ruta AP-917.

El valor crítico de t para una cola fue 2.13, y para dos colas fue 2.78. Dado que el estadístico t calculado (58.93) fue mucho mayor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no hubo diferencia entre las medias de los dos grupos. Los resultados de la prueba t mostraron que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto significativo en la mejora de las propiedades mecánicas del suelo mixto, aumentando sustancialmente su capacidad de soporte. Esto demostró que los relaves de flotación de cobre fueron una alternativa efectiva para la estabilización de suelos en la ruta AP-917, lo que pudo mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la carretera.

Tabla 50 — Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales (suelo mixto S3 con E3 vs suelo natural S3)

	S3 (suelo mixto) + E3	suelo natural S3
Media	60.64333333	32.57666667
Varianza	0.025433333	0.194433333
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	103.6744567	
P(T$\leq t$) una cola	9.89191E-07	
Valor crítico de t (una cola)	2.353363435	
P(T $\leq t$) dos colas	1.97838E-06	
Valor crítico de t (dos colas)	3.182446305	

La tabla 50 presentó los resultados de la prueba t para dos muestras con varianzas desiguales, comparando el impacto del relave de flotación de cobre (E3) en el suelo mixto (S3) frente al suelo natural mixto (S3). El propósito de esta prueba fue evaluar si los relaves de flotación de cobre mejoraron significativamente la resistencia del suelo mixto, medida a través del CBR al 95 %, en el contexto de la ruta AP-917.

La media del CBR para el suelo mixto con relaves de flotación de cobre (S3 + E3) fue de 60.64, mientras que el suelo natural mixto (S3) tuvo un valor promedio de 32.58. Este aumento significativo en la media del suelo estabilizado con relaves de flotación de cobre sugirió que el tratamiento con relaves de flotación de cobre mejoró considerablemente la capacidad de soporte del suelo mixto. La diferencia de más de 25 puntos en el CBR indicó una mejora sustancial en la resistencia del suelo, lo cual fue crucial para garantizar la estabilidad y desempeño del afirmado en la ruta AP-917.

El valor crítico de t para una cola fue 2.35, y para dos colas fue 3.18. Dado que el estadístico t calculado (103.67) fue mayor que ambos valores críticos, se pudo rechazar la hipótesis nula de que no hubo diferencia entre las medias de los dos grupos. Este resultado confirmó que el relave de flotación de cobre tuvo un impacto positivo en la mejora de la resistencia del suelo mixto, lo que subrayó la eficacia de este tratamiento para estabilizar el suelo mixto en la ruta AP-917.

Los resultados de la prueba t indicaron que el relave de flotación de cobre tuvo un efecto significativo en la mejora de las propiedades mecánicas del suelo mixto. La diferencia significativa en el CBR entre el suelo mixto estabilizado con relaves de flotación de cobre y el suelo natural mixto sugirió que el relave de flotación de cobre fue una alternativa efectiva para la estabilización de este tipo de suelo, mejorando su capacidad de soporte y, por lo tanto, su desempeño en la construcción de afirmados en la ruta AP-917. Este hallazgo destacó el potencial del relave de flotación de cobre como una opción viable para optimizar la calidad del suelo en proyectos viales en la región de Cotabambas, con un impacto positivo en la resistencia y estabilidad del afirmado.

5.3 Discusión

5.3.1 Discusión de resultados del objetivo general

El objetivo general de esta investigación fue "Determinar la influencia de la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023". En consonancia, la hipótesis general postuló que "La incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos mejora significativamente la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023".

Los resultados evidenciaron que la influencia de los relaves de flotación de cobre (RFC) en la estabilización de suelos fue significativa, pero no uniformemente positiva para todos los tipos de suelos. Específicamente, se constató una mejora substancial en la resistencia y durabilidad para los suelos no cohesivos y mixtos, mientras que para los suelos cohesivos se observó una disminución en la capacidad de soporte (CBR).

Esta dualidad en los resultados corroboró parcialmente la hipótesis general. Estudios como el de Yilmaz y Fall (2017) en su investigación "Paste Tailings Management: Stabilization Techniques for Sustainable Engineering", reportaron un incremento del índice CBR en suelos limosos (45 %) y arcillosos (35 %), sugiriendo una mejora generalizada. De manera análoga, Behera et al. (2020) hallaron un aumento del 50 % en la resistencia a la compresión al incorporar relaves en suelos, apoyando la premisa de una mejora. En el ámbito nacional, la investigación de Puma y Quispe (2024), y los estudios de Romero (2020) y Llacza (2020), consistentemente hallaron mejoras en la capacidad de soporte y densidad de subrasantes con la adición de relaves mineros, lo que reforzó la viabilidad de estos materiales.

Sin embargo, la discrepancia observada en los suelos cohesivos (limosos) de la ruta AP-917 de este estudio (donde el CBR disminuyó con la adición de RFC) contrastó directamente con las generalizaciones de Yilmaz y Fall (2017) y con los hallazgos de Fernández et al. (2005) en Huánuco, quienes reportaron mejoras en suelos arcillosos con relaves. Esta divergencia pudo atribuirse a las características

mineralógicas y geoquímicas específicas de los relaves de flotación de cobre provenientes de la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C., así como a la particular composición de los suelos cohesivos (limosos) de Cotabambas.

En síntesis, si bien la incorporación de relaves de flotación de cobre influyó positivamente en la mejora de la resistencia y durabilidad del afirmado de la ruta AP-917, esta mejora fue condicionada al tipo de suelo predominante. La hipótesis general se cumplió para suelos no cohesivos y mixtos, pero se rechazó para suelos cohesivos bajo las condiciones de esta investigación.

5.3.2 Discusión de resultados del objetivo específico 1

El objetivo específico 1 se centró en "Determinar cuál de los tipos de suelo (cohesivo, no cohesivo o mixto) presenta el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023". La hipótesis específica 1 sostuvo que "El tipo de suelo mixto presenta el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023".

Los resultados de laboratorio corroboraron contundentemente la hipótesis específica 1. Se verificó que el suelo mixto (S3) exhibió el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre. Específicamente, el suelo mixto obtuvo un valor de CBR de 60.64 % con una incorporación del 25 % de relaves, lo que representó un incremento del 86.13 % respecto a su valor natural de 32.58 % (Tabla 37). Este comportamiento se debió a la optimización de la granulometría al adicionar los relaves, que por su naturaleza arenosa (tabla 11) rellenaron los vacíos en la matriz del suelo mixto, mejorando su densidad y cohesión interna.

Este hallazgo fue consistente con la literatura que sugirió que la adición de material granular a suelos con una distribución granulométrica deficiente pudo mejorar sus propiedades mecánicas. Aunque la mayoría de los antecedentes internacionales, como Li et al. (2021) o Moyo et al. (2019), se enfocaron en suelos limosos o arcillosos y no realizaron una comparación explícita entre los tres tipos



de suelos (cohesivo, no cohesivo, mixto), los resultados de esta investigación proporcionaron una evidencia clara de la superioridad de los suelos mixtos para ser estabilizados con RFC en el contexto de Cotabambas. La magnitud del incremento (86.13 %) fue notablemente superior al 30 % reportado por Li et al. (2021) en suelos limosos, lo que destacó la particular idoneidad de los relaves de Minera Máximo Jesús S.A.C. para la estabilización de suelos mixtos de la ruta AP-917.

En contraste, el suelo no cohesivo (S2) también mostró mejoras significativas, alcanzando un CBR de 25.60 % con un 5 % de relaves (un incremento del 45.20 %). Sin embargo, para el suelo cohesivo (S1), la incorporación de relaves de flotación de cobre resultó en una disminución del CBR en todas las proporciones.

5.3.3 Discusión de resultados del objetivo específico 2

El objetivo específico 2 fue "Identificar los resultados más favorables y desfavorables en el porcentaje de capacidad de soporte (CBR) con la incorporación de relaves de flotación de cobre al 5 %, 15 % y 25 % en los tipos de suelo de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023". La hipótesis específica 2 estableció que "El resultado más favorable del porcentaje de la capacidad de soporte (CBR) se obtendrá en el tipo de suelo mixto con la incorporación de un 25 % de relaves de flotación de cobre, mientras que para el tipo de suelo cohesivo con la utilización de un 25 % de relaves de flotación de cobre se tuvo resultados desfavorables e inferiores respecto al CBR para la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023".

Los resultados de laboratorio corroboraron en gran medida la hipótesis específica 2. Se constató que el resultado más favorable para el CBR se obtuvo en el suelo mixto (S3) con la incorporación de un 25 % de relaves de flotación de cobre, donde el CBR alcanzó un valor de 60.64 % (tabla 50), superando en 86.13 % su valor natural. Este porcentaje de adición permitió maximizar la densificación y la interacción entre las partículas del suelo mixto y los relaves, generando una estructura más resistente. Este hallazgo se alineó con la tendencia de mejora observada por Zhang et al. (2022) en su investigación sobre la estabilización de



suelos con subproductos industriales, aunque la concentración óptima varió según el tipo de material y suelo.

Por otro lado, se verificó que los resultados más desfavorables se registraron en el suelo cohesivo (S1). La adición de relaves de flotación de cobre a este tipo de suelo consistentemente redujo su capacidad de soporte. Específicamente, con la incorporación de un 25 % de relaves, el CBR del suelo cohesivo (limoso) disminuyó a 3.43 % (tabla 44), lo que representó una reducción del 72.93 % respecto a su valor natural de 12.67 %. Esta drástica reducción contrastó notablemente con los antecedentes nacionales que generalmente reportaron mejoras en suelos arcillosos. Fernández et al. (2005) encontraron un incremento significativo en la capacidad de soporte de suelos arcillosos en Huánuco con la adición de un 10 % de relave. La diferencia se debió a la especificidad del relave de flotación de cobre utilizado, que, al ser un subproducto con propiedades químicas y granulométricas particulares (Tabla 11), pudo haber inducido efectos adversos en la plasticidad y la estructura de los limos presentes en los suelos cohesivos de la ruta AP-917, exacerbando su comportamiento expansivo en lugar de mejorar su capacidad de soporte. La presencia de partículas finas en los relaves de flotación de cobre pudo haber aumentado la plasticidad del suelo cohesivo (limoso), la falta de propiedades puzolánicas adecuadas para la interacción con los limos no generó los enlaces cementantes esperados.

Para el suelo no cohesivo (S2), el resultado más favorable fue con la incorporación del 5 % de relaves, alcanzando un CBR de 25.60 %, un incremento del 45.20 % (tabla 41). Aunque positivo, este resultado demostró que un porcentaje más alto de relaves pudo no ser siempre lo más óptimo para este tipo de suelo.

5.3.4 Discusión de resultados del objetivo específico 3

El objetivo específico 3 fue "Evaluar el costo-beneficio de la incorporación de relaves de flotación de cobre frente a otros estabilizantes en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023". La hipótesis específica 3 planteó que "La incorporación de relaves de flotación de cobre es menos costoso y más efectivo en comparación con otros materiales estabilizantes, considerando su disponibilidad, acceso de adquisición y las mejoras significativas



en la capacidad de soporte (CBR) en la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023".

El análisis costo-beneficio (tabla 36) y los resultados de CBR corroboraron en gran medida la hipótesis específica 3, especialmente para los suelos mixtos y no cohesivos. Se determinó que la incorporación de relaves de flotación de cobre fue una opción económicamente ventajosa, ofreciendo un ahorro estimado del 30 % en comparación con estabilizantes convencionales como la cal o los polímeros. Esta ventaja económica se derivó principalmente de su naturaleza residual, que implicó un bajo costo de adquisición, y de su disponibilidad local en la región de Apurímac (cercana a la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C.), lo que redujo significativamente los costos logísticos y de transporte. Este ahorro fue consistente con los hallazgos de Behera et al. (2020), quienes reportaron una reducción del 25 % en los costos de construcción al utilizar relaves mineros, y de Anicama (2010), quien encontró una reducción del 15 %. La disponibilidad y el acceso local fueron factores clave que diferenciaron a los relaves de flotación de cobre de otros estabilizantes como el cemento, que, si bien es efectivo, implicó un alto costo y un elevado impacto ambiental en su producción (Tabla 36).

En términos de efectividad, para los suelos mixtos (S3), la mejora en el CBR fue del 86.13 % (de 32.58 a 60.64 con 25 % RFC), y para los suelos no cohesivos (S2), del 45.20 % (de 17.63 a 25.60 con 5 % RFC). Estas mejoras fueron comparables o superiores a las obtenidas con otros estabilizantes, lo que validó la efectividad técnica del RFC en estos tipos de suelos. Puma y Quispe (2024), así como Romero (2020) y Llacza (2020), también concluyeron que el relave minero actuó como un estabilizador efectivo, mejorando las propiedades del suelo y ofreciendo soluciones sostenibles.

Sin embargo, para los suelos cohesivos (S1), el análisis costo-beneficio no fue favorable, ya que la incorporación de relaves de flotación de cobre resultó en una disminución del CBR, haciendo que su uso fuera inefectivo y potencialmente contraproducente en términos de durabilidad del afirmado. La presente investigación subrayó la necesidad de una evaluación costo-beneficio contextualizada que considerara la interacción específica del material estabilizante con las propiedades geotécnicas de cada tipo de suelo.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Del objetivo general, se concluyó que la incorporación de relaves de flotación de cobre demostró una influencia positiva significativa en la capacidad de soporte de los suelos no cohesivos (S2) y mixtos (S3). En el suelo mixto, el índice CBR (California Bearing Ratio) aumentó de 32.58 % (suelo natural) a 60.64 % con una incorporación del 25 % de relaves de flotación de cobre, lo que representa un incremento del 86.13 %. Por su parte, el suelo no cohesivo alcanzó su desempeño óptimo con un 5 % de relaves de flotación de cobre, donde el CBR se elevó de 17.63 % a 25.60 %, lo que equivale a un incremento del 45.20 %. Sin embargo, en suelos cohesivos (S1), el CBR disminuyó en todas las proporciones de relaves de flotación de cobre, con un descenso del 42.15 % al pasar de 12.67 % (suelo natural) a 7.33 % con un 5 % de relaves de flotación de cobre. Estos resultados evidenciaron que los relaves de flotación de cobre fueron adecuados para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado en suelos no cohesivos y mixtos, pero no fueron recomendables para suelos cohesivos debido a su impacto negativo en la capacidad de soporte.

Del objetivo específico 1, se concluyó que el suelo mixto (S3) presentó el mayor incremento en la capacidad de soporte al incorporar relaves de flotación de cobre. Los valores del CBR aumentaron un 86.13 % con un 25 % de relaves de flotación de cobre, alcanzando un valor de 60.64 %. Este resultado fue superior al incremento observado en suelos no cohesivos (S2), donde el CBR aumentó un 45.20 % con un 5 % de relaves de flotación de cobre, y significativamente más alto que en suelos cohesivos (S1), donde el CBR disminuyó con cualquier proporción de relaves de flotación de cobre. La textura y composición granulométrica del suelo mixto permitieron una mejor integración con las partículas de relaves de flotación de cobre, optimizando sus propiedades mecánicas.



Del objetivo específico 2, se concluyó que los resultados más favorables se obtuvieron en el suelo mixto (S3) con un 25 % de relaves de flotación de cobre, donde el CBR alcanzó 60.64 %, superando en 86.13 % el valor natural del suelo (32.58 %). Por otro lado, los resultados más desfavorables se registraron en el suelo cohesivo (S1), donde el CBR disminuyó con cualquier porcentaje de relaves de flotación de cobre, siendo particularmente bajo con un 25 %, al caer de 12.67 % (suelo natural) a 3.43 %, una reducción del 72.93 %. Este contraste subrayó la necesidad de optimizar las proporciones de mezcla de los relaves de flotación de cobre de acuerdo con el tipo de suelo para maximizar los beneficios de la estabilización.

Del objetivo específico 3, se concluyó que el análisis costo-beneficio reveló que los relaves de flotación de cobre son una opción económica y técnicamente viable para estabilizar suelos mixtos y no cohesivos en el afirmado de la ruta AP-917. En términos de costos, los relaves de flotación de cobre ofrecieron un ahorro del 30 % en comparación con estabilizantes convencionales, como cal o polímeros, debido a su disponibilidad local y bajo costo de transporte. Además, el incremento del CBR en suelos mixtos (86.13 %) y no cohesivos (45.20 %) con relaves de flotación de cobre fue comparable o superior a los resultados obtenidos con otros estabilizantes, lo que reforzó su eficacia. Sin embargo, en suelos cohesivos, el bajo desempeño del CBR sugirió que los relaves de flotación de cobre no fueron una alternativa rentable, ya que no mejoraron la capacidad de soporte y pudieron requerir tratamientos adicionales para alcanzar los estándares de diseño necesarios.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda a instituciones gubernamentales y organismos técnicos, como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y los gobiernos locales, priorizar la utilización de relaves de flotación de cobre (RFC) exclusivamente para la estabilización de suelos no cohesivos (S2) y mixtos (S3) en proyectos viales. Esto se sustentará en los resultados obtenidos, los cuales demostraron un incremento significativo en la capacidad de soporte (CBR) para estos tipos de suelos (hasta 86.13 % en suelos mixtos y 45.20 % en suelos no cohesivos). Será crucial incorporar protocolos de caracterización geotécnica preliminar para la correcta clasificación de los suelos en campo, asegurando la aplicación óptima del RFC en zonas con disponibilidad local de este material.



A las universidades e instituciones académicas, se recomienda profundizar en estudios experimentales y de campo que validen la aplicación de las proporciones óptimas de RFC en suelos mixtos y no cohesivos, basándose en los resultados más favorables obtenidos. Los hallazgos de este estudio, donde el suelo mixto alcanzó su máximo CBR con 25 % de relaves y el no cohesivo con 5 %, ofrecen una base sólida para investigar los mecanismos específicos de interacción físico-química que propician estas mejoras. Esto permitirá a los futuros profesionales desarrollar soluciones aún más adaptadas a las características geotécnicas de cada terreno, maximizando los beneficios de estabilización y comprendiendo las reacciones a nivel microestructural.

Se recomienda a alumnos y equipos de investigación en geotecnia y gestión de residuos enfocarse en el desarrollo y evaluación de estabilizantes alternativos o combinaciones de aditivos para suelos cohesivos (S1). Dado que la presente investigación evidenció que el RFC no solo no mejora el CBR de estos suelos, sino que lo reduce significativamente (hasta 72.93 % de disminución con 25 % de relaves de flotación de cobre), es fundamental explorar soluciones que mitiguen estas limitaciones. Se sugiere realizar un análisis químico detallado de los relaves de flotación de cobre, estudiando la composición de óxidos como sílice, hierro y aluminio. Esto permitirá comprender su naturaleza puzolánica y la reactividad para optimizar las proporciones de mezcla. De este modo, se garantiza un desempeño óptimo y sostenible, especialmente en suelos con granulometría compleja.

Se recomienda a gobiernos locales y entidades municipales en regiones mineras desarrollar políticas públicas y promover convenios interinstitucionales con empresas mineras para la valorización y suministro regulado de relaves de flotación de cobre, destinados a proyectos de infraestructura vial. El análisis costo-beneficio demostró un ahorro del 30 % al utilizar RFC en suelos adecuados, lo que lo posiciona como una alternativa económica y ambientalmente sostenible al reutilizar un pasivo ambiental. La implementación de proyectos piloto en tramos de la ruta AP-917 con suelos mixtos y no cohesivos podría servir como modelo para replicar esta práctica, integrando criterios de economía circular y sostenibilidad en la gestión de infraestructuras públicas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, Julio, JIMÉNEZ, Marta y BENÍTEZ, Roberto. Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. En: *Revista Ingeniería de Construcción RIC* [en línea]. 2020, Vol. 35(1), pp. 5-20. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9411109>.

ANICAMA, Gerson Alfredo. *"Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios"*. Pontificia Universidad Católica del Perú, [en línea], 2010. [Consulta: 10-11-2023]. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/500>.

ARIAS, Fidias Gerardo. *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. 6ª ed. [en línea]. Caracas: Editorial Episteme C.A., 2012. ISBN: 980-07-8529-9. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <https://archive.org/details/2012ElProyectoDeInvestigacion>.

AVELLANEDA, Paulino y AVELLANEDA, Carmen. Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés (Perú). En: *Minería y Geología* [en línea]. 2020, Vol. 36(1). [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art3_No1_2020.

BEHERA, Bikash, SINGH, Anit y REDDY, Krishna. Evaluation of mine tailings in road construction. En: *Construction and Building Materials* [en línea]. 2020, Vol. 250. [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118991.

BORJA, Manuel. *Metodología de la investigación científica para ingenieros* [en línea]. Chiclayo: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil.

COBEÑA, Hugo, ET AL. Pasivos ambientales, un análisis de importancia. Caso comunidad San Miguel de Sarampón, Bolívar – Ecuador. En: *Investigación Valdizana* [en línea]. 2023, Vol. 17(2). [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.33554/riv.17.2.1705.

COHEN PEÑA, Luis Alonso y PAZ CASTILLO, Percy Alejandro. *Mejoramiento del CBR adicionando escoria de acero blanca al suelo de la Ruta N° LI-810 con trayectoria: Emp. pe-3n (Quiruvilca) – Bandurria*. [Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, en línea]. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2021. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/654497>.



CRESWELL, John. *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 5ª ed. [en línea]. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2014. ISBN: 978-1-4522-2610-1. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/44825595/Creswell_Research_Design_Qualitative_Quantitative_and_Mixed_Methods_Approaches_5th_Edition.

FERNÁNDEZ, Javier y ÁLVAREZ, Pablo. *Estabilización de suelos arcillosos en Huánuco con relave*. En: *Revista de Ingeniería Civil*. 2005, Vol. 22(3). [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/rba/article/view/1000>.

GOMEZ, Isael y DE LA CRUZ, Sleyther. Análisis del afirmado con la adición de polímero acrilamida y cemento, Ocobamba, Chincheros, Apurímac 2023. En: *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología* [en línea]. 2023, Vol. 5(11). [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.57166/riqchary/v5.n1.2023.107.

HERBAS, Aldo y GARRAFA, Jherly Flor. *Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del afirmado, utilizando material granular reciclado del pavimento asfáltico en la carretera AP – 646, del distrito de Abancay – Abancay– Apurímac*, 2023. [Tesis de pregrado]. Abancay: Universidad Nacional José María Arguedas, 2023. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1493>.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. Sexta edición. México: MCGRAW-HILL/Interamericana Editores S.A., 2014. 634 p. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

HUAMANÍ, Zayda y CONDORI, Visayda. *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 kms) Abancay- Apurímac*. [Tesis de pregrado]. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes (UTEA), 2018. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14512/133>.

HUAMANÍ, José, RIMAYHUAMAN, Orlando y TITO, Xiomara. Influencia del Mantenimiento Vial y Satisfacción del Usuario. En: *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea]. 2022, Vol. 6(5). [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.37811/cl_rcm.v6i5.3202.

JRI INGENIERIA y ECOMETALES. *Manual de Uso. Manual de uso público reprocesamiento de relaves y recuperación de elementos de valor D288-MAN-GN-P2-001* [en línea]. [Santiago]: [s.n.], 2020. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://ecometales.cl/wp-content/uploads/2020/12/D288-MAN-GN-P2-001_Manual-de-uso-re-procesamiento-de-relaves.pdf.



LI, Li, ZHANG, Xiao y WU, Hui. Utilization of copper tailings in soil stabilization for road applications. En: *Soil Mechanics and Foundation Engineering* [en línea]. 2021, Vol. 58(4). [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.1007/s11204-021-09756-3.

LLACZA, Juan y CASTELLANOS, Eduardo. "Hongos filamentosos en relaves mineros contaminados con plomo y zinc". *Revista de Biotecnología Ambiental* [en línea]. 2020, vol. 8(2), pp. 55-70. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/rba/article/view/1000>.

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras [en línea]. Perú: Dirección General de Inversión Pública, 2015. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/pautas_metodologicas/carreteras/Pautas_Metodologicas_Pavimentos_Carreteras.pdf.

MOYO, Barbra, CHIVUNZE, Rudo y KASUMBA, James. Stabilization of tropical soils using mine tailings. En: *Geotechnical and Geological Engineering* [en línea]. 2019, Vol. 37(4). [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.1007/s10706-018-0708-3.

MTC, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. *Normas Técnicas Peruanas para la Evaluación de Suelos* [en línea]. Lima: MTC, 2016. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_tecnicas/documentos/manuales/Manual_de_Ensayo_de_Materiales_2016.pdf.

MTC, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos [en línea]. Lima: MTC, 2014. 281 p. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_tecnicas/documentos/manuales/Manual_de_Carreteras_Suelos_Geologia_Geotecnia_y_Pavimentos.pdf.

MTC, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de ensayo de materiales [en línea]. Lima: MTC, 2016. 1282 p. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_tecnicas/documentos/manuales/Manual_de_Ensayo_de_Materiales_2016.pdf.

NAVARRO MENDOZA, Elena Guadalupe, SÁNCHEZ CALVILLO, Adrià y ALONSO, Elia. "Estabilización de suelos arcillosos con cal para firmes y blocks". En: *19º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra / VII Volver a la Tierra* [en línea]. México: PRO TERRA, 2019. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352665023_Estabilizacion_de_suelos_arcillosos_co



n_cal_para_firmes_y_blocks_-_19_Seminario_Iberoamericano_de_Arquitectura_y_Construccion_con_Tierra_VII_Volver_a_la_Tierra.

NAZER, Amin, PAVEZ, Osvaldo, ROJAS, Francisco y AGUILAR, Claudio. "Una revision de los usos de las escorias de cobre". En: Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales [en línea]. Viña del Mar, Chile: [s.n.], 2010. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266684698_UNA_REVISION_DE_LOS_USOS_DE_LAS_ESCORIAS_DE_COBRE.

NAZER, Amin, PAVEZ, Osvaldo, ROJAS, Francisco y AGUILAR, Claudio. "Uso de escoria de cobre de un vertedero abandonado en mezclas asfálticas". *Obras y proyectos* [en línea]. 2021, vol. 30, pp. 91-100. [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.4067/s0718-28132021000200091.

OMS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Declaración de Helsinki: Principios éticos para las investigaciones médicas* [en línea]. Ginebra: OMS, 2013. [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <https://www.wma.net/es/polices-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>.

OSPINA VARGAS, Miguel; CHAVES VARGAS, Saieth A.; JIMÉNEZ PEÑA, Luis F. "Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero". *Revista Investigación, Desarrollo e Innovación* [en línea]. 2020, vol. 11(1), pp. 7-18. [Consulta: 10-11-2023]. DOI: 10.19053/20278306.v11.n1.2020.11692.

PASSETI, M. y GALCERAN, D. *Conociendo el suelo en profundidad: "Todos los suelos son distintos, todos tienen su personalidad"* [Informe de Proyecto Escolar, en línea]. Cacharí, Argentina: Instituto del Carmen, 2020. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: <https://lossuelosdemipais.crea.org.ar/wp-content/uploads/2020/11/CONOCIENDO-EL-SUELO-EN-PROFUNDIDAD-Instituto-del-carmen-Cachari.pdf>.

PEREZ MEJIAS, Yaichi Esteban A. *Utilización de escoria de cobre de CODELCO Ventanas como agregado pétreo para tratamientos superficiales asfálticos simples en la Región de Valparaíso* [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, en línea]. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2017. 139 p. [Consulta: 10-11-2025]. DOI: 10.71700/dspace-memorias/963.

PONCE LINARES, Juan Carlos y VELASQUE RAMOS, Roberto Carlos. *Aplicación del aditivo Sika Dust Seal en la estabilización de suelos para vías no pavimentadas en el tramo Antarumi – San Mateo, Tintay, Aymaraes – Apurímac* [Tesis de pregrado, en línea]. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2022. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1410>.



PORTILLA DÁVILA, Favio René. "Correlación entre el CBR de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares". *Conciencia Digital* [en línea]. 2022, vol. 5(4.1), pp. 37-51. [Consulta: 10-11-2025]. DOI: 10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2396.

PUMA MONTOYA, Luis Fernando y QUISPE LARA, Heydi Milagritos. *Comportamiento físico mecánico de la subrasante del camino vecinal de Cotaparaco al adicionar relave minero, Recuay - 2023* [Tesis de pregrado, en línea]. Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2024. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4853>.

RIVERA, Jhonathan F.; GÓMEZ, Jorge; ACOSTA, Fredy; GUZMÁN, Jorge. "Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión)". *Informador Técnico* [en línea]. 2020, vol. 84(2), pp. 177-190. [Consulta: 10-11-2025]. DOI: 10.23850/22565035.2530.

ROMERO ELIAS, Jesus Alonso. Estabilización de suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera Emp. Pe 3n (Cátac) – Túnel Kahuish – Chavín de Huántar – San Marcos – Emp. Pe – 14a (Succha) – 2017 [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, en línea]. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2020. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4434>.

UNAMBA, UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC. *Normas y principios éticos para la investigación científica* [Documento Institucional, en línea]. Apurímac: UNAMBA, Vicerrectorado de Investigación, 2021. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/6030>.

UNESCO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. *Ética en la investigación científica: Principios y normas* [en línea]. París: UNESCO, 22019. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370605_spa.

VALDERRAMA, Luis; OLGUÍN, David; y GONZALEZ GÓMEZ, Osvaldo. "Comparación de las propiedades de flotación entre pirita y pirrotina". *Información Tecnológica* [en línea]. 2024, vol. 35(2), pp. 3-12. [Consulta: 10-11-2025]. DOI: 10.4067/s0718-07642024000200001.

VIZCAÍNO MORENO, Gabriel; SILVA SOTO, Yimmy. "Influencia de la escoria de cobre como material cementicio suplementario en morteros". *Revista EIA* [en línea]. 2023, vol. 20(40), pp. 1-17. [Consulta: 10-11-2025]. DOI: 10.19073/rev.eia.v20n40.1.

YILMAZ, Erol y FALL, Mamoud. "Paste tailings management: Stabilization techniques for sustainable engineering". *Journal of Sustainable Mining* [en línea]. 2017, vol. 16(3), pp. 129-141. [Consulta: 10-11-2025]. DOI: 10.1016/j.jsm.2017.06.002.



ZAMORA, Carlos y ORTIZ, Eduardo. Estabilización de la subrasante mediante cal y cemento para una obra vial, ubicada en Rocafuerte-Tosagua sector El Junco. En: *Pol. Con.* [en línea]. 2023, Vol. 8(11). [Consulta: 10-11-2023]. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/6245/15725>.

ZAMBRANO CHINCHILLA, Tatiana; ZAMBRANO ARTEAGA, María Fernanda. "Estabilización de suelo con cal y cemento para el mejoramiento de subrasante". Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN [en línea]. 2023, vol. 7(13), pp. 165-179. [Consulta: 10-11-2025]. Disponible en: <http://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/download/395/666/1572>.

ZHANG, Wen, FANG, Zhi y HE, Zhen. Advanced techniques in soil stabilization with industrial by-products. En: *Advances in Civil Engineering Materials* [en línea]. 2022, Vol. 11, no. 2. [Consulta: 10-11-2023]. ISSN 2378-7575 (Electronic). DOI: 10.1520/ACEM20210340.



ANEXOS



Anexo A

Tabla 51 — Matriz de consistencia de estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES			METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Diseño
P.G: ¿Cómo influye la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023?	Determinar la influencia de la incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.	H.G: La incorporación de relaves de flotación de cobre en la estabilización de suelos mejora significativamente la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac – 2023.	Relaves de flotación de cobre	Porcentaje de incorporación de relaves de flotación de cobre en 5 %,15 % y 25 % en suelos cohesivos, no cohesivos y mixtos	Aplicación en muestras	Tipo de investigación Aplicada Enfoque: Cuantitativa Nivel: Correlacional - explicativo Diseño de la investigación: Experimental Población: Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917, provincia Cotabambas, Apurímac - 2023 Muestra: km 10+500 – km 18+000

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables dependientes	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
P.E.1. ¿Qué tipo de suelo (cohesivo, no cohesivo o mixto) tuvo mayor incremento en el CBR al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023? P.E.2. ¿Cuál es el porcentaje más favorable y desfavorable del CBR al estabilizar suelos con relaves de flotación de cobre al 5 %, 15 % y 25 % en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023? P.E.3. ¿Cuál es el costo-beneficio de usar relaves de flotación de cobre frente a otros estabilizantes en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023?	O.E.1. Determinar cuál de los tipos de suelo (cohesivo, no cohesivo o mixto) presenta el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023. O.E.2. Identificar los resultados más favorables y desfavorables en el porcentaje de capacidad de soporte (CBR) con la incorporación de relaves de flotación de cobre al 5 %, 15 % y 25 % en los tipos de suelo de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023. O.E.3. Evaluar el costo-beneficio de la incorporación de relaves de flotación de cobre frente a otros estabilizantes en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.	H.E.1. El tipo de suelo mixto presenta el mayor incremento en la capacidad de soporte (CBR) al incorporar relaves de flotación de cobre en la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023. H.E.2. El resultado más favorable del porcentaje de la capacidad de soporte (CBR) se obtendrá en el tipo de suelo mixto con la incorporación de un 25 % de relaves de flotación de cobre, mientras que para el tipo de suelo cohesivo con la utilización de un 25 % de relaves de flotación de cobre se tuvo resultados desfavorables e inferiores respecto al CBR para la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 - km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023. H.E.3. La incorporación de relaves de flotación de cobre es menos costoso y más efectivo en comparación con otros materiales estabilizantes, considerando su disponibilidad, acceso de adquisición y las mejoras significativas en la capacidad de soporte (CBR) en la estabilización del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023.	Estabilización de suelos	Capacidad de soporte de suelos cohesivos Capacidad de soporte de suelos no cohesivos Capacidad de soporte de suelos mixtos	• CBR • Expansión	observación directa, fotografías, revisión de documentos técnicos, fichas de laboratorio, instrumentos y/o equipos de laboratorio Técnicas para el análisis de datos: análisis estadístico inferencial mediante los Softwares SPSS Statistics 25 y análisis descriptivo mediante Microsoft Excel

Anexo B

Fotografías de la visita a la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C.



Figura 29 — Ubicación de la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C.



Figura 30 — Relave de la Planta Minera Máximo Jesús S.A.C.



Figura 31 — Extracción de las muestras de Relaves de flotación de cobre

Anexo C

Fotografías de la extracción de muestras de suelo de las calicatas en estudio



Figura 32 — Inicio y fin de la extracción de muestras en campo



Figura 33 — Extracción de la muestra calicata 01 (margen derecho $h = 1.5$ m) y calicata 02 (margen derecho $h = 1.5$ m)



Figura 34 — Extracción de la muestra calicata 03 (margen derecho $h = 1.5$ m) y calicata 04 (margen derecho $h = 1.5$ m)



Figura 35 — Extracción de la muestra calicata 05 (margen derecho h = 1.5 m) y calicata 06 (margen izquierdo h = 1.5 m)

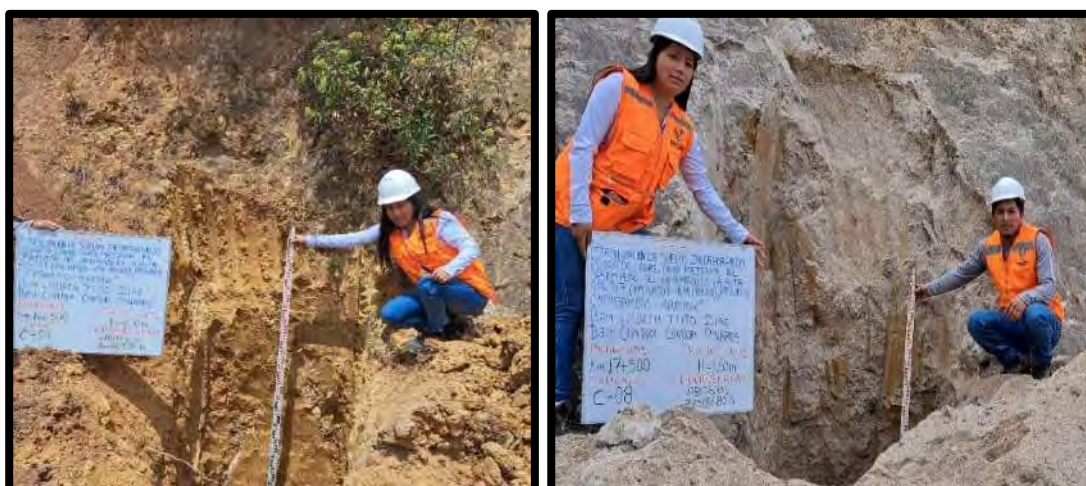


Figura 36 — Extracción de la muestra calicata 07 (margen izquierdo h = 1.5 m) y calicata 08 (margen derecho h = 1.5 m)



Figura 37 — Extracción de la muestra calicata 09 (margen izquierdo h = 1.5 m)

Anexo D

Fotografías de los ensayos realizados en el laboratorio



Figura 38 — Ensayo análisis granulométrico por tamizado de C 01



Figura 39 — Ensayo análisis granulométrico por tamizado de C 04



Figura 40 — Ensayo análisis granulométrico por tamizado de C 05



Figura 41 — Ensayo de la compactación de suelos, Proctor Modificado



Figura 42 — Incorporando relaves de flotación de cobre en el suelo



Figura 43 — Ejecución del ensayo de CBR en laboratorio



Figura 44 — Lectura de la expansión de los moldes elaborados en el ensayo de C.B.R. con adición de 5 %, 15 % y 25 % de RFC

Anexo E

Análisis de laboratorio de los relaves de flotación de cobre RFC

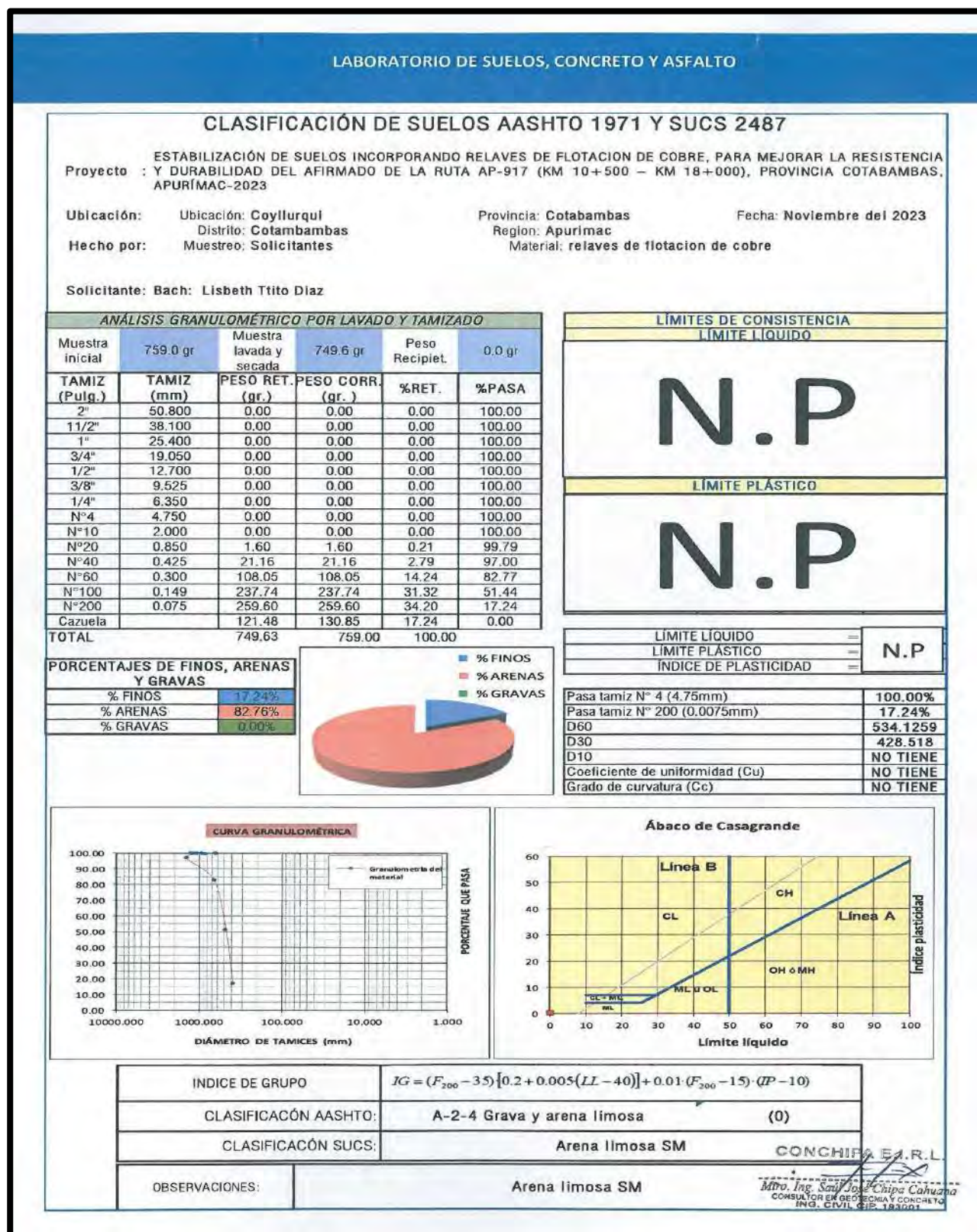


Figura 45 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de RFC

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto:

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: Colambambas
 Distrito: Colambambas

Provincia: Cotabambas
 Region: Apurímac

Fecha: NOVIEMBRE DEL 2023

Hecho por: Muestreo: SOLICITANTE

Material relaves de flotacion de cobre

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ENSAYO	1	2	3
Cápsula N°	1	2	3
Peso suelo húmedo + cápsula	252.20	212.92	400.00
Peso suelo seco + cápsula	246.65	207.39	385.42
Peso del agua	5.55	5.53	14.58
Peso de la cápsula	130.62	84.93	92.81
Peso neto del suelo seco	116.03	122.46	292.61
% de Humedad	4.78	4.52	4.98

w (%) Promedio =	4.80
------------------	------

NOTA : El contenido de humedad se determino de una muestra alterada.

CONCHIPAE.I.R.L.

Mtro. Ing. José Chirpa Cahuana
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 46 — Contenido de humedad de RFC

Anexo F

Informe de los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio

**RESULTADOS DE ENSAYO
PARA TESIS**

PROYECTO:

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO
RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR
LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE
LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA
COTABAMBAS, APURÍMAC-2023**

**LABORATORIO DE ENSAYOS
CONCHIPA
INGENIEROS
SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**

SOLICITANTE: BACH. LISBETH TTITO DIAZ

RESPONSABLE: SAUL CHIPA CAHUANA
INGENIERO CIVIL
CIP 193001

CONCHIPA S.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSEJO DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS
ING. CIVIL CIP. 193001

ABANCAY, NOVIEMBRE 2023

Figura 47 — Informe de resultados de los ensayos de laboratorio – carátula

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO 1971 Y SUCS 2487

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Ubicación: Coyllurqui
Distrito: Cotabambas
Hecho por: Muestreo: Solicitantes

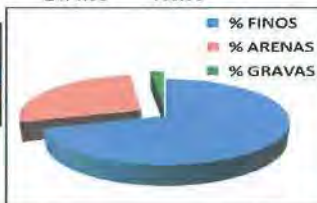
Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-01

Fecha: Noviembre del 2023

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO					
Muestra inicial	2471.0 gr	Muestra lavada y secada	752.0 gr	Peso Recipiet.	0.0 gr
TAMIZ (Pulg.)	TAMIZ (mm)	PESO RET. (gr.)	PESO CORR. (gr.)	%RET.	%PASA
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	25.04	25.04	1.01	98.99
3/8"	9.525	6.86	6.86	0.28	98.71
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	98.71
Nº4	4.750	20.12	20.12	0.81	97.89
Nº10	2.000	61.52	61.52	2.49	95.41
Nº20	0.850	65.06	65.06	2.63	92.77
Nº40	0.425	72.54	72.54	2.94	89.84
Nº60	0.300	87.55	87.55	3.54	86.29
Nº100	0.149	176.83	176.83	7.16	79.14
Nº200	0.075	219.44	219.44	8.88	70.26
Cazuela		17.02	1736.04	70.26	0.00
TOTAL		751.98	2471.00	100.00	

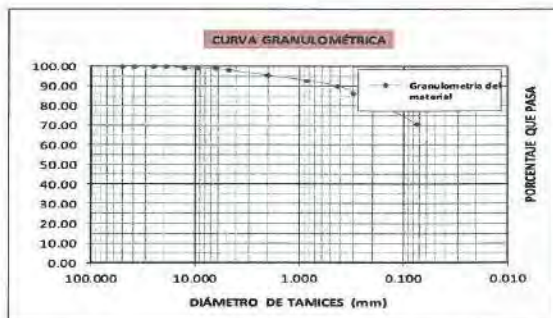
PORCENTAJES DE FINOS, ARENAS Y GRAVAS	
% FINOS	70.26%
% ARENAS	27.64%
% GRAVAS	2.11%



LÍMITES DE CONSISTENCIA			
LÍMITE LÍQUIDO			
Muestra	1	2	3
Nº de Cáp.	1	2	3
Cap. + S. Hum.	67.70	76.20	79.80
Cap. + S. Seco.	63.90	73.00	76.50
Agua	3.80	3.20	3.30
Peso Cáp.	49.80	60.20	62.50
Peso S. seco	14.10	12.80	14.00
% Humedad	26.95	25.00	23.57
Nº de golpes	17	16	33
LÍMITE PLÁSTICO			
Muestra	1	2	3
Nº de Cáp.	1	2	3
Cap. + S. Hum.	67.00	69.10	68.00
Cap. + S. seco	66.10	68.20	67.00
Agua	0.90	0.90	1.00
Peso Cáp.	61.70	62.70	62.40
Peso S. seco	4.40	5.50	4.60
% Humedad	20.45	16.36	21.74

LÍMITE LÍQUIDO	=	24.57 %
LÍMITE PLÁSTICO	=	19.52 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	=	5.05 %

Pasa tamiz Nº 4 (4.75mm)	97.89%
Pasa tamiz Nº 200 (0.075mm)	70.26%
D60	NO TIENE
D30	NO TIENE
D10	NO TIENE
Coficiente de uniformidad (Cu)	NO TIENE
Grado de curvatura (Cc)	NO TIENE



ÍNDICE DE GRUPO	$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$	
CLASIFICACIÓN AASHTO:	A-4 Suelo limoso	(2)
CLASIFICACIÓN SUCS:	Limo baja plasticidad con arena ML	
OBSERVACIONES:	Limo baja plasticidad con arena ML	

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. José Chilpa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 48 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-01

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAYES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: **Coyllurqui** Provincia: **Cotabambas** Fecha: **Noviembre del 2023**

Distrito: **Cotabambas** Region: **Apurímac**

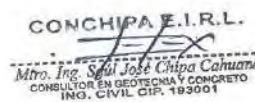
Hecho por: Muestreo: **Solicitantes** Material **C-01**

Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2	3	
Cápsula N°	1	2	3	
Peso suelo húmedo + cápsula	280.45	247.23	2471.00	
Peso suelo seco + cápsula	255.60	224.94	2122.00	
Peso del agua	24.85	22.29	349.00	
Peso de la cápsula	102.88	88.82	0.00	
Peso neto del suelo seco	152.72	136.12	2122.00	
% de Humedad	16.27	16.38	16.45	

w (%) Promedio =	16.40
-------------------------	--------------

NOTA : El contenido de humedad se determino de una muestra alterada.



CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 49 — Contenido de humedad de la C-01

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO **ASTM D-1557-70 - AASHTO T-180-70**

Proyecto :

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**
 Distrito: **Cotabambas**
 Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabambas**
 Region: **Apurímac**
 Material: **C-01**
 Cantera: **0**

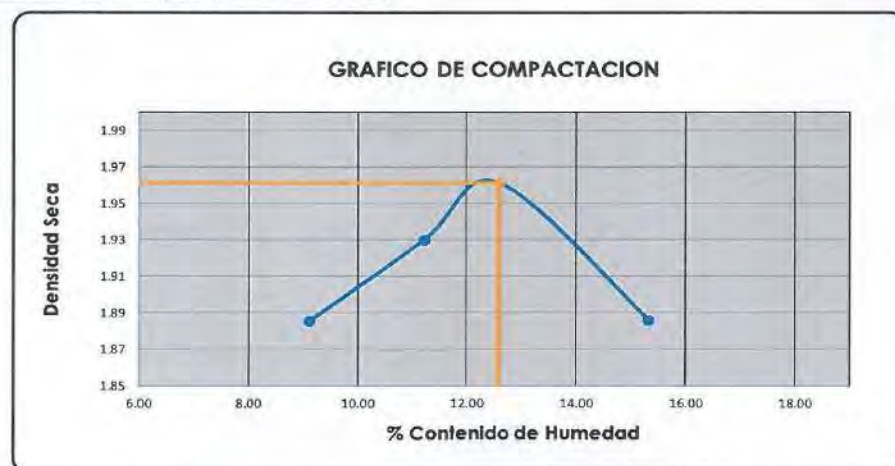
Fecha: **Noviembre del 2023**Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

N° de Capas: 5	
N° de golpes por capas: 56	Volumen Molde : 2124

Muestra	I	II	III	IV
Wcap.	110.30	94.80	90.00	109.20
Wcap+sh.	432.10	555.00	580.20	456.20
Wcap+ss.	405.20	508.52	525.40	410.10
Wss.	294.90	413.72	435.40	300.90
Ww.	26.90	46.48	54.80	46.10
%CH.	9.12	11.23	12.59	15.32

%CH.	9.12	11.23	12.59	15.32
Wmolde	5730	5730	5730	5730
Wsh+molde	10100	10290	10420	10350
Wsh.	4370	4560	4690	4620
Densidad Hum.	2.057	2.147	2.208	2.175
Densidad Seca	1.885	1.930	1.961	1.886

Densidad Seca Maxima(g/cm3) :	1.961
Contenido Óptimo de Agua(%) :	12.59



CONCHIFA E.I.R.L.
 Mtro. Ing. *Señal* José Chilpa Cahuana
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 ING. CIVIL CIP. 183001

Figura 50 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-01

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Colambambas
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-01

Humedad Optima(%): 12.59
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.961
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.863

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:									
	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area
	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42
N° DE GOLPES POR CAPA									
CONDICIONES DE LA MUESTRA									
	12			25			56		
	SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA	
Peso del molde (gr).	8300			8300			8370		
Volumen de la Muestra (cc).	2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde (gr).	12640	12720		12700	12720		12680	12740	
Muestra Humeda (gr).	4340	4420		4400	4420		4310	4370	
Densidad Humeda (gr/cm3).	2.04	2.08		2.07	2.08		2.03	2.06	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA									
	MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula (gr).	110.00	102.90		102.40	88.10		120.00	88.60	
Muestra Humeda + Capsula (gr).	501.24	394.20		500.00	375.60		502.30	380.00	
Muestra Seca + Capsula (gr).	458.22	348.50		455.22	329.80		473.65	338.45	
Muestra Seca (gr).	348.22	245.60		352.82	241.70		353.65	249.85	
Contenido de Agua (gr)	43.02	45.70		44.78	45.80		28.65	41.55	
Contenido de Humedad (%)	12.35	18.61		12.69	18.95		8.10	16.63	
Densidad Seca (gr/cm3).	1.819	1.755		1.838	1.749		1.877	1.764	
EXPANSION									
DIA		HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.2960	0.2960	6.4574	0.1090	0.1090	2.3779
	3.00	13:10	2.00	0.3000	0.0040	0.0873	0.1100	0.0010	0.0218
	4.00	13:04	3.00	0.3600	0.0600	1.3089	0.1150	0.0050	0.1091
	5.00	12:58	4.00	0.4300	0.0700	1.5271	0.1160	0.0010	0.0218
PENETRACION PULGADAS									
		CARGA PATRON MPa	FACTOR CARGA DIAL	CBR MPa	CBR 12	FACTOR CARGA DIAL	CBR MPa	CBR 25	FACTOR CARGA DIAL
ENSAYO DE PENETRACION	0		0	0.00		0	0.00		0
	0.025		9	0.41		7	0.37		12
	0.050		13	0.49		14	0.51		21
	0.075		15	0.53		20	0.64		29
	0.100	6.90	18	0.60	8.63	22	0.68	9.83	38
	0.125		20	0.64		24	0.72		45
	0.150		23	0.70		25	0.74		52
	0.200	10.3	25	0.74	7.19	28	0.80	7.79	59
	0.300		28	0.80		33	0.91		62
	0.400		30	0.84		36	0.97		68
	0.500		31	0.86		40	1.05		79

EXPANSION :

Expansión fuerza		
56	25	12
2.3452	0.6327	0.4254
promedio general		
1.1344		

CONCHIFA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Sr. José Chipu Calmama
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 183501

Figura 51 — Ensayo de CBR de la C-01 - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

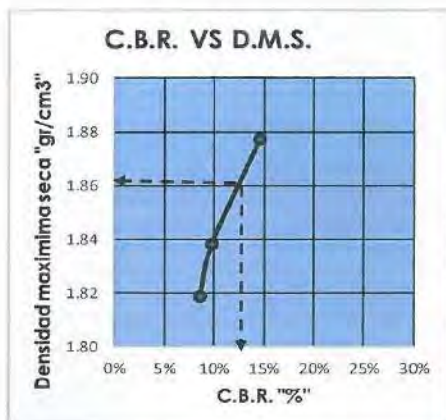
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Cotabambas
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-01

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	12.35	1.82	1.53	8.63	C.B.R. - 95%	13.04
25	12.69	1.84	0.02	9.83	C.B.R. - 100%	14.65
56	8.10	1.88	0.11	14.65		

CONCHIPAE I.R.L.

Mtro. Ing. Spili José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 52 — Ensayo de CBR de la C-01 – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**
Distrito: **Cotabambas**
Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabambas**
Region: **Apurímac**
Material: **C-01+5%RFC**

Humedad Óptima(%): **12.59**
Densidad Seca Máxima(g/cm3): **1.961**
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): **1.863**

Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

Fecha: **Noviembre del 2023**

DIMENSIONES DE MOLDE:			Diametro		Altura		Area		Diametro		Altura		Area		Diametro		Altura		Area				
			15.24		11.64		182.42		15.24		11.64		182.42		15.24		11.64		182.42				
N° DE GOLPES POR CAPA			12						25						56								
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA					
Peso del molde(gr).			8244						8300						8370								
Volumen de la Muestra(cc).			2124						2124						2124								
Muestra Humeda + Molde(gr).			12694			12722			12393			12360			12515			12541					
Muestra Humeda(gr).			4450			4478			4093			4060			4145			4171					
Densidad Humeda(gr/cm3).			2.10			2.11			1.93			1.91			1.95			1.96					
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO					
Peso de la capsula(gr).			110.00			94.80			102.40			102.60			120.00			122.40					
Muestra Humeda + Capsula(gr).			501.24			401.80			500.00			426.30			502.30			496.40					
Muestra Seca+ Capsula(gr).			428.22			320.70			476.22			379.70			490.65			440.00					
Muestra Seca(gr).			318.22			225.90			373.82			277.10			370.65			317.60					
Contenido de Agua(gr)			73.02			81.10			23.78			46.60			11.65			56.40					
Contenido de Humedad(%)			22.95			35.90			6.36			16.82			3.14			17.76					
Densidad Seca(gr/cm3).			1.704			1.551			1.812			1.636			1.892			1.668					
DIA		HORA		INTERVAL O (DIAS)		LECT. DEFOR.		EXPANSIÓN PULGS		%		LECT. DEFOR.		EXPANSIÓN PULGS		%		LECT. DEFOR.		EXPANSIÓN PULGS		%	
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05		0.00	0.0000							0.0000						0.0000					
	2.00	13:02		1.00	0.2500	0.2500		5.4539	0.3000	0.3000		6.5447	0.3400	0.3400		7.4173							
	3.00	13:10		2.00	0.2900	0.0400		0.8726	0.3100	0.0100		0.2182	0.3680	0.0280		0.6108							
	4.00	13:04		3.00	0.3200	0.0300		0.6545	0.3200	0.0100		0.2182	0.3700	0.0020		0.0436							
	5.00	12:58		4.00	0.3500	0.0300		0.6545	0.3850	0.0650		1.4180	0.4210	0.0510		1.1126							
PENETRACION "PULGADAS"				CARG PATRON "MPa"		FACTOR CARGA		CBR		FACTOR CARGA		CBR		FACTOR CARGA		CBR							
				DIAL MPa		12		DIAL MPa		25		DIAL MPa		56									
ENSAYO DE PENETRACION	0			0	0.00			0	0.00			0	0.00										
	0.025			2	0.27			5	0.33			5	0.33										
	0.050			5	0.33			11	0.45			10	0.43										
	0.075			6	0.35			12	0.47			13	0.49										
	0.100		6.90	7	0.37	5.34		13	0.49	7.13		17	0.57	8.33									
	0.125			8	0.39			15	0.53			18	0.60										
	0.150			10	0.43			17	0.57			20	0.64										
	0.200		10.3	11	0.45	4.38		19	0.62	5.98		22	0.68	6.58									
	0.300			13	0.49			22	0.68			25	0.74										
	0.400			16	0.55			25	0.74			29	0.82										
0.500			17	0.57			28	0.80			33	0.91											

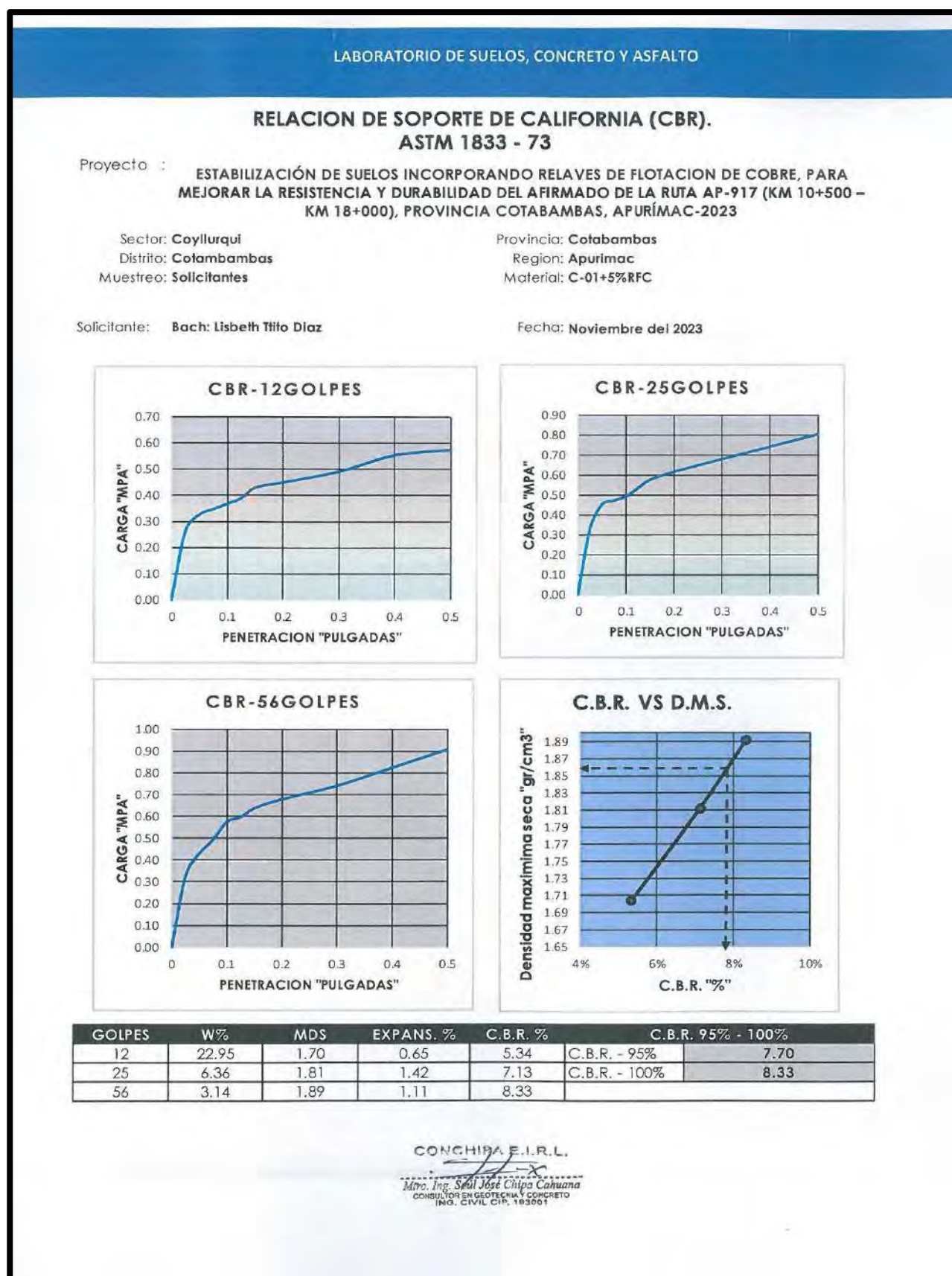


Figura 54 — Ensayo de CBR de la C-01 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Cotabambas
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-01+15%RFC
Cantera:

Humedad Óptima(%): 12.59
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.961
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.863

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:									
	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area
	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42
Nº DE GOLPES POR CAPA	12			25			56		
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR		
Peso del molde(gr).	7804			7672			7910		
Volumen de la Muestra(cc).	2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde(gr).	12457			12329			12454		
Muestra Humeda(gr).	4653			4699			4544		
Densidad Humeda(g/cm3).	2.19			2.21			2.14		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA	MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula(gr).	110.00			102.40			120.00		
Muestra Humeda + Capsula(gr).	501.24			500.00			502.30		
Muestra Seca+ Capsula(gr).	428.22			442.22			470.65		
Muestra Seca(gr).	318.22			339.82			350.65		
Contenido de Agua(gr)	73.02			57.78			31.65		
Contenido de Humedad(%).	22.95			17.00			9.03		
Densidad Seca(g/cm3).	1.782			1.874			1.962		
MEDICION DE LA EXPANSION	DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR. PULGS	EXPANSION %	LECT. DEFOR. PULGS	EXPANSION %	LECT. DEFOR. PULGS	EXPANSION %
	1.00	13:05	0.00	0.0000		0.0000		0.0000	
	2.00	13:02	1.00	0.3560	0.3560	0.4200	0.4200	0.4800	0.4800
	3.00	13:10	2.00	0.3650	0.0090	0.4300	0.0100	0.5200	0.0400
	4.00	13:04	3.00	0.3800	0.0150	0.4400	0.0100	0.5600	0.0400
	5.00	12:58	4.00	0.4820	0.1020	0.5680	0.1280	0.6900	0.1300
ENSAYO DE PENETRACION	PENETRACION "PULGADAS"			FACTOR CARGA CBR			FACTOR CARGA CBR		
				DIAL MPa 12			DIAL MPa 25		
	0			0 0.00			0 0.00		
	0.025			1 0.24			5 0.33		
	0.050			2 0.27			8 0.39		
	0.075			3 0.29			10 0.43		
	0.100			3 0.29			12 0.47		
	0.125			6 0.35			14 0.51		
	0.150			9 0.41			16 0.55		
	0.200			10 0.43			18 0.60		
	0.300			13 0.49			22 0.68		
	0.400			15 0.53			25 0.74		
	0.500			17 0.57			30 0.84		

Expansión fuerza		
56	25	12
2.6288	3.0978	3.7632
promedio general		
3.1633		

CONCHIRA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 183651

Figura 55 — Ensayo de CBR de la C-01 85 % SN +15 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

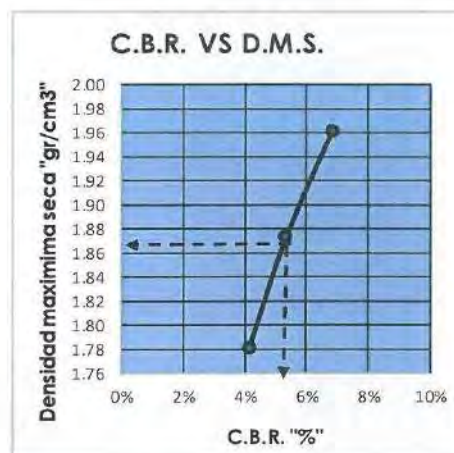
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Cotabambas
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Región: Apurímac
Material: C-01+15%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tlito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	22.95	1.78	2.23	4.15	C.B.R. - 95%	5.10
25	17.00	1.87	2.79	5.34	C.B.R. - 100%	6.83
56	9.03	1.96	2.84	6.83		

CONCHIPAE I.R.L.
Mtro. Ing. Paul José Chipa Canuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 182091

Figura 56 — Ensayo de CBR de la C-01 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Cotabambas
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-01+25%RFC
Cantera:

Humedad Optima(%): 12.59
Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.961
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.863

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:									
	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area
	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42
N° DE GOLPES POR CAPA									
CONDICIONES DE LA MUESTRA									
	12			25			56		
	SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA	
Peso del molde(gr).	7830			8244			7969		
Volumen de la Muestra(cc).	2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde(gr).	12526	12550		12958	12981		12730	12743	
Muestra Humeda(gr).	4696	4720		4714	4737		4761	4774	
Densidad Humeda (gr/cm³).	2.21	2.22		2.22	2.23		2.24	2.25	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA									
	MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO	
Peso de la capsula (gr).	110.00	106.20		102.40	130.60		120.00	128.02	
Muestra Humeda + Capsula (gr).	501.24	543.40		500.00	525.50		502.30	489.20	
Muestra Seca+ Capsula (gr).	425.22	482.20		440.22	472.40		450.65	440.50	
Muestra Seca (gr).	315.22	376.00		337.82	341.80		330.65	312.48	
Contenido de Agua (gr)	76.02	61.20		59.78	53.10		51.65	48.70	
Contenido de Humedad (%)	24.12	16.28		17.70	15.54		15.62	15.58	
Densidad Seca (gr/cm³).	1.781	1.911		1.886	1.930		1.939	1.945	
MEDICION DE LA EXPANSION									
	DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:06	0.00	0.0000			3.2000		
	2.00	13:04	1.00	0.2200	0.2200	4.7995	3.3900	0.1900	4.1450
	3.00	13:09	2.00	0.3000	0.0800	1.7453	3.4000	0.0100	0.2182
	4.00	13:07	3.00	0.4800	0.1800	3.9268	3.4100	0.0100	0.2182
	5.00	13:01	4.00	0.5329	0.0529	1.1540	3.9820	0.5720	12.4786
ENSAYO DE PENETRACION									
	PENETRACION PULGADAS		CARG PATRON "MPa"	DIAM	MPa	12	DIAM	MPa	25
ENSAYO DE PENETRACION	0			0	0.00		0	0.00	
	0.025			0	0.22		0	0.22	
	0.050			0	0.22		1	0.24	
	0.075			1	0.24		1	0.24	
	0.100	7.0		1	0.24	3.50	2.2	0.27	3.86
	0.125			2	0.27		4	0.31	
	0.150			3	0.29		6	0.35	
	0.200	10.3		4	0.31	2.98	8	0.39	3.78
	0.300			5	0.33		9	0.41	
	0.400			8	0.39		12	0.47	
	0.500			10	0.43		16	0.55	

Expansión fuerza		
56	25	12
2.9064	4.2650	5.3994
promedio general		
4.1902		

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Sgo. José Clito Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193091

Figura 57 — Ensayo de CBR de la C-01 75 % SN +25 % RFC - Expansión

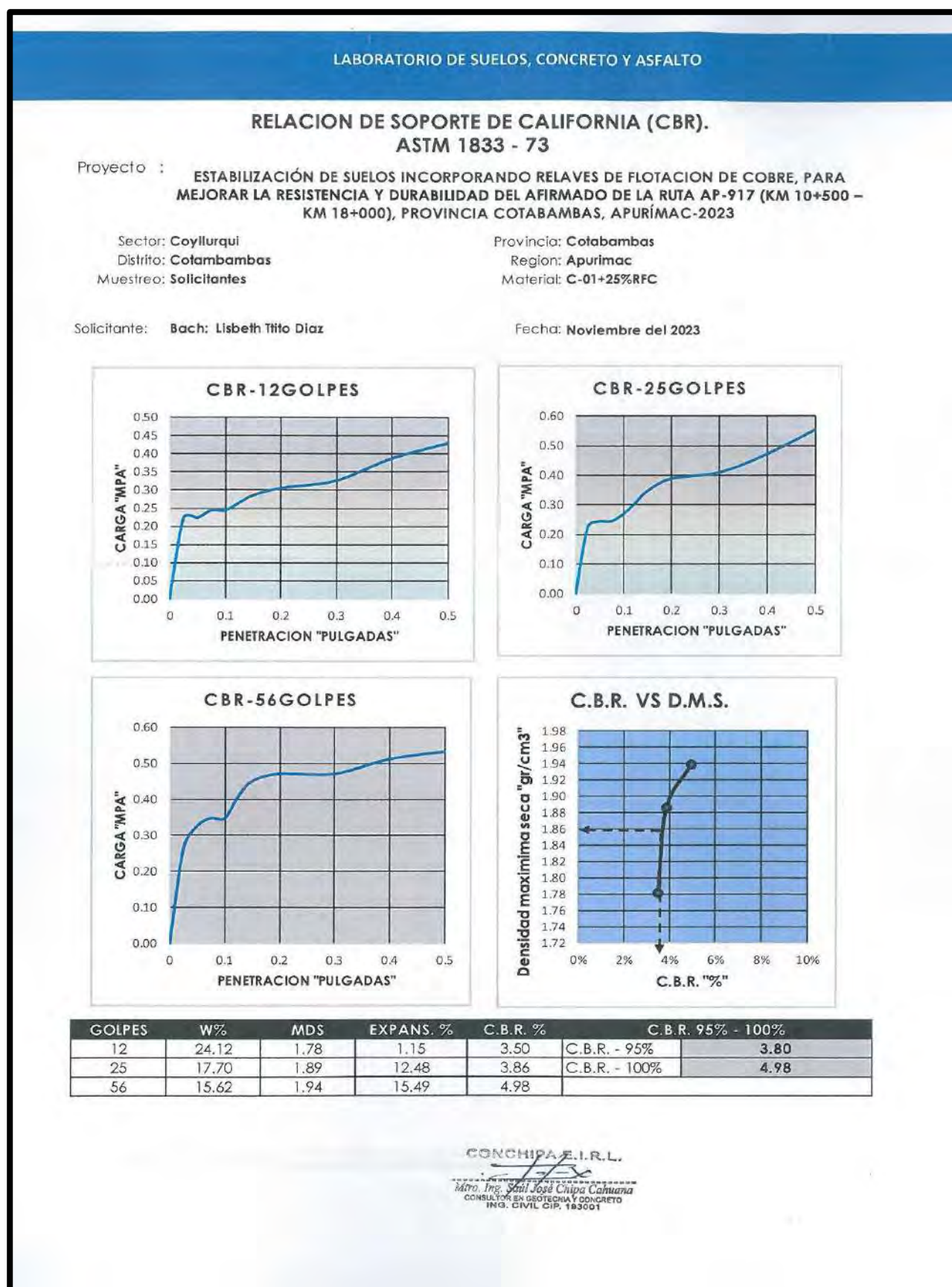


Figura 58 — Ensayo de CBR de la C-01 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO 1971 Y SUCS 2487

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA
 Proyecto : Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS,
 APURÍMAC-2023

Ubicación: Ubicación: Coyllurqui
 Distrito: Cotabambas
 Hecho por: Muestreo: Solicitantes

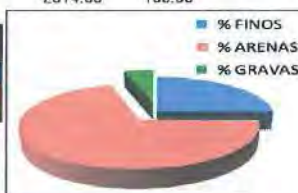
Provincia: Cotabambas
 Region: Apurímac
 Material: C-02

Fecha: Noviembre del 2023

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO					
Muestra inicial	2014.0 gr	Muestra lavada y secada	1478.0 gr	Peso Recipient.	0.0 gr
TAMIZ (Pulg.)	TAMIZ (mm)	PESO RET. (gr.)	PESO CORR. (gr.)	%RET.	%PASA
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	13.71	13.71	0.68	99.32
1/2"	12.700	18.75	18.75	0.93	98.39
3/8"	9.525	17.34	17.34	0.86	97.53
1/4"	6.350	23.56	23.56	1.17	96.36
Nº4	4.750	23.55	23.55	1.17	95.19
Nº10	2.000	52.71	52.71	2.62	92.57
Nº20	0.850	359.44	359.44	17.85	74.72
Nº40	0.425	420.06	420.06	20.86	53.87
Nº60	0.300	277.43	277.43	13.78	40.09
Nº100	0.149	183.95	183.95	9.13	30.96
Nº200	0.075	116.84	116.84	5.80	25.16
Cazuela		8.33	506.66	25.16	0.00
TOTAL		1515.67	2014.00	100.00	

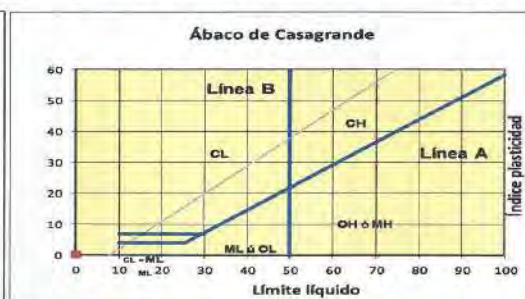
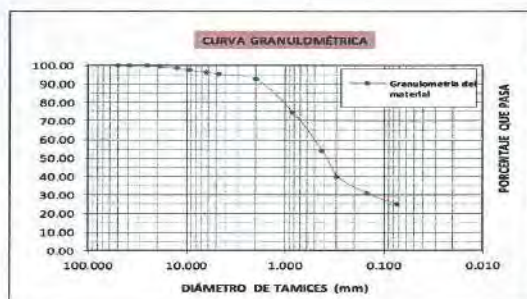
PORCENTAJES DE FINOS, ARENAS Y GRAVAS	
% FINOS	25.16%
% ARENAS	70.03%
% GRAVAS	4.81%



LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO	N.P.
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.

LÍMITE LÍQUIDO	N.P.
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.

Pasa tamiz Nº 4 (4.75mm)	95.19%
Pasa tamiz Nº 200 (0.0075mm)	25.16%
D60	0.549973
D30	0.137
D10	NO TIENE
Coefficiente de uniformidad (Cu)	NO TIENE
Grado de curvatura (Cc)	NO TIENE



ÍNDICE DE GRUPO	$IG = (F_{200} - 35) \{0.2 + 0.005(LL - 40)\} + 0.01(F_{200} - 15) \cdot (IP - 10)$
CLASIFICACIÓN AASHTO:	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena (0)
CLASIFICACIÓN SUCS:	Arena limosa SM
OBSERVACIONES:	Arena limosa SM

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. San José Cuipa Cahuana
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 ING. CIVIL, CIP. 193001

Figura 59 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-02

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: **Coyllurqui** Provincia: **Cotabambas** Fecha: **Noviembre del 2023**
 Distrito: **Cotabambas** Region: **Apurímac**

Hecho por: Muestreo: **Solicitantes** Material **C-02**

Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2		
Cápsula N°	1	2		
Peso suelo húmedo + cápsula	312.10	285.10	2014.00	
Peso suelo seco + cápsula	295.00	266.94	1846.00	
Peso del agua	17.10	18.16	168.00	
Peso de la cápsula	100.20	92.42	0.00	
Peso neto del suelo seco	194.80	174.52	1846.00	
% de Humedad	8.78	10.41	9.10	

w (%) Promedio =	9.40
-------------------------	-------------

NOTA : El contenido de humedad se determino de una muestra alterada.



CONCHIBA E.I.R.L.
 Mtro. Ing. *San José Chuipa Caluema*
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 ING. CIVIL CIP. 163001

Figura 60 — Contenido de humedad de la C-02

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

**ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO
ASTM D-1557-70 - AASHTO T-180-70**

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMAO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**
Distrito: **Cotabambas**
Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabambas**
Región: **Apurímac**
Material: **C-02**

Fecha: **Noviembre del 2023**

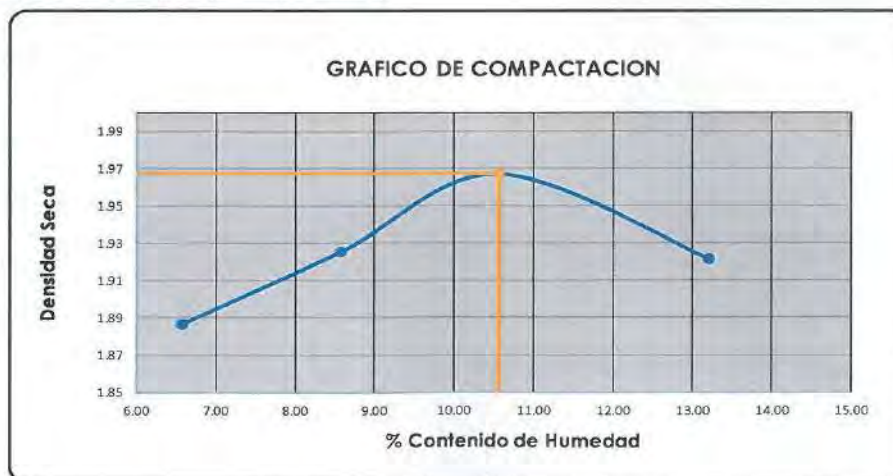
Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

Nº de Capas: 5	
Nº de golpes por capas: 56	Volumen Molde : 2124

Muestra	I	II	III	IV
Wcap.	106.20	110.60	109.23	90.10
Wcap+sh.	361.20	458.30	473.22	463.60
Wcap+ss.	345.47	430.82	438.42	420.00
Wss.	239.27	320.22	329.19	329.90
Ww.	15.73	27.48	34.80	43.60
%CH.	6.57	8.58	10.57	13.22

%CH.	6.57	8.58	10.57	13.22
Wmolde	5730	5730	5730	5730
Wsh+molde	10000	10170	10350	10350
Wsh.	4270	4440	4620	4620
Densidad Hum.	2.010	2.090	2.175	2.175
Densidad Seca	1.886	1.925	1.967	1.921

Densidad Seca Maximal(g/cm3):	1.967
Contenido Optimo de Agua(%):	10.57



CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. *Scarl José Chupa Caluana*
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CEP. 193001

Figura 61 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-02

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA APURÍMAC-2023

Sector: Soras Provincia: Cotabamba
Distrito: Cotabamba Region: Apurímac
Muestreo: Solicitantes Material: C-02

Humedad Óptima(%): 10.57
Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.967
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.869

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:			Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area			
			15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42			
N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			56					
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA		
Peso del molde (gr).			8360			8410			8330					
Volumen de la Muestra(cc).			2124			2124			2124					
Muestra Humeda + Molde (gr).			12680			12800			12910			12950		
Muestra Humeda (gr).			4320			4440			4500			4640		
Densidad Humeda (gr/cm3).			2.03			2.09			2.12			2.18		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula (gr).			110.00			94.80			111.00			92.90		
Muestra Humeda + Capsula (gr).			501.24			574.40			500.00			549.10		
Muestra Seca+ Capsula (gr).			455.22			513.20			454.22			493.50		
Muestra Seca (gr).			345.22			418.40			343.22			400.60		
Contenido de Agua (gr)			46.02			61.20			45.78			55.60		
Contenido de Humedad (%).			13.33			14.63			13.34			13.88		
Densidad Seca (gr/cm3).			1.795			1.824			1.869			1.918		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSIÓN PULGS		
MEDICION DE LA EXPANSION			1.00			13:05			0.00			0.0000		
			2.00			13:02			1.00			0.1000		
			3.00			13:10			2.00			0.1500		
			4.00			13:04			3.00			0.1600		
			5.00			12:58			4.00			0.1800		
PENETRACION N°			CARGA PATRON "MPa"			FACTO R DIAL			CARGA MPa			CBR I2		
"PULGADAS"						0			MPa			25		
0						0			0.00					
0.025						4			0.31					
0.050						8			0.39					
0.075						10			0.43					
0.100			6.90			14			0.51			7.43		
0.125						18			0.60					
0.150						22			0.68					
0.200			10.3			32			0.89			8.60		
0.300						60			1.47					
0.400						88			2.06					
0.500						100			2.32					

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73**

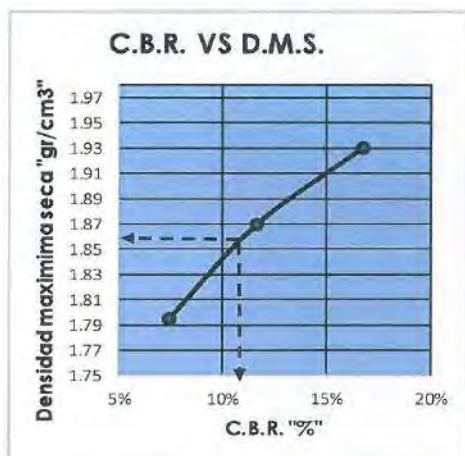
Proyecto : **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023**

Sector: **Soras**
Distrito: **Cotabambas**
Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabambas**
Region: **Apurímac**
Material: **C-02**

Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Díaz**

Fecha: **Noviembre del 2023**



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	13.33	1.79	0.44	7.43	C.B.R. - 95%	10.60
25	13.34	1.87	0.98	11.63	C.B.R. - 100%	16.76
56	12.68	1.93	0.33	16.76		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Sr. José Chipa Caluana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 183001

Figura 63 — Ensayo de CBR de la C-02 – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Cuyllurqui
Distrito: Cuyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Región: Apurímac
Material: C-02+5%RFC

Humedad Óptima(%): 10.57
Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.967
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.869

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:				Díametro	Altura	Área	Díametro	Altura	Área	Díametro	Altura	Área	
				15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	
N° DE GOLPES POR CAPA				12			25			56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA				SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	
Peso del molde (gr).				8362			7919			8343			
Volumen de la Muestra(cc).				2124			2124			2124			
Muestra Humeda + Molde(gr).				12655		12790	12318		12410	12859		12923	
Muestra Humeda (gr).				4293		4428	4399		4491	4516		4580	
Densidad Humeda (gr/cm3).				2.02		2.08	2.07		2.11	2.13		2.16	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA				MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	
Peso de la capsula (gr).				110.00		94.80	111.00		92.90	111.00		93.70	
Muestra Humeda + Capsula (gr).				501.24		574.40	500.00		549.10	500.00		650.90	
Muestra Seca+ Capsula (gr).				455.22		513.20	454.22		493.50	456.22		586.40	
Muestra Seca (gr).				345.22		418.40	343.22		400.60	345.22		492.70	
Contenido de Agua (gr)				46.02		61.20	45.78		55.60	43.78		64.50	
Contenido de Humedad(%).				13.33		14.63	13.34		13.88	12.68		13.09	
Densidad Seca (gr/cm3).				1.783		1.819	1.827		1.857	1.887		1.907	
		DÍA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0100				0.0410			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.0570	0.0470	1.0253		0.1180	0.0770	1.6798	0.1460	0.1460	3.1851
	3.00	13:10	2.00	0.0730	0.0160	0.3491		0.1284	0.0104	0.2269	0.1850	0.0390	0.8508
	4.00	13:04	3.00	0.0920	0.0190	0.4145		0.1500	0.0216	0.4712	0.2100	0.0250	0.5454
	5.00	12:58	4.00	0.1100	0.0180	0.3927		0.1800	0.0300	0.6545	0.2500	0.0400	0.8726
		PENETRACION N "PULGADAS"	CARG. PATRON "MPa"		FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 12	FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 25	FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 56
		0			0	0.00		0	0.00		0	0.00	
		0.025			3.5	0.30		5	0.33		11	0.45	
		0.050			6	0.35		10.5	0.44		23	0.70	
		0.075			11	0.45		25	0.74		50	1.26	
		0.100	6.90		15	0.53	7.73	40	1.05	15.25	76	1.81	26.21
		0.125			17	0.57		49	1.24		90	2.10	
		0.150			20	0.64		64	1.56		100	2.32	
		0.200	10.3		27	0.78	7.59	90	2.10	20.44	118	2.70	26.24
		0.300			43	1.11		150	3.39		165	3.72	
		0.400			58	1.43		188	4.22		195	4.37	
		0.500			73	1.74		200	4.48		235	5.25	

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

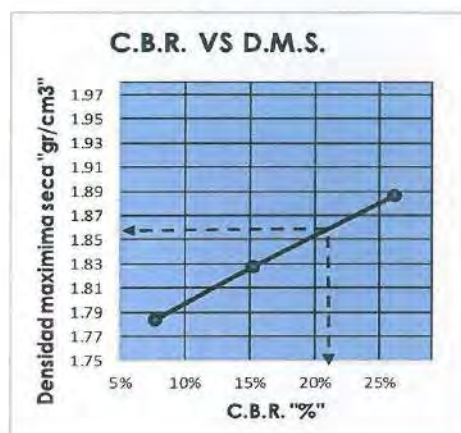
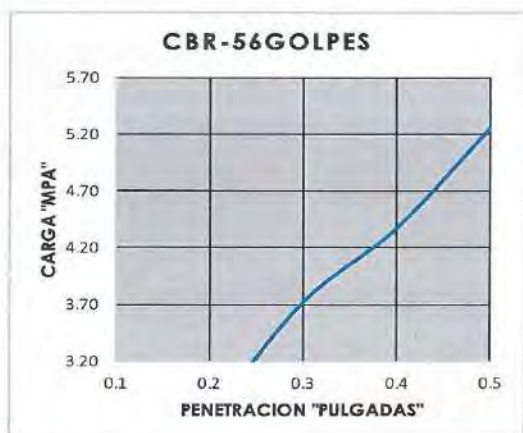
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C-02+5%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	13.33	1.78	0.39	7.73	C.B.R. - 95%	20.30
25	13.34	1.83	0.65	15.25	C.B.R. - 100%	26.21
56	12.68	1.89	0.87	26.21		

CONCHIPAVE I.R.L.
Mtro. Ing. José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193601

Figura 65 — Ensayo de CBR de la C-02 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestra: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-02+15%RFC

Humedad Optima(%): 10.57
Densidad Seca Maxima(g/cm3): 1.967
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.869

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:			Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area			
			15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42			
N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			56					
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA			
Peso del molde(gr).			7869			8253			8414					
Volumen de la Muestra(cc).			2124			2124			2124					
Muestra Humeda + Molde(gr).			12211		12334	12680		12770	12990		12980			
Muestra Humeda(gr).			4342		4465	4427		4517	4576		4566			
Densidad Humeda(gr/cm3).			2.04		2.10	2.08		2.13	2.15		2.15			
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO			
Peso de la capsula(gr).			110.00		94.80	111.00		92.90	111.00		93.70			
Muestra Humeda + Capsula(gr).			501.24		574.40	500.00		549.10	500.00		650.90			
Muestra Seca+ Capsula(gr).			455.22		513.20	454.22		493.50	456.22		586.40			
Muestra Seca(gr).			345.22		418.40	343.22		400.60	345.22		492.70			
Contenido de Agua(gr)			46.02		61.20	45.78		55.60	43.78		64.50			
Contenido de Humedad(%)			13.33		14.63	13.34		13.88	12.68		13.09			
Densidad Seca(gr/cm3).			1.804		1.834	1.839		1.867	1.912		1.901			
MEDICION DE LA EXPANSION	DIA	HORA	INTERVALO (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%		
	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000			0.0000				
	2.00	13:02	1.00	0.0920	0.0920	2.0070	0.1040	0.1040	2.2688	0.2120	0.2120	4.6249		
	3.00	13:10	2.00	0.1140	0.0220	0.4799	0.1120	0.0080	0.1745	0.2320	0.0200	0.4363		
	4.00	13:04	3.00	0.1250	0.0110	0.2400	0.1410	0.0290	0.6327	0.2400	0.0080	0.1745		
	5.00	12:58	4.00	0.1420	0.0170	0.3709	0.1800	0.0390	0.8508	0.2720	0.0320	0.6981		
ENSAYO DE PENETRACION	PENEIRACION N°	CARGA PATRON	FACTOR	CARGA DIAL	CARGA MPa	CBR	FACTOR	CARGA DIAL	CARGA MPa	CBR	FACTOR	CARGA DIAL	CARGA MPa	CBR
	0		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
	0.025		8	0.39			10	0.43			8	0.39		
	0.050		10	0.43			16	0.55			19	0.62		
	0.075		12	0.47			23	0.70			30	0.84		
	0.100	6.90	14	0.51	7.43		35	0.95	13.74		55	1.37	19.80	
	0.125		17	0.57			40	1.05			60	1.47		
	0.150		25	0.74			48	1.22			69	1.66		
	0.200	10.3	30	0.84	8.20		60	1.47	14.28		90	2.10	20.44	
	0.300		51	1.28			70	1.68			120	2.75		
	0.400		81	1.91			92	2.15			150	3.39		
	0.500		115	2.64			126	2.87			180	4.04		

Expansión fuerza		
56	25	12
0.7745	0.9817	1.4835
promedio general		
1.0799		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Calipa Caluana
CONSEJO DE INGENIERIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP, 188001

Figura 66 — Ensayo de CBR de la C-02 85 % SN +15 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

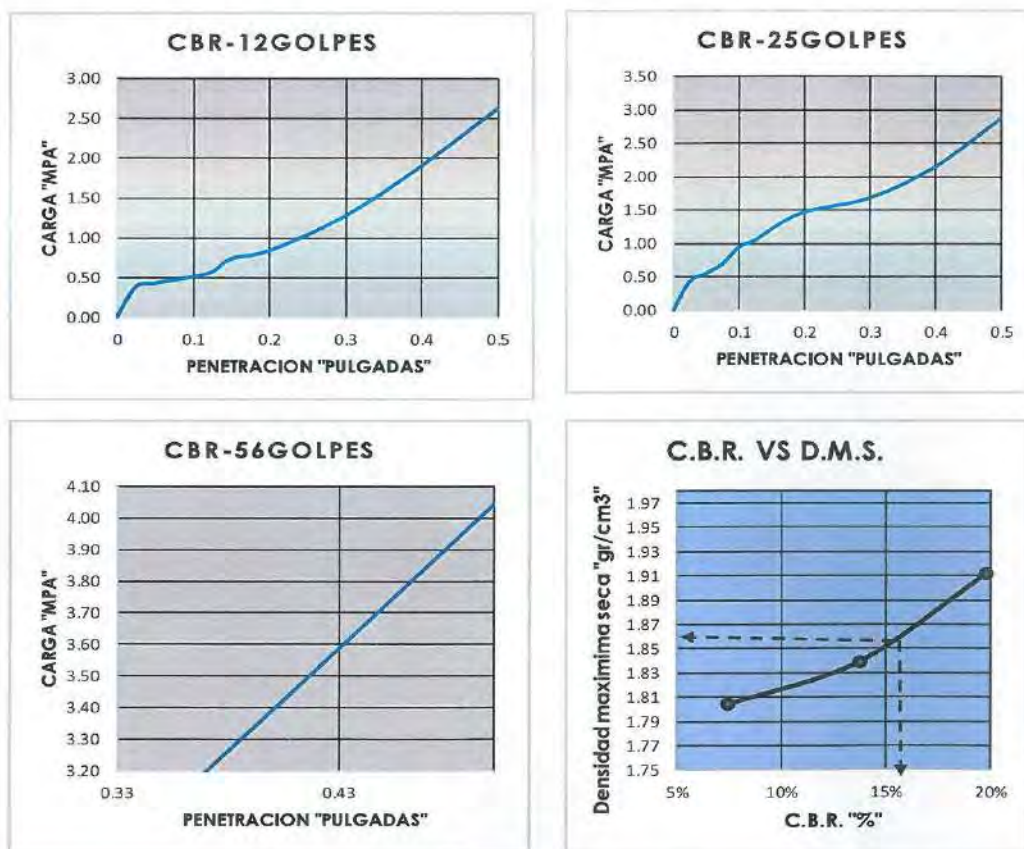
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Cotabambas
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-02+15%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	13.33	1.80	0.37	7.43	C.B.R. - 95%	15.20
25	13.34	1.84	0.85	13.74	C.B.R. - 100%	19.80
56	12.68	1.91	0.70	19.80		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chirpa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 183001

Figura 67 — Ensayo de CBR de la C-02 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitanfes

Provincia: Cotabambas
Región: Apurímac
Material: C-02+25%RFC

Humedad Óptima(%): 10.57
Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.967
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.869

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:				Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area		
				15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42		
N° DE GOLPES POR CAPA				12			25			56				
CONDICIONES DE LA MUESTRA				SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA		
Peso del molde(gr).				7906			7835			8328				
Volumen de la Muestra(cc).				2124			2124			2124				
Muestra Humeda + Molde(gr).				12288		12410	12348		12510	13050		13210		
Muestra Humeda(gr).				4382		4504	4513		4675	4722		4882		
Densidad Humeda(gr/cm3).				2.06		2.12	2.12		2.20	2.22		2.30		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA				MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO		
Peso de la capsula(gr).				110.00		129.21	111.00		123.21	111.00		88.20		
Muestra Humeda + Capsula(gr).				501.24		452.65	500.00		452.65	500.00		329.60		
Muestra Seca+ Capsula(gr).				455.22		410.92	454.22		412.92	455.22		300.50		
Muestra Seca(gr).				345.22		281.71	343.22		289.71	344.22		212.30		
Contenido de Agua(gr)				46.02		41.73	45.78		39.73	44.78		29.10		
Contenido de Humedad(%)				13.33		14.81	13.34		13.71	13.01		13.71		
Densidad Seca(gr/cm3).				1.820		1.847	1.875		1.936	1.967		2.021		
				DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS.	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS.	%		
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000			0.0000				
	2.00	13:02	1.00	0.0900	0.0900	1.9634	0.1000	0.1000	2.1816	0.1800	0.1800	3.9268		
	3.00	13:10	2.00	0.1200	0.0300	0.6545	0.1500	0.0500	1.0908	0.2100	0.0300	0.6545		
	4.00	13:04	3.00	0.1360	0.0160	0.3491	0.2000	0.0500	1.0908	0.2300	0.0200	0.4363		
	5.00	12:58	4.00	0.1510	0.0150	0.3272	0.2250	0.0250	0.5454	0.2700	0.0400	0.8726		
				PENETRACION N	CARGA PATRON "MPa"	FACTOR	CARGA	CBR	FACTOR	CARGA	CBR	FACTOR	CARGA	CBR
				"PULGADAS"		DIAL	MPa	12	DIAL	MPa	25	DIAL	MPa	56
				0		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
				0.025		4	0.31		6	0.35		10	0.43	
				0.050		8	0.39		13	0.49		18	0.60	
				0.075		10	0.43		25	0.74		35	0.95	
				0.100	6.90	12	0.47	6.83	28	0.80	11.63	42	1.09	15.86
				0.125		18	0.60		52	1.30		50	1.26	
				0.150		22	0.68		55	1.37		66	1.60	
				0.200	10.3	32	0.89	8.60	68	1.64	15.92	90	2.10	20.44
				0.300		60	1.47		93	2.17		156	3.52	
				0.400		88	2.06		118	2.70		200	4.48	
				0.500		117	2.68		134	3.05		263	5.88	

Expansión fuerza		
56	25	12
0.8235	1.2271	1.4726
promedio general		
1.1744		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chupa Cahuana
consultor en geotecnia y concreto
ING. CIVIL CIP. 193531

Figura 68 — Ensayo de CBR de la C-02 75 % SN +25 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui

Distrito: Coyllurqui

Muestreo: Solicitantes

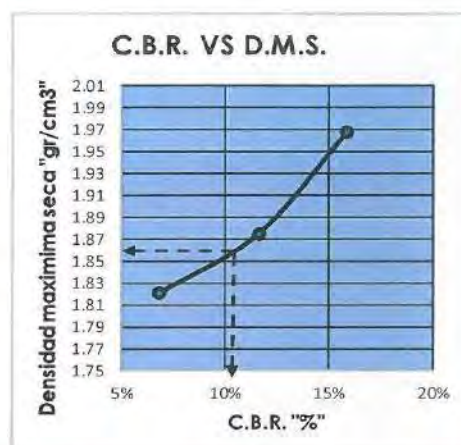
Provincia: Cotabamba

Region: Apurimac

Material: C-02+25%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%
12	13.33	1.82	0.33	6.83	C.B.R. - 95% 10.10
25	13.34	1.87	0.55	11.63	C.B.R. - 100% 15.86
56	13.01	1.97	0.87	15.86	

CONCHIPA S.R.L.
Mtro. Ing. Yanis José Cripta Caluana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL. CIP. 193001

Figura 69 — Ensayo de CBR de la C-02 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO 1971 Y SUCS 2487

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Coyllurquí
Distrito: Coyllurquí
Hecho por: Muestreo: Solicitantes

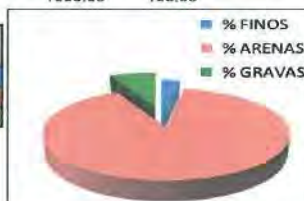
Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-03

Fecha: Noviembre del 2023

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO					
Muestra Inicial	1965.0 gr	Muestra lavada y secada	1930.0 gr	Peso Recipiet.	0.0 gr
TAMIZ (Pulg.)	TAMIZ (mm)	PESO RET. (gr.)	PESO CORR. (gr.)	%RET.	%PASA
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	83.40	83.40	4.24	95.76
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	95.76
1/2"	12.700	25.97	25.97	1.32	94.43
3/8"	9.525	10.06	10.06	0.51	93.92
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	93.92
Nº4	4.750	27.04	27.04	1.38	92.55
Nº10	2.000	138.72	138.72	7.06	85.49
Nº20	0.850	406.75	406.75	20.70	64.79
Nº40	0.425	441.17	441.17	22.45	42.34
Nº60	0.300	281.72	281.72	14.34	28.00
Nº100	0.149	215.95	215.95	10.99	17.01
Nº200	0.075	278.31	278.31	14.16	2.85
Cazuela		19.25	55.91	2.85	0.00
TOTAL		1928.34	1965.00	100.00	

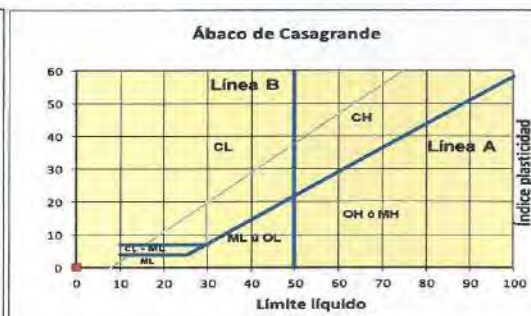
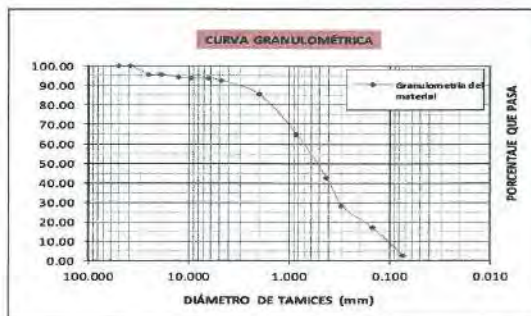
PORCENTAJES DE FINOS, ARENAS Y GRAVAS	
% FINOS	2.85%
% ARENAS	89.70%
% GRAVAS	7.45%



LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO	N.P
LÍMITE PLÁSTICO	N.P

LÍMITE LÍQUIDO	=	N.P
LÍMITE PLÁSTICO	=	N.P
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	=	

Pasa tamiz Nº 4 (4.75mm)	92.55%
Pasa tamiz Nº 200 (0.0075mm)	2.85%
D60	0.759388
D30	0.317
D10	0.112
Coefficiente de uniformidad (Cu)	6.76
Grado de curvatura (Cc)	1.181



ÍNDICE DE GRUPO	$IG = (F_{200} - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$	
CLASIFICACIÓN AASHTO:	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena	(0)
CLASIFICACIÓN SUCS:	Arena bien graduada SW	
OBSERVACIONES:	Arena bien graduada SW	

CONCHIMEIR
Mtro. Ing. San José Chirpa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 195001

Figura 70 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-03

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: **Coyllurqui** Provincia: **Cotabambas** Fecha: **Noviembre del 2023**
 Distrito: **Coyllurqui** Region: **Apurímac**

Hecho por: Muestreo: **Solicitantes** Material **C-03**

Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2		
Cápsula N°	1	2		
Peso suelo húmedo + cápsula	302.43	315.80	2027.00	
Peso suelo seco + cápsula	295.23	306.94	1965.00	
Peso del agua	7.20	8.86	62.00	
Peso de la cápsula	102.80	88.86	88.26	
Peso neto del suelo seco	192.43	218.08	1876.74	
% de Humedad	3.74	4.06	3.30	

w (%) Promedio =	3.70
-------------------------	-------------



NOTA : El contenido de humedad se determino de una muestra alterada.

Figura 71 — Contenido de humedad de la C-03

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

**ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO
ASTM D-1557-70 - AASHTO T-180-70**

Proyecto :

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**
Distrito: **Coyllurqui**
Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabamba**
Region: **Apurímac**
Material: **C-03**

Fecha: **Noviembre del 2023**

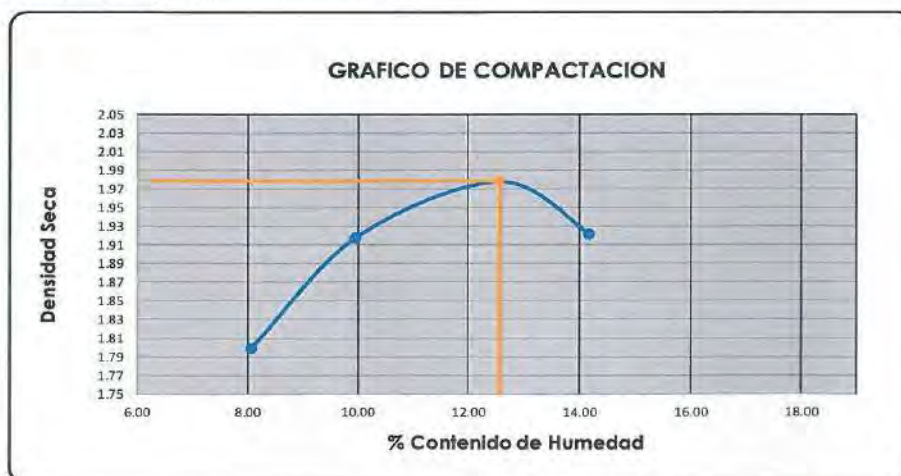
Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

Nº de Capas: 5	
Nº de golpes por capas: 56	Volumen Molde : 2124

Muestra	I	II	III	IV
Wcap.	112.20	122.20	123.60	103.70
Wcap+sh.	432.10	405.70	450.30	346.40
Wcap+ss.	408.20	380.00	413.84	316.30
Wss.	296.00	257.80	290.24	212.60
Ww.	23.90	25.70	36.46	30.10
%CH.	8.07	9.97	12.56	14.16

%CH.	8.07	9.97	12.56	14.16
Wmolde	6920	6920	6920	6920
Wsh+molde	11050	11400	11650	11580
Wsh.	4130	4480	4730	4660
Densidad Hum.	1.944	2.109	2.227	2.194
Densidad Seca	1.799	1.918	1.978	1.922

Densidad Seca Maxima(g/cm3) :	1.978
Contenido Optimo de Agua(%) :	12.56



CONCHIPAGE I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 195001

Figura 72 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-03

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C-03

Humedad Optima(%): 12.56
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.978
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.879

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:						Dímetro		Altura		Área		Dímetro		Altura		Área		Dímetro		Altura		Área																			
						15.24		11.64		182.42		15.24		11.64		182.42		15.24		11.64		182.42																			
N° DE GOLPES POR CAPA						12						25						56																							
CONDICIONES DE LA MUESTRA						SIN MOJAR						SATURADA						SIN MOJAR						SATURADA																	
Peso del molde (gr).						8359												8411												7869											
Volumen de la Muestra (cc).						2124												2124												2124											
Muestra Humeda + Molde (gr).						12820						12880						12958						12976						12597						12599					
Muestra Humeda (gr).						4461						4521						4547						4565						4728						4730					
Densidad Humeda (gr/cm3).						2.10						2.13						2.14						2.15						2.23						2.23					
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA						MEDIO						MEDIO						MEDIO						MEDIO						MEDIO						MEDIO					
Peso de la capsula (gr).						110.00						123.77						111.00						130.63						120.00						95.08					
Muestra Humeda + Capsula (gr).						501.24						454.40						500.00						468.24						502.30						390.43					
Muestra Seca+ Capsula (gr).						450.00						411.20						450.80						426.80						452.96						356.60					
Muestra Seca (gr).						340.00						287.43						339.80						296.17						332.96						261.52					
Contenido de Agua (gr)						51.24						43.20						49.20						41.44						49.34						33.83					
Contenido de Humedad (%)						15.07						15.03						14.48						13.99						14.82						12.94					
Densidad Seca (gr/cm3).						1.825						1.850						1.870						1.885						1.939						1.972					
DIA		HORA		INTERVAL O (DIAS)		LECT. DEFOR.		EXPANSIÓN PULGS		%		LECT. DEFOR.		EXPANSIÓN PULGS		%		LECT. DEFOR.		EXPANSIÓN PULGS		%																			
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0000				0.0840	0.0840	1.8325		0.1170	0.1170	2.5524	0.1300	0.1300	2.8360																								
	2.00	13:02	1.00	0.0840	0.0060	0.1309		0.1490	0.0320	0.6981	0.1600	0.0300	0.6545																												
	3.00	13:10	2.00	0.1030	0.0130	0.2836	0.1728	0.0238	0.5192	0.1800	0.0200	0.4363																													
	4.00	13:04	3.00	0.1520	0.0490	1.0690	0.1984	0.0256	0.5585	0.2150	0.0350	0.7635																													
	5.00	12:58	4.00	PENETRACION N "PULGADAS"		CARGA PATRON "MPa"		FACTOR CARGA CBR		DIAL MPa 12		DIAL MPa 25		DIAL MPa 56																											
ENSAYO DE PENETRACION	0			0	0.00		0	0.00		0	0.00																														
	0.025			25	0.74		14	0.51		11	0.45																														
	0.050			30	0.84		26	0.76		29	0.82																														
	0.075			35	0.95		43	1.11		49	1.24																														
	0.100	6.90		40	1.05	15.25	55	1.37	19.80	85	2.00	28.97																													
	0.125			59	1.45		82	1.94		102	2.36																														
	0.150			63	1.63		100	2.32		125	2.85																														
	0.200	10.3		78	1.85	17.97	135	3.07	29.78	170	3.83	37.14																													
	0.300			99	2.30		186	4.17		250	5.59																														
	0.400			120	2.75		218	4.88		320	7.15																														
0.500			142	3.22		248	5.54		390	8.74																															

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

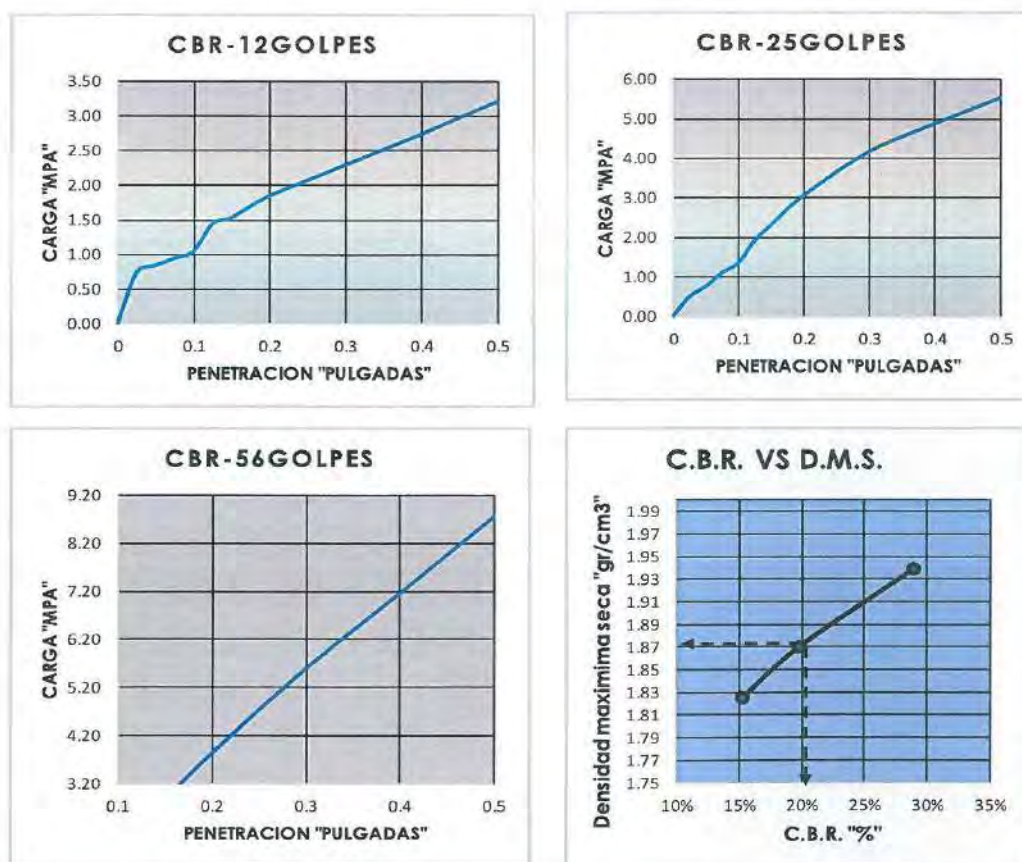
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-03

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	15.07	1.83	1.07	15.25	C.B.R. - 95%	20.50
25	14.48	1.87	0.56	19.80	C.B.R. - 100%	28.97
56	14.82	1.94	0.76	28.97		

CONCIPIA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Juan José Cipriá Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 163001

Figura 74 — Ensayo de CBR de la C-03 – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-03+5%RFC

Humedad Optima(%): 12.56
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.978
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.879

Solicitante: Bach. Lisbeth Tillo Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:			Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area			
			15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42			
Nº DE GOLPES POR CAPA			12			25			56					
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA		
Peso del molde (gr).			8362			8399			7872					
Volumen de la Muestra(cc).			2124			2124			2124					
Muestra Humeda + Molde(gr).			12816			12865			12942			12582		
Muestra Humeda (gr).			4454			4503			4599			4710		
Densidad Humeda (gr/cm3).			2.10			2.12			2.14			2.22		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula (gr).			110.00			123.77			111.00			130.63		
Muestra Humeda + Capsula (gr).			501.24			454.40			500.00			468.24		
Muestra Seca+ Capsula (gr).			450.00			411.20			450.80			426.80		
Muestra Seca (gr).			340.00			287.43			339.80			296.17		
Contenido de Agua (gr)			51.24			43.20			49.20			41.44		
Contenido de Humedad(%)			15.07			15.03			14.48			13.99		
Densidad Seca (gr/cm3).			1.822			1.843			1.868			1.899		

Expansión fuerza		
56	25	12
0.5236	1.1453	0.8181
promedio general		
0.8290		

CONCHIRA S.R.L.
Mtro. Ing. José Cárpio Calumana
Consultor en Geotecnia y Concreto
Ino. Civil CIP. 18301

Figura 75 — Ensayo de CBR de la C-03 95 % SN + 5 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**

Distrito: **Coyllurqui**

Muestreo: **Solicitantes**

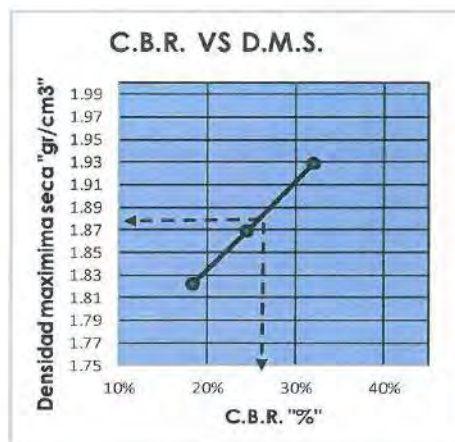
Provincia: **Cotabamba**

Region: **Apurímac**

Material: **C-03+5%RFC**

Solicitante: **Bach. Lisbeth Tito Díaz**

Fecha: **Noviembre del 2023**



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	15.07	1.82	0.24	18.28	C.B.R. - 95%	27.60
25	14.48	1.87	0.65	24.37	C.B.R. - 100%	32.05
56	14.82	1.93	0.65	32.05		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chirpa Caluagua
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 189501

Figura 76 — Ensayo de CBR de la C-03 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMAO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurimac
Material: C-03+15%RFC

Humedad Optima(%): 12.56
Densidad Seca Maxima(g/cm3): 1.978
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.879

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:																	
Diametro			Altura			Area			Diametro			Altura			Area		
15.24			11.64			182.42			15.24			11.64			182.42		
N° DE GOLPES POR CAPA																	
CONDICIONES DE LA MUESTRA																	
SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA		
Peso del molde (gr).			8300						8251						8342		
Volumen de la Muestra(cc).			2124						2124						2124		
Muestra Humeda + Molde (gr).			12752			12801			12861			13092			13054		
Muestra Humeda (gr).			4452			4501			4610			4841			4712		
Densidad Humeda (gr/cm3).			2.10			2.12			2.17			2.28			2.22		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula (gr).			110.00			91.97			111.00			93.54			120.00		
Muestra Humeda + Capsula (gr).			501.24			353.98			500.00			315.43			502.30		
Muestra Seca+ Capsula (gr).			452.20			320.10			449.80			280.10			453.65		
Muestra Seca (gr).			342.20			228.13			338.80			186.56			333.65		
Contenido de Agua (gr)			49.04			33.88			50.20			35.33			48.65		
Contenido de Humedad(%)			14.33			14.85			14.82			18.94			14.58		
Densidad Seco (gr/cm3).			1.833			1.845			1.890			1.916			1.936		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA			INTERVAL O (DIAS)			LECT. DEFOR.			EXPANSION PULGS			%		
DIA			HORA														

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

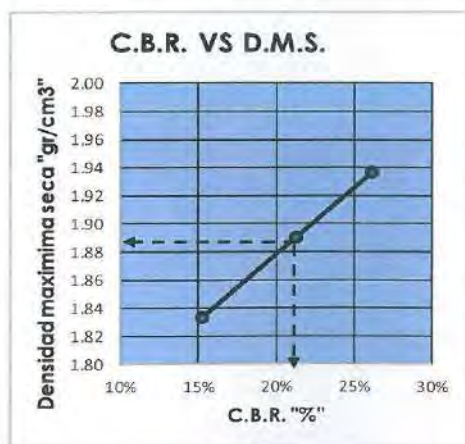
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**
Distrito: **Coyllurqui**
Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabambas**
Region: **Apurímac**
Material: **C-03+15%RFC**
Cantera: **-**

Solicitante: **Bach: Lisbeth Tillo Díaz**

Fecha: **Noviembre del 2023**



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	14.33	1.83	0.48	15.25	C.B.R. - 95%	22.10
25	14.82	1.89	0.11	21.32	C.B.R. - 100%	26.21
56	14.58	1.94	0.33	26.21		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Paul José Caipa Calhuanza
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 78 — Ensayo de CBR de la C-03 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC.

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurimac
Material: C-03+25%RFC

Humedad Optima(%): 12.56
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.978
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 1.879

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:			Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	
			15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	
N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	
Peso del molde(gr).			7865			7874			7918			
Volumen de la Muestra(cc).			2124			2124			2124			
Muestra Humeda + Molde(gr).			12555		12604	12534		12605	12819		12829	
Muestra Humeda(gr).			4690		4739	4660		4731	4901		4911	
Densidad Humeda(gr/cm3).			2.21		2.23	2.19		2.23	2.31		2.31	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	
Peso de la capsula(gr).			110.00		105.94	111.00		103.69	120.00		132.07	
Muestra Humeda + Capsula(gr).			501.24		445.31	500.00		424.87	502.30		574.75	
Muestra Seca+ Capsula(gr).			430.00		395.10	440.80		378.40	445.65		512.00	
Muestra Seca(gr).			320.00		289.16	329.80		274.71	325.65		379.93	
Contenido de Agua(gr)			71.24		50.21	59.20		46.47	56.65		62.75	
Contenido de Humedad(%)			22.26		17.36	17.95		16.92	17.40		16.52	
Densidad Seca(gr/cm3).			1.806		1.901	1.860		1.905	1.966		1.984	
MEDICION DE LA EXPANSION	DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%
	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.0300	0.0300	0.6545	0.1680	0.1680	3.6650	0.2030	0.2030	4.4286
	3.00	13:10	2.00	0.0550	0.0250	0.5454	0.1930	0.0250	0.5454	0.2220	0.0190	0.4145
	4.00	13:04	3.00	0.0970	0.0420	0.9163	0.2150	0.0220	0.4799	0.2540	0.0320	0.6981
	5.00	12:58	4.00	0.1350	0.0380	0.8290	0.2380	0.0230	0.5018	0.2980	0.0440	0.9599
ENSAYO DE PENETRACION	PENETRACION N°	CARG. PATRON	FACTOR CARGA	CBR	FACTOR CARGA	CBR	FACTOR CARGA	CBR	FACTOR CARGA	CBR	FACTOR CARGA	CBR
	"PULGADAS"	"MPa"	DIAL	MPa	DIAL	MPa	DIAL	MPa	DIAL	MPa	DIAL	MPa
	0		0	0.00		0	0.00		0	0.00		
	0.025		4	0.31		5	0.33		8	0.39		
	0.050		8	0.39		14	0.51		24	0.72		
	0.075		14	0.51		21	0.66		36	0.97		
	0.100	6.90	20	0.64	9.23	33	0.91	13.14	50	1.26	18.28	
	0.125		28	0.80		44	1.14		66	1.60		
	0.150		36	0.97		57	1.41		72	1.72		
	0.200	10.3	52	1.30	12.65	80	1.89	18.38	89	2.08	20.23	
	0.300		60	1.47		120	2.75		156	3.52		
	0.400		134	3.05		186	4.17		205	4.59		
	0.500		170	3.83		220	4.92		255	5.70		

Expansión fuerza		
56	25	12
0.7363	1.2980	1.6253
promedio general		
1.2199		

CONCHUPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chupa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL, CIP. 193001

Figura 79 — Ensayo de CBR de la C-03 75 % SN +25 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

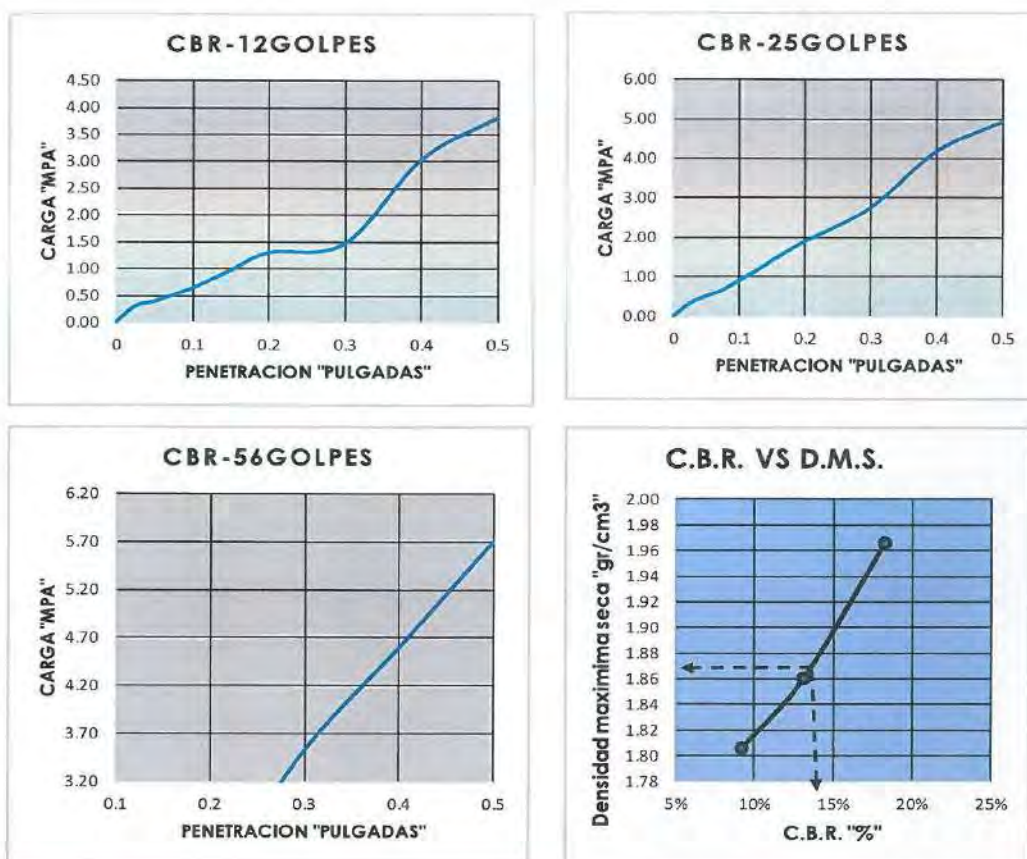
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-03+25%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%
12	22.26	1.81	0.83	9.23	C.B.R. - 95% 14.80
25	17.95	1.86	0.50	13.14	C.B.R. - 100% 18.28
56	17.40	1.97	0.96	18.28	

CONCEPDA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chirpa Caluana
CONCEPDA EN OBTENCIÓN Y CONCRETO
ING. CIVIL O.P. 185001

Figura 80 — Ensayo de CBR de la C-03 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO 1971 Y SUCS 2487

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA
Proyecto : Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS,
APURÍMAC-2023

Ubicación: Ubicación: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Hecho por: Muestreo: Solicitantes

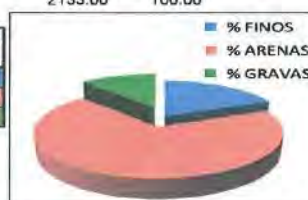
Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C - 04

Fecha: Noviembre del 2023

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO					
Muestra Inicial	2133.0 gr	Muestra lavada y secada	1752.7 gr	Peso Recipient.	0.0 gr
TAMIZ (Pulg.)	TAMIZ (mm)	PESO RET. (gr.)	PESO CORR. (gr.)	%RET.	%PASA
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	18.51	18.51	0.87	99.13
3/4"	19.050	100.35	100.35	4.70	94.43
1/2"	12.700	46.17	46.17	2.16	92.26
3/8"	9.525	25.42	25.42	1.19	91.07
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	91.07
Nº4	4.750	66.52	66.52	3.12	87.95
Nº10	2.000	280.34	280.34	13.14	74.81
Nº20	0.850	665.02	665.02	31.18	43.63
Nº40	0.425	328.52	328.52	15.40	28.23
Nº60	0.300	96.87	96.87	4.54	23.69
Nº100	0.149	58.26	58.26	2.73	20.96
Nº200	0.075	47.68	47.68	2.24	18.72
Cazuela		19.05	399.34	18.72	0.00
TOTAL		1752.71	2133.00	100.00	

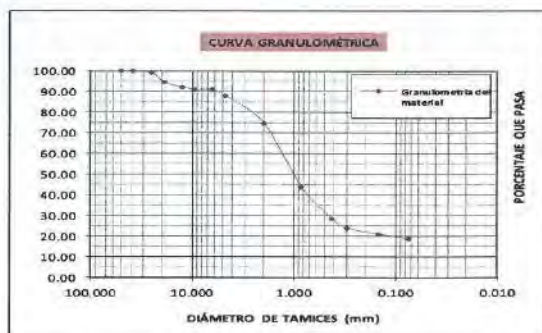
PORCENTAJES DE FINOS, ARENAS Y GRAVAS	
% FINOS	18.72%
% ARENAS	69.23%
% GRAVAS	12.05%



LÍMITES DE CONSISTENCIA			
LÍMITE LÍQUIDO			
Muestra	1	2	3
Nº de Cáp.	1	2	3
Cap. + S. Hum.	77.20	76.90	75.30
Cap. + S. Seco.	73.07	72.60	71.16
Agua	4.13	4.30	4.14
Peso Cáp.	62.50	61.40	60.10
Peso S. seco	10.57	11.20	11.06
% Humedad	39.07	38.39	37.43
Nº de golpes	19	27	35
LÍMITE PLÁSTICO			
Muestra	1	2	3
Nº de Cáp.	1	2	3
Cap. + S. Hum.	67.30	69.22	65.92
Cap. + S. seco	66.13	67.78	64.68
Agua	1.17	1.44	1.24
Peso Cáp.	61.60	63.00	60.50
Peso S. seco	4.53	4.78	4.18
% Humedad	25.83	30.13	29.67

LÍMITE LÍQUIDO	=	38.42 %
LÍMITE PLÁSTICO	=	28.54 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	=	9.88 %

Pasa tamiz Nº 4 (4.75mm)	87.95%
Pasa tamiz Nº 200 (0.0075mm)	18.72%
D60	1.45374
D30	0.474
D10	NO TIENE
Coefficiente de uniformidad (Cu)	NO TIENE
Grado de curvatura (Cc)	NO TIENE



ÍNDICE DE GRUPO	$IG = (F_{200} - 35) \{0.2 + 0.005(LL - 40)\} + 0.01(F_{200} - 15) \cdot (IP - 10)$	
CLASIFICACIÓN AASHTO:	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena (0)	
CLASIFICACIÓN SUCS:	Arena limosa con grava SM	
OBSERVACIONES:	Arena limosa con grava SM	

CONCHITA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Raúl José Cuitipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL, DIP. 100001

Figura 81 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-04

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto:

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: **Coyllurqui**Provincia: **Cotabambas**Fecha: **Noviembre del 2023**Distrito: **Coyllurqui**Region: **Apurímac**Hecho por: Muestreo: **Solicitantes**Material **C - 04**Solicitante: **Bach: Lisbeth Tito Diaz**

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2		
Cápsula N°	1	2		
Peso suelo húmedo + cápsula	282.43	245.80	2133.00	
Peso suelo seco + cápsula	272.23	236.94	2011.00	
Peso del agua	10.20	8.86	122.00	
Peso de la cápsula	100.88	89.02	0.00	
Peso neto del suelo seco	171.35	147.92	2011.00	
% de Humedad	5.95	5.99	6.07	

w (%) Promedio =	6.00
------------------	------

NOTA : El contenido de humedad se determino de una muestra alterada.

CONCRETA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Cappa Calumana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 195501

Figura 82 — Contenido de humedad de la C-04

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO
ASTM D-1557-70 - AASHTO T-180-70

Proyecto :

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: **Coyllurqui**
Distrito: **Coyllurqui**
Muestreo: **Solicitantes**

Provincia: **Cotabamba**
Region: **Apurímac**
Material: **C - 04**

Fecha: **Noviembre del 2023**

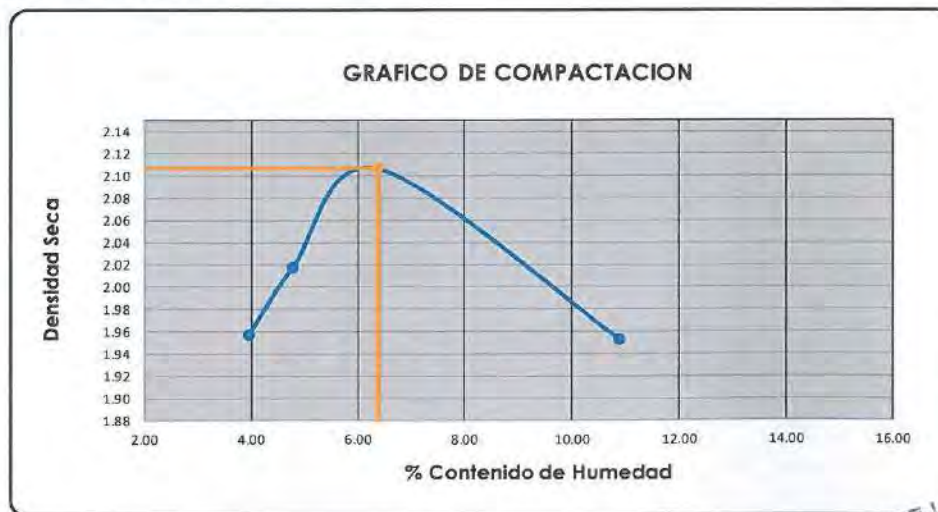
Solicitante: **Bach: Lisbeth Tlifo Diaz**

N° de Capas: 5	
N° de golpes por capas: 56	Volumen Molde : 2124

Muestra	I	II	III	IV
Wcap.	105.10	110.70	106.20	98.90
Wcap+sh.	339.30	549.40	483.30	546.00
Wcap+ss.	330.40	529.40	460.70	502.09
Wss.	225.30	418.70	354.50	403.19
Ww.	8.90	20.00	22.60	43.91
%CH.	3.95	4.78	6.38	10.89

%CH.	3.95	4.78	6.38	10.89
Wmolde	5730	5730	5730	5730
Wsh+molde	10050	10220	10490	10328
Wsh.	4320	4490	4760	4598
Densidad Hum.	2.034	2.114	2.241	2.165
Densidad Seca	1.957	2.018	2.107	1.952

Densidad Seca Maxima(g/cm3) :	2.107
Contenido Optimo de Agua(%) :	6.38



CONCHIPER S.R.L.
Miro, Ing. Juan José Cárdena Colman
CONSEJO EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 185001

Figura 83 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-04

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui Provincia: Cotabambas
Distrito: Coyllurqui Region: Apurímac
Muestreo: Solicitantes Material: C - 04

Humedad Óptima(%): 6.38
Densidad Seca Máxima(g/cm³): 2.107
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 2.001

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:				Dímetro	Altura	Area	Dímetro	Altura	Area	Dímetro	Altura	Area	
				15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	
N° DE GOLPES POR CAPA				12			25			56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA				SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	
Peso del molde(gr).				7920			8090			7840			
Volumen de la Muestra(cc).				2124			2124			2124			
Muestra Humeda + Molde(gr).				11970		12086	12480		12312	12420		12581	
Muestra Humeda(gr).				4050		4166	4390		4222	4580		4741	
Densidad Humeda(gr/cm3).				1.91		1.96	2.07		1.99	2.16		2.23	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA				MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	
Peso de la capsula(gr).				110.00		0.00	111.00		0.00	120.00		0.00	
Muestra Humeda + Capsula(gr).				503.24		400.02	500.00		467.00	502.30		633.00	
Muestra Seca+ Capsula(gr).				500.22		390.05	489.22		448.03	486.65		597.45	
Muestra Seca(gr).				390.22		390.05	378.22		448.03	366.65		597.45	
Contenido de Agua(gr)				3.02		9.97	10.78		18.97	15.65		35.55	
Contenido de Humedad(%)				0.77		2.56	2.85		4.23	4.27		5.95	
Densidad Seca(gr/cm3).				1.892		1.913	2.010		1.907	2.068		2.107	
		DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0000				0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.3990	0.3990	8.7045		0.3050	0.3050	6.6538	0.3830	0.3830	8.3554
	3.00	13:10	2.00	0.4169	0.0179	0.3905		0.4290	0.1240	2.7051	0.6000	0.2170	4.7340
	4.00	13:04	3.00	0.4580	0.0411	0.8966		0.5529	0.1239	2.7030	0.7320	0.1320	2.8797
	5.00	12:58	4.00	0.5600	0.1020	2.2252		0.6880	0.1351	2.9473	0.7740	0.0420	0.9163
		PENETRACION N° PULGADAS	CARGA PATRON "MPa"		FACTOR CARGA DIAL	CARGA MPa	CBR 12	FACTOR CARGA DIAL	CARGA MPa	CBR 25	FACTOR CARGA DIAL	CARGA MPa	CBR 56
ENSAYO DE PENETRACION	0			0	0.00			0	0.00		0	0.00	
	0.025			15	0.53			30	0.84		50	1.26	
	0.050			30	0.84			72	1.72		70	1.68	
	0.075			39	1.03			82	1.94		96	2.23	
	0.100	6.90		46	1.18	17.07		95	2.21	32.05	125	2.85	41.34
	0.125			54	1.35			112	2.57		166	3.74	
	0.150			59	1.45			139	3.15		195	4.37	
	0.200	10.3		68	1.64	15.92		155	3.50	33.98	210	4.70	45.65
	0.300			83	1.96			185	4.15		245	5.48	
	0.400			95	2.21			208	4.66		289	6.46	
	0.500			106	2.45			235	5.25		334	7.47	

Expansión fuerza		
56	25	12
3.0542	3.7523	4.2213
Promedio general		
3.6759		

CONCIUPE I.R.L.
Mtro. Ing. Paul José Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 183001

Figura 84 — Ensayo de CBR de la C-04 - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

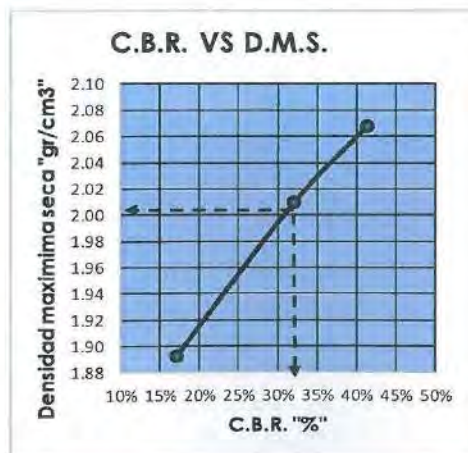
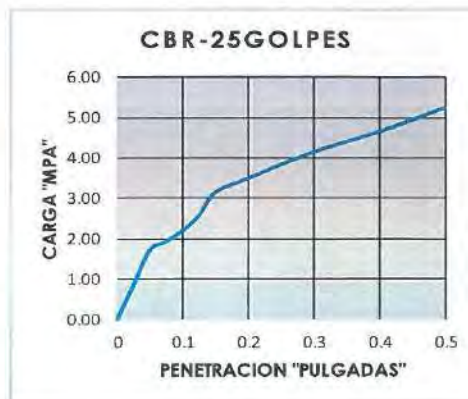
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C - 04

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	0.77	1.89	2.23	17.07	C.B.R. - 95%	32.10
25	2.85	2.01	2.95	32.05	C.B.R. - 100%	41.34
56	4.27	2.07	0.92	41.34		

CONCHITA F.I.E.L.
Ing. José Chirpa Caluagui
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 183501

Figura 85 — Ensayo de CBR de la C-04 – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Región: Apurímac
Material: C - 04+5%RFC

Humedad Óptima(%): 6.38
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 2.107
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 2.001

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:			Dímetro	Altura	Area	Dímetro	Altura	Area	Dímetro	Altura	Area	
			15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	
N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	SIN MOJAR		SATURADA	
Peso del molde(gr).			7920			8090			7840			
Volumen de la Muestra(cc).			2124			2124			2124			
Muestra Humeda + Molde(gr).			12000		12370	12690		12930	12970		13140	
Muestra Humeda(gr).			4080		4450	4600		4840	5130		5300	
Densidad Humeda(gr/cm3).			1.92		2.10	2.17		2.28	2.42		2.50	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	
Peso de la capsula(gr).			90.00		108.26	111.00		91.69	120.00		92.23	
Muestra Humeda + Capsula(gr).			501.24		380.75	500.00		333.77	502.30		478.65	
Muestra Seca+ Capsula(gr).			462.22		346.10	470.22		308.10	460.65		433.35	
Muestra Seca(gr).			372.22		237.84	359.22		216.41	340.65		341.12	
Contenido de Agua(gr)			39.02		34.65	29.78		25.67	41.65		45.30	
Contenido de Humedad(%).			10.48		14.57	8.29		11.86	12.23		13.28	
Densidad Seca(gr/cm3).			1.739		1.829	2.000		2.037	2.152		2.203	
			DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0500			0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.1200	0.0700	1.5271	0.2200	0.2200	4.7995	0.3200	0.3200	6.9810
	3.00	13:10	2.00	0.1600	0.0400	0.8726	0.3900	0.1700	3.7087	0.3300	0.0100	0.2182
	4.00	13:04	3.00	0.2800	0.1200	2.6179	0.4500	0.0600	1.3089	0.3600	0.0300	0.6545
	5.00	12:58	4.00	0.4600	0.1800	3.9268	0.6600	0.2100	4.5813	0.7200	0.3600	7.8536
PENETRACION N° "PULGADAS"			CARGA PATRON "MPa"	FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 12	FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 25	FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 56
ENSAYO DE PENETRACION	0		0	0.00			0	0.00		0	0.00	
	0.025		14	0.51			16	0.55		50	1.26	
	0.050		28	0.80			45	1.16		119	2.72	
	0.075		38	1.01			74	1.77		168	3.78	
	0.100	6.90	55	1.37	19.80		130	2.96	42.90	180	4.04	58.61
	0.125		59	1.45			136	3.09		200	4.48	
	0.150		64	1.56			144	3.26		226	5.05	
	0.200	10.3	70	1.68	16.33		155	3.50	33.98	245	5.48	53.16
	0.300		88	2.06			178	4.00		269	6.01	
	0.400		102	2.36			204	4.57		280	6.26	
0.500		113	2.60			228	5.10		296	6.61		

Expansión fuerza		
56	25	12
2.2361	3.5996	3.9268
Promedio general		
3.2542		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chirpa Cahuana
CONCHIPA E.I.R.L. CONCRETO Y GEOTECNIA
ING. CIVIL DIP. 193601

Figura 86 — Ensayo de CBR de la C-04 95 % SN + 5 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

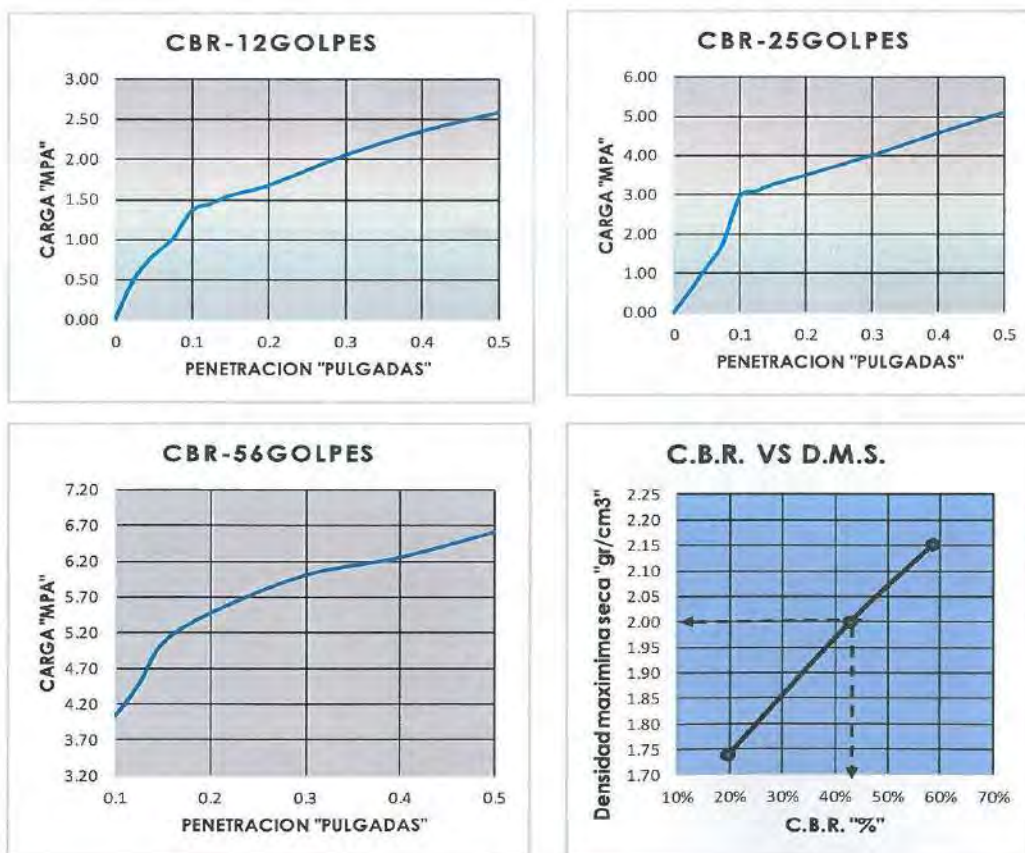
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA
MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 -
KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C - 04+5%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	10.48	1.74	3.93	19.80	C.B.R. - 95%	41.60
25	8.29	2.00	4.58	42.90	C.B.R. - 100%	58.61
56	12.23	2.15	7.85	58.61		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Selu Josa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
REG. CIVIL CIP. 189601

Figura 87 — Ensayo de CBR de la C-04 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Cuyllurqui
Distrito: Cuyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C - 04 + 15%RFC

Humedad Optima(%): 6.38
Densidad Seca Máxima(g/cm3): 2.107
95% Densidad Seca Máxima(g/cm3): 2.001

Solicitante: Bach: Lisbeth Tillo Diaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:									
	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area
	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42
N° DE GOLPES POR CAPA	12			25			56		
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA	
Peso del molde(gr).	8370			8300			7840		
Volumen de la Muestra(cc).	2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde(gr).	12710	12990		12960	13240		12760	12820	
Muestra Humeda(gr).	4340	4620		4660	4940		4920	4980	
Densidad Humeda(gr/cm3).	2.04	2.18		2.19	2.33		2.32	2.34	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA	MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO		MEDIO	MEDIO	
Peso de la capsula(gr).	110.00	123.45		111.00	102.86		120.00	88.13	
Muestra Humeda + Capsula(gr).	501.24	479.97		500.00	619.09		502.30	600.70	
Muestra Seca+ Capsula(gr).	471.22	437.40		459.22	573.60		458.65	561.50	
Muestra Seca(gr).	361.22	313.95		348.22	470.74		338.65	473.37	
Contenido de Agua(gr)	30.02	42.57		40.78	45.49		43.65	39.20	
Contenido de Humedad(%)	8.31	13.56		11.71	9.66		12.89	8.28	
Densidad Seca(gr/cm3).	1.887	1.915		1.964	2.121		2.052	2.165	
MEDICION DE LA EXPANSION	DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS	%
	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.1510	0.1510	3.2942	0.1009	0.1009	2.2012
	3.00	13:10	2.00	0.2190	0.0680	1.4835	0.2800	0.1791	3.9072
	4.00	13:04	3.00	0.2900	0.0710	1.5489	0.3400	0.0600	1.3089
ENSAYO DE PENETRACION	5.00	12:58	4.00	0.4210	0.1310	2.8579	0.5100	0.1700	3.7087
ENSAYO DE PENETRACION	PENETRACION N°	CARGA PATRON "MPa"	FACTOR CARGA	CBR	FACTOR CARGA	CBR	FACTOR CARGA	CBR	
	"PULGADAS"	DIAL	MPa	12	DIAL	MPa	25	DIAL	MPa
	0		0	0.00		0	0.00		0
	0.025		10	0.43		13	0.49		12
	0.050		26	0.76		30	0.84		46
	0.075		38	1.01		79	1.87		162
	0.100	6.90	59	1.45	21.02	132	3.00	43.52	186
	0.125		63	1.53		161	3.63		266
	0.150		68	1.64		183	4.11		318
	0.200	10.3	76	1.81	17.56	215	4.81	46.71	397
ENSAYO DE PENETRACION	0.300		89	2.08		262	5.85		510
	0.400		96	2.23		302	6.75		590
	0.500		100	2.32		340	7.61		653

Expansión fuerza		
56	25	12
2.2961	2.7815	3.5723
promedio general		
2.8833		

CONCHIPA S.R.L.
Mtro. Ing. José Luis Chirpa Calumana
consultor en geotecnia y concreto
ING. CIVIL CIP. 166001

Figura 88 — Ensayo de CBR de la C-04 85 % SN +15 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

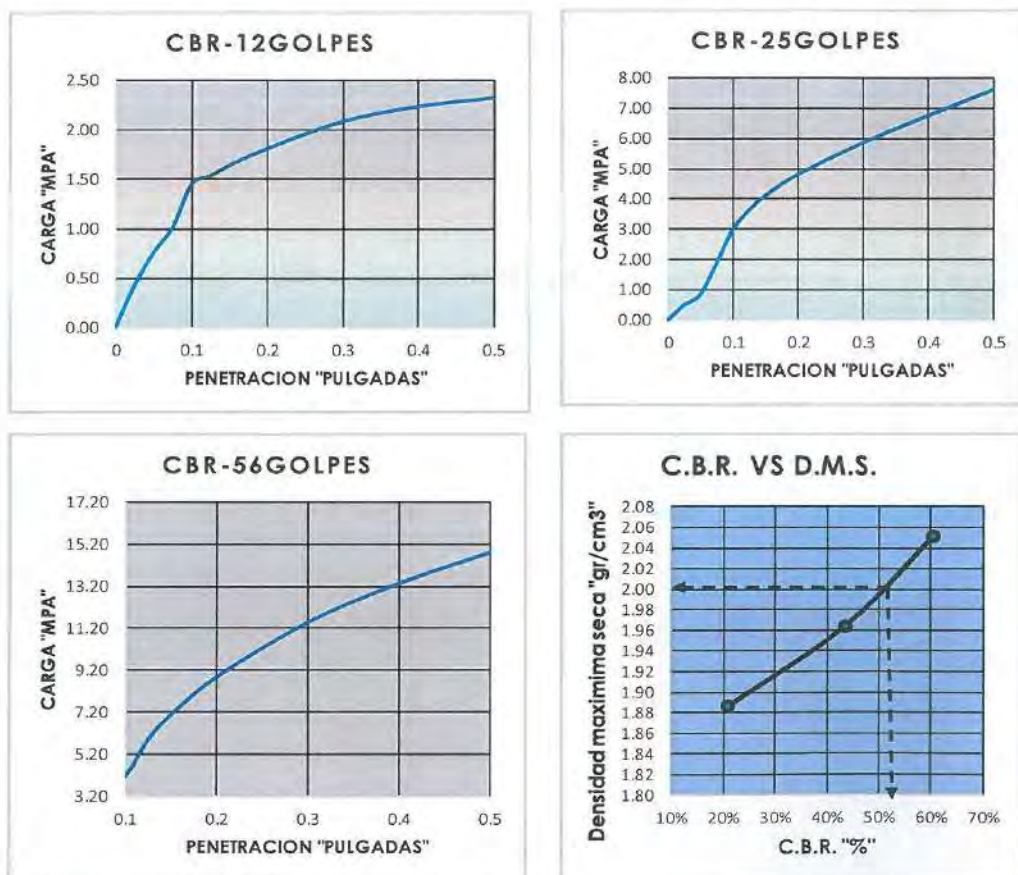
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C - 04 + 15%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	8.31	1.89	2.86	21.02	C.B.R. - 95%	51.10
25	11.71	1.96	3.71	43.52	C.B.R. - 100%	60.51
56	12.89	2.05	4.12	60.51		

CONCHIPAE I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Cárpa Cahuana
CONSEJERÍA ASISTENCIAL Y TECNOLÓGICA
ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 89 — Ensayo de CBR de la C-04 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C - 04 + 25%RFC

Humedad Óptima(%): 6.38
Densidad Seca Máxima(g/cm³): 2.107
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 2.001

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:									
	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area
	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42
N° DE GOLPES POR CAPA									
CONDICIONES DE LA MUESTRA									
	12			25			56		
	SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA	
Peso del molde(gr).	8090			8300			8070		
Volumen de la Muestra(cc).	2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde(gr).	12400	12730		13080	13250		13160	13280	
Muestra Humeda(gr).	4310	4640		4780	4950		5090	5210	
Densidad Humeda(g/cm³).	2.03	2.18		2.25	2.33		2.40	2.45	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA									
	MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula(gr).	110.00	102.55		111.00	92.38		120.00	92.76	
Muestra Humeda + Capsula(gr).	501.24	341.99		500.00	518.17		502.30	442.66	
Muestra Seca+ Capsula(gr).	471.22	316.90		454.22	462.90		448.65	390.38	
Muestra Seca(gr).	361.22	214.35		343.22	370.52		328.65	297.62	
Contenido de Agua(gr)	30.02	25.09		45.78	55.27		53.65	52.28	
Contenido de Humedad(%).	8.31	11.71		13.34	14.92		16.32	17.57	
Densidad Seca(g/cm³).	1.873	1.956		1.986	2.028		2.060	2.086	
MEDICION DE LA EXPANSION									
	DIA	HORA	INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULGS	%
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.0632	0.0632	1.3788	0.1750	0.1750	3.8177
	3.00	13:10	2.00	0.1200	0.0568	1.2391	0.2690	0.0940	2.0507
	4.00	13:04	3.00	0.1600	0.0400	0.8726	0.3725	0.1035	2.2577
	5.00	12:58	4.00	0.3100	0.1500	3.2724	0.4780	0.1055	2.3018
ENSAYO DE PENETRACION									
	PENETRACION N° "PUNTERAS"	CARGA PATRON "MPa"	FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 12		FACTOR DIAL	CARGA MPa	CBR 25
ENSAYO DE PENETRACION	0		0	0.00			0	0.00	
	0.025		19	0.62			35	0.95	
	0.050		32	0.89			60	1.47	
	0.075		42	1.09			110	2.53	
	0.100	6.90	55	1.37	19.80		170	3.83	55.45
	0.125		60	1.47			186	4.17	
	0.150		65	1.58			200	4.48	
	0.200	10.3	70	1.68	16.33		238	5.32	51.65
	0.300		78	1.85			295	6.59	
	0.400		92	2.15			343	7.67	
	0.500		106	2.45			390	8.74	

Expansión fuerza		
56	25	12
1.6907	2.6070	3.0215
promedio general		
2.4397		

CONCHIPA E.I.R.L.
Ing. José Cipriano Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 165001

Figura 90 — Ensayo de CBR de la C-04 75 % SN +25 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

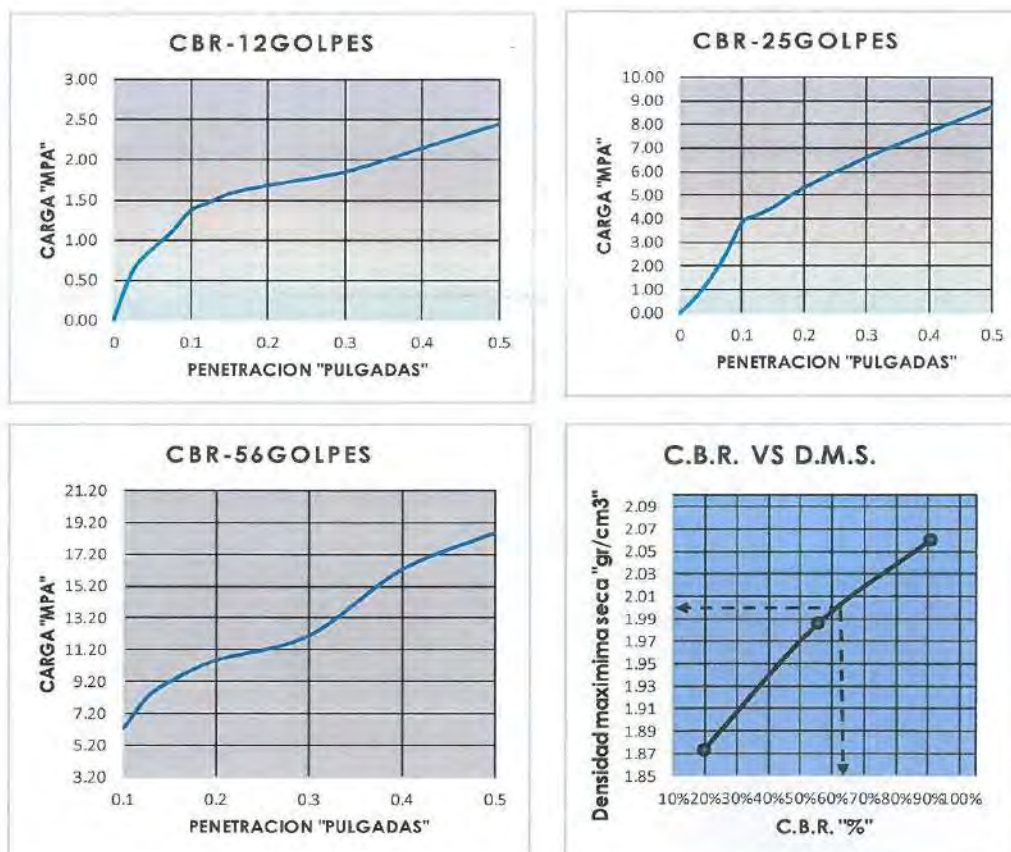
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C - 04 + 25%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	8.31	1.87	3.27	19.80	C.B.R. - 95%	60.60
25	13.34	1.99	2.30	55.45	C.B.R. - 100%	90.65
56	16.32	2.06	4.62	90.65		

CONCIPIA S.R.L.
Mtro. Ing. Raúl José Cárpio Caluana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 188001

Figura 91 — Ensayo de CBR de la C-04 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO 1971 Y SUCS 2487

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBAS, APURÍMAC-2023

Ubicación: Ubicación: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Hecho por: Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Region: Apurímac
Material: C-05

Fecha: Noviembre del 2023

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO Y TAMIZADO					
Muestra inicial	2010.0 gr	Muestra lavada y secada	1930.0 gr	Peso Recipiet.	0.0 gr
TAMIZ (Pulg.)	TAMIZ (mm)	PESO RET. (gr.)	PESO CORR. (gr.)	%RET.	%PASA
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	97.59
1"	25.400	82.74	82.74	4.12	85.11
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	79.76
1/2"	12.700	26.18	26.18	1.30	76.78
3/8"	9.525	11.21	11.21	0.56	75.07
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	73.74
Nº4	4.750	28.41	28.41	1.41	72.79
Nº10	2.000	139.42	139.42	6.94	68.12
Nº20	0.850	409.36	409.36	20.37	54.42
Nº40	0.425	442.96	442.96	22.04	39.60
Nº60	0.300	283.69	283.69	14.11	30.11
Nº100	0.149	217.42	217.42	10.82	22.84
Nº200	0.075	280.14	280.14	13.94	13.47
Cazuela		21.36	88.47	4.40	0.00
TOTAL		1942.89	2010.00	100.00	

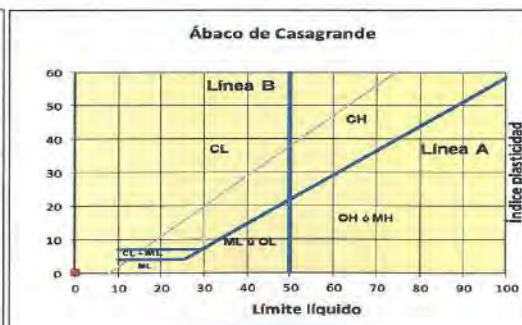
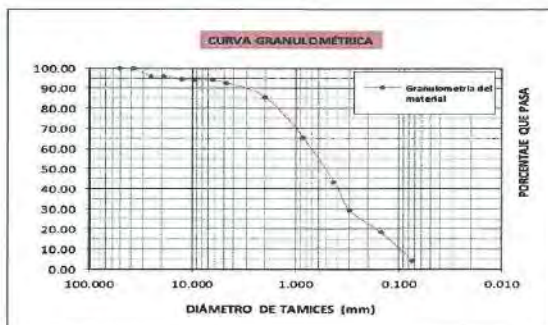
PORCENTAJES DE FINOS, ARENAS Y GRAVAS	
% FINOS	4.40%
% ARENAS	88.21%
% GRAVAS	7.39%



LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LÍMITE LÍQUIDO	N.P
LÍMITE PLÁSTICO	N.P

LÍMITE LÍQUIDO	N.P
LÍMITE PLÁSTICO	N.P
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P

Pasa tamiz Nº 4 (4.75mm)	92.61%
Pasa tamiz Nº 200 (0.075mm)	4.40%
D60	0.747645
D30	0.307
D10	0.105
Coefficiente de uniformidad (Cu)	7.14
Grado de curvatura (Cc)	1.207



ÍNDICE DE GRUPO	$IG = (F_{200} - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15) \cdot (IP - 10)$
CLASIFICACIÓN AASHTO:	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena (0)
CLASIFICACIÓN SUCS:	Arena bien graduada SW
OBSERVACIONES:	Arena bien graduada SW

CONCHUPA E.I.R.L.
Mtro. José María Caluza
COMITENTE EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193601

Figura 92 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-05

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: Cayllurqui Provincia: Cotabamba Fecha: Noviembre del 2023
 Distrito: Cayllurqui Region: Apurímac
Hecho por: Muestreo: Solleadores Material C-05
 Contera -

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Díaz

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2		
Cápsula N°	1	2		
Peso suelo húmedo + cápsula	302.43	315.80	2029.00	
Peso suelo seco + cápsula	294.23	305.94	1965.00	
Peso del agua	8.20	9.86	64.00	
Peso de la cápsula	102.80	88.86	86.26	
Peso neto del suelo seco	191.43	217.08	1876.74	
% de Humedad	4.28	4.54	3.41	

w (%) Promedio =	4.16
------------------	------

NOTA: El contenido de humedad se determina de una muestra alterada.



Figura 93 — Contenido de humedad de la C-05

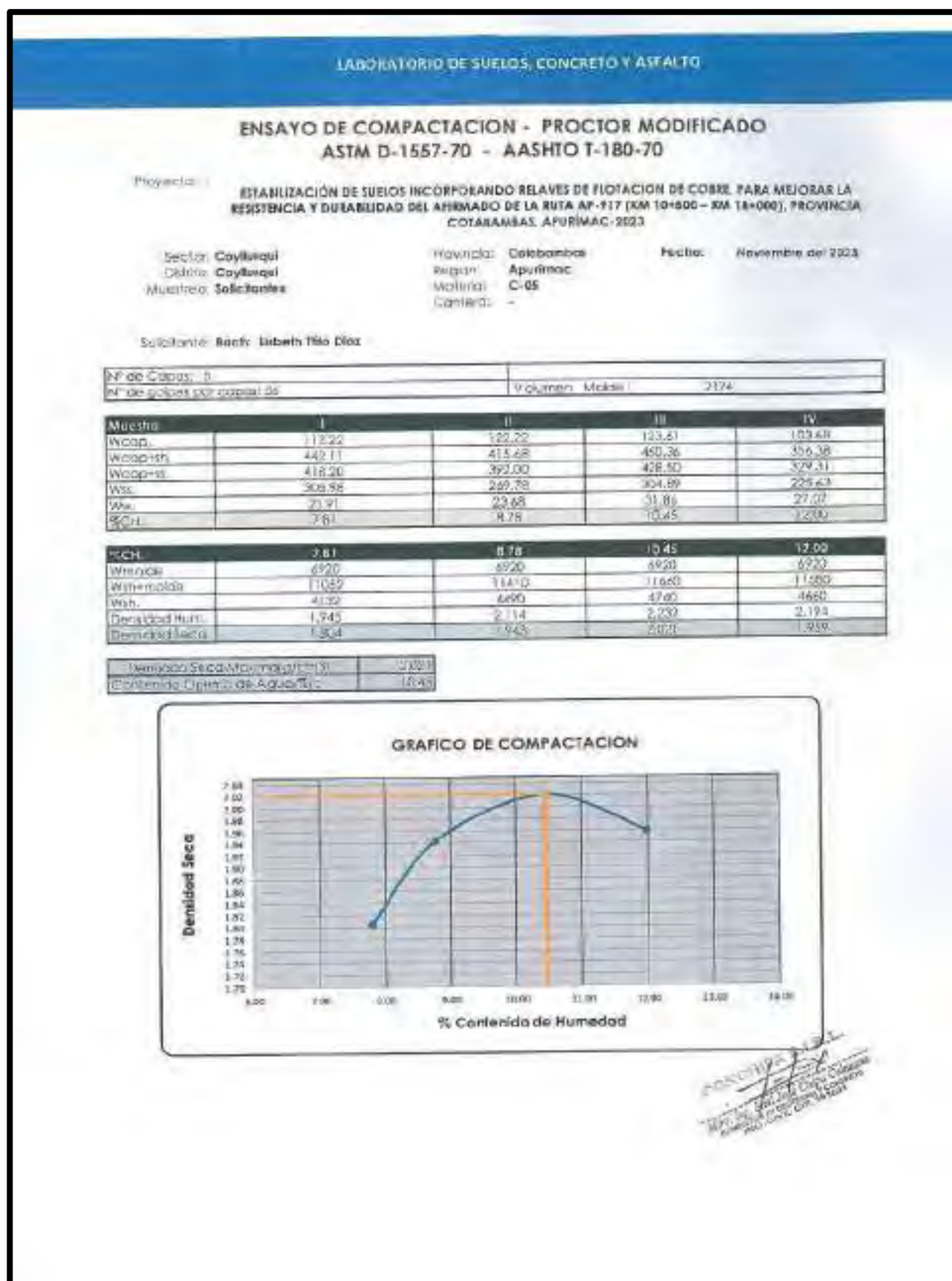


Figura 94 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-05



Figura 95 — Ensayo de CBR de la C-05 - Expansión

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

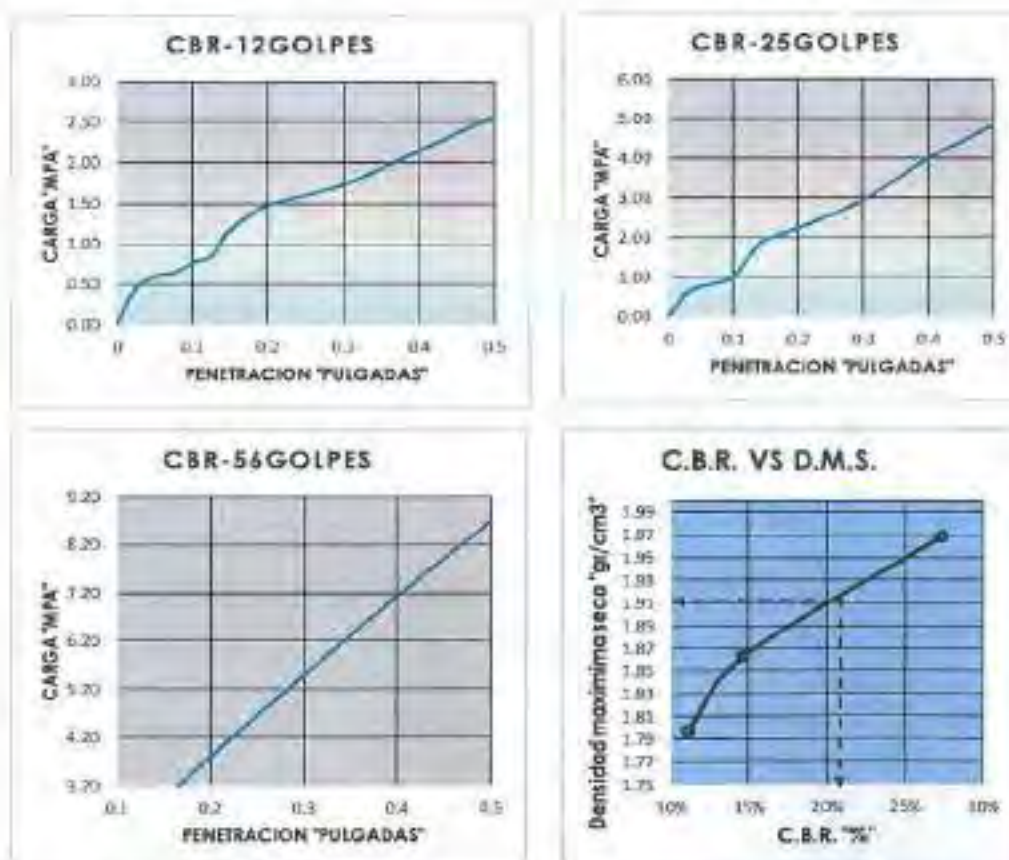
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000). PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabambas
Región: Apurímac
Material: C-35

Solicitante: **Nome:** Lisbeth Tiso Dias

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDI	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	10.83	1.80	0.41	11.03	C.B.R. - 95%	21.80
25	9.95	1.86	0.17	14.65	C.B.R. - 100%	27.43
54	10.38	1.97	0.22	22.43		

~~CONFIDENTIAL~~

Figura 96 — Ensayo de CBR de la C-05 – CBR al 95 %

ASTM 1833 - 73

Sector: Ceythugol
Distric: Ceythugol
Municip: Sollicitudin

Provincie Colombia
Región Andina
Municipio C-05 + 5530
Código:

Humedad Cálculo(%) 18.45
Densidad Seca Máxima(g/cm³) 2.621
SS Densidad Seca Máxima(g/cm³) 1.919

Software: [Excel: Hatching into Data](#)

© 2021, Wiley Periodicals, Inc.

DIMENSIONES DE MOLDE		Diámetro		Altura		Área		Diámetro		Altura		Área		Diámetro		Altura		Área	
		13.24		11.44		182.42		13.24		11.44		182.42		15.24		11.44		182.42	
Nº DE CORPES POR CAPA		12		25		56		12		25		56		12		25		56	
CONDICIONES DE LA MUESTRA		EN MOJAS		SATURADA		EN MOJAS		SATURADA		EN MOJAS		SATURADA		EN MOJAS		SATURADA		EN MOJAS	
Peso del molde (gr.)		7726		7063		8058		7726		7063		8058		7726		7063		8058	
Volumen de la Muestra (cc.)		2124		2124		2124		2124		2124		2124		2124		2124		2124	
Muestra Humeda + Molde (gr.)		12130		12340		12330		12330		12330		12330		12330		12330		12330	
Muestra Humeda (gr.)		4204		4434		4305		4455		4542		4622		4542		4622		4542	
Densidad Humeda (gr./cm ³)		1.98		2.09		2.03		2.10		2.14		2.18		2.14		2.18		2.18	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA		MEDIO		MEDIO		MEDIO		MEDIO		MEDIO		MEDIO		MEDIO		MEDIO		MEDIO	
Peso de la capsula (gr.)		112.00		113.98		112.00		122.00		122.16		122.16		122.16		122.16		122.16	
Muestra Humeda + Capsula (gr.)		900.35		674.60		499.10		573.30		501.40		479.60		501.40		479.60		479.60	
Muestra Seca + Capsula (gr.)		442.10		395.00		464.90		322.50		465.73		423.90		465.73		423.90		423.90	
Muestra Seca (gr.)		350.10		481.02		350.90		400.50		343.67		377.10		343.67		377.10		377.10	
Contenido de Agua (gr.)		38.35		79.60		34.20		50.80		35.60		45.70		35.60		45.70		45.70	
Contenido de Humedad (%)		10.93		18.55		9.69		12.68		10.37		12.12		10.37		12.12		12.12	
Densidad Seca (gr./cm ³)		1.804		1.791		1.848		1.861		1.937		1.941		1.937		1.941		1.941	

Expansion factor		
26	24	12
0.8126	0.8471	0.8728
plasma/gelatin		
0.8100		

~~CONFIDENTIAL~~
1944, Inc. 2000 Capital Center
1000 17th Street, N.W.
Atlanta, Ga. 30333

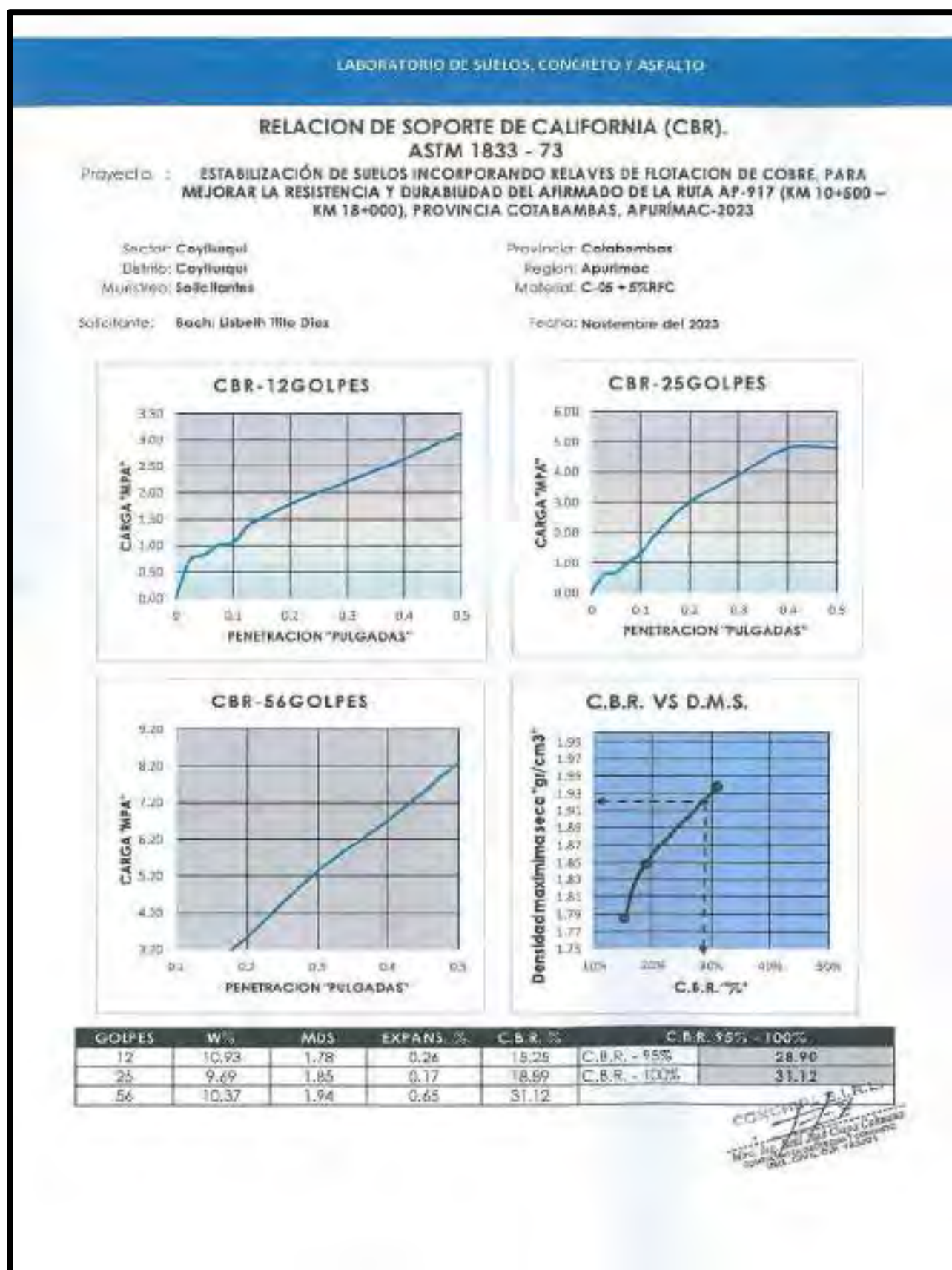
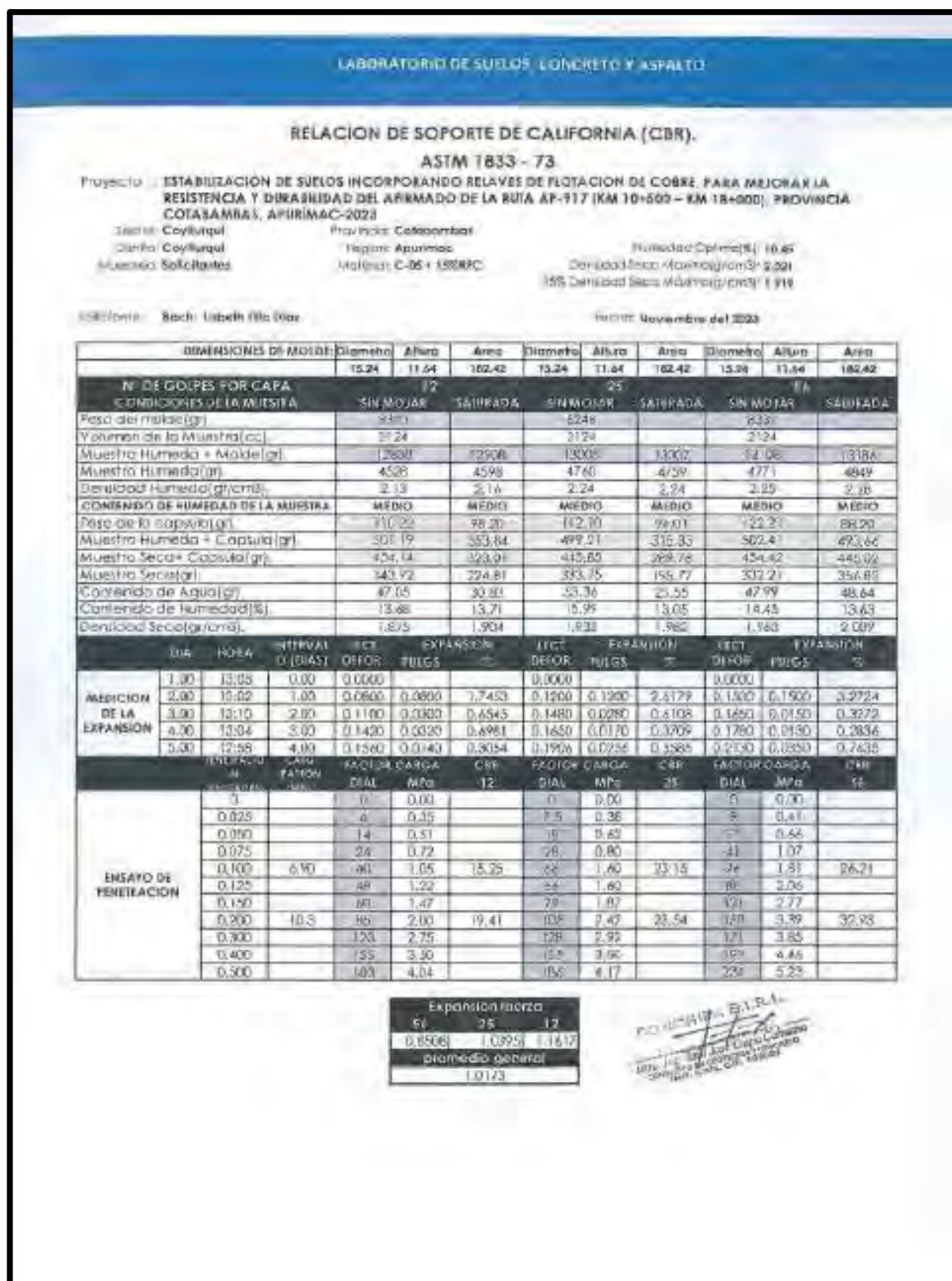


Figura 98 — Ensayo de CBR de la C-05 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %



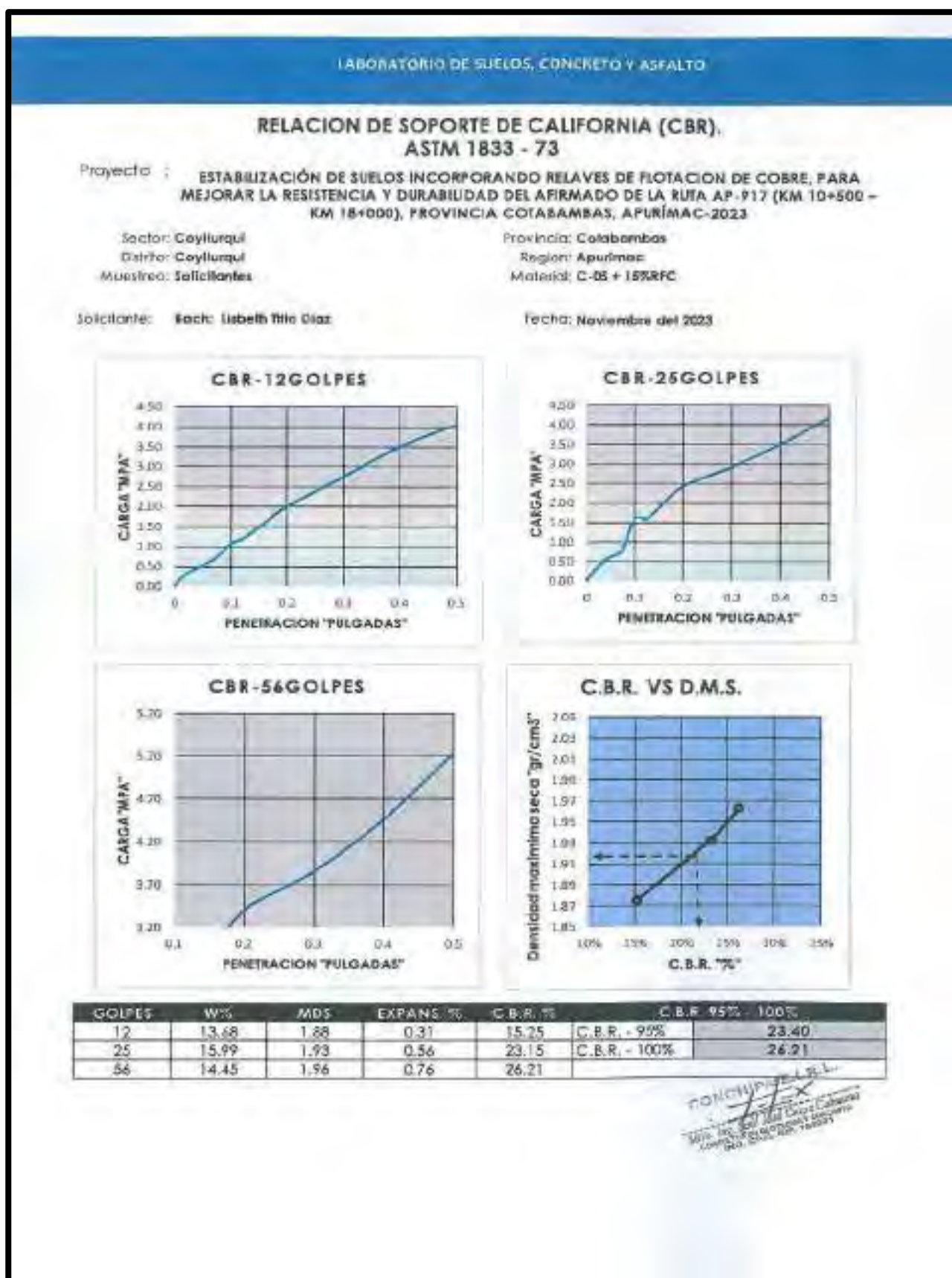


Figura 100 — Ensayo de CBR de la C-05 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

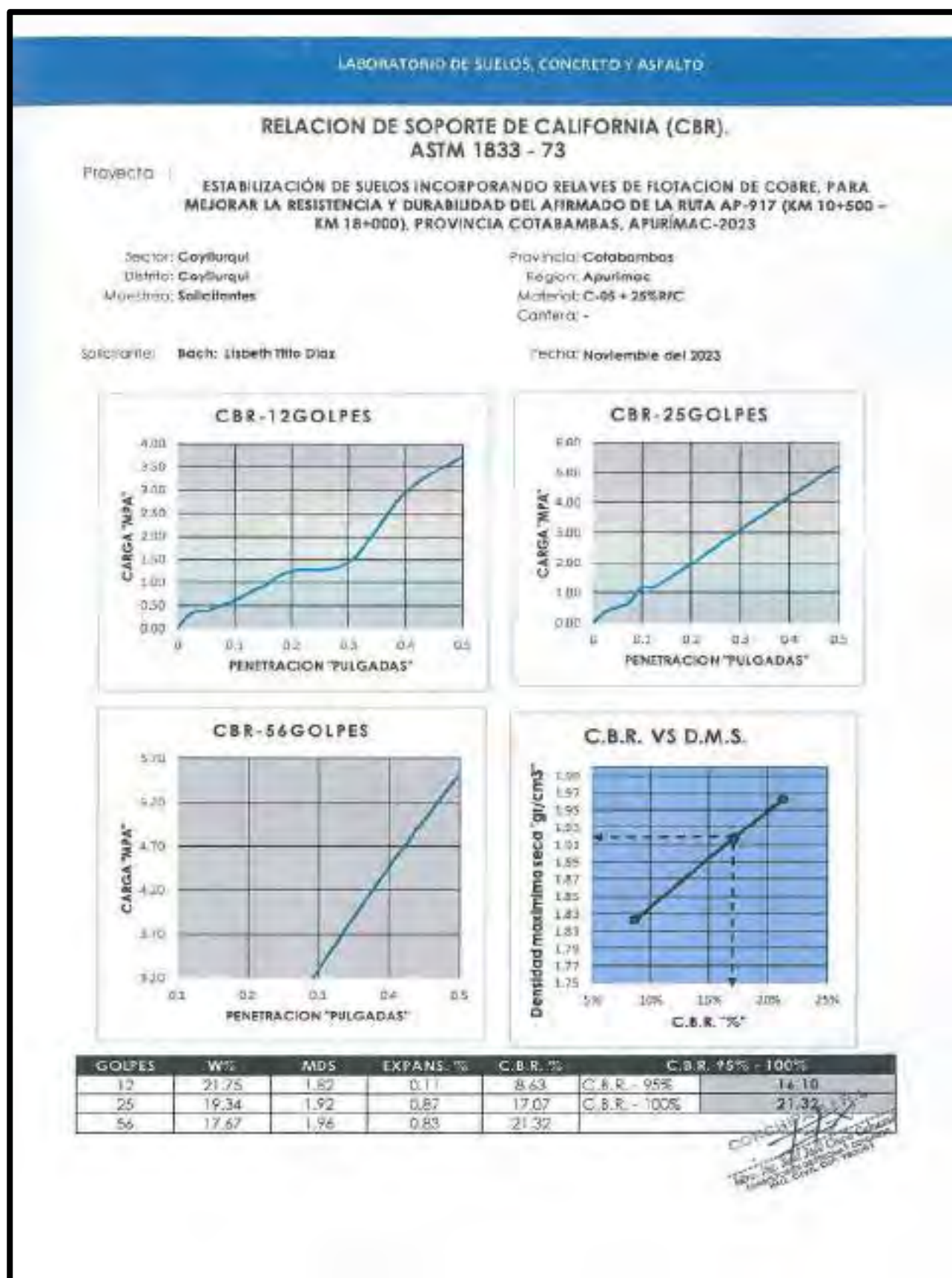


Figura 102 — Ensayo de CBR de la C-05 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

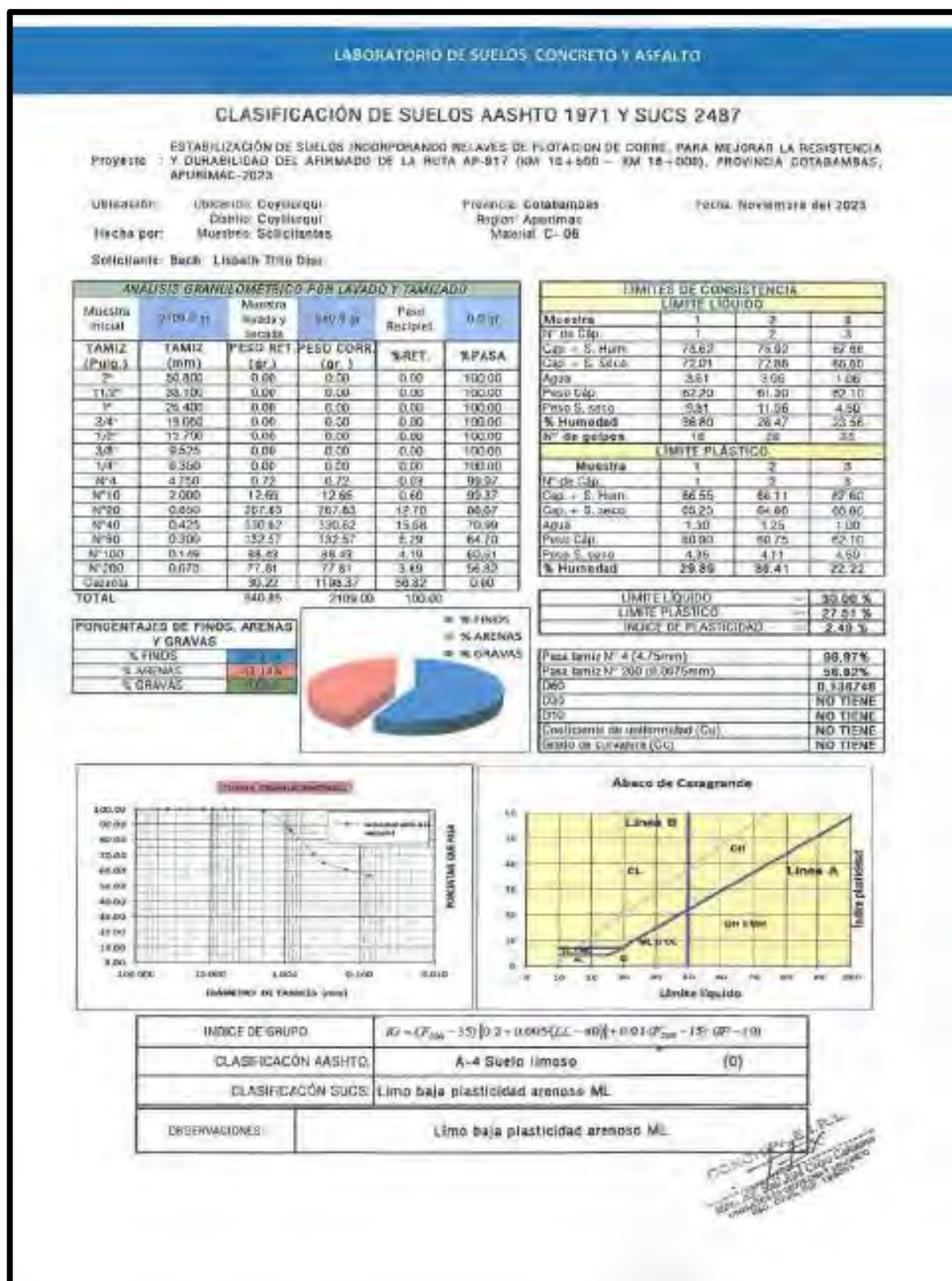


Figura 103 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-06

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto:

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000). PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sección: Cayllurqui

Provincia: Cotabamba

Fecha: Noviembre del 2023

Distrito: Cayllurqui

Región: Apurímac

Hecho por: Muestreo: Solicitantes

Material C- 06

Cantera -

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ENSAYO	1	2	
Cápsula N°	1	2	
Peso suelo húmedo + cápsula	291.43	312.20	2109.00
Peso suelo seco + cápsula	254.23	271.20	1665.00
Peso del agua	37.20	41.00	444.00
Peso de la cápsula	102.88	89.82	0.00
Peso neto del suelo seco	151.35	182.38	1665.00
% de Humedad	24.58	22.48	26.67

W (%) Promedio =	24.60
------------------	-------

NOTA : El contenido de humedad se determino de una muestra alterada.

RECIBIDO EN EL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
 2023-11-28 10:00 AM
 TITULO: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE
 PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917
 COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Figura 104 — Contenido de humedad de la C-06

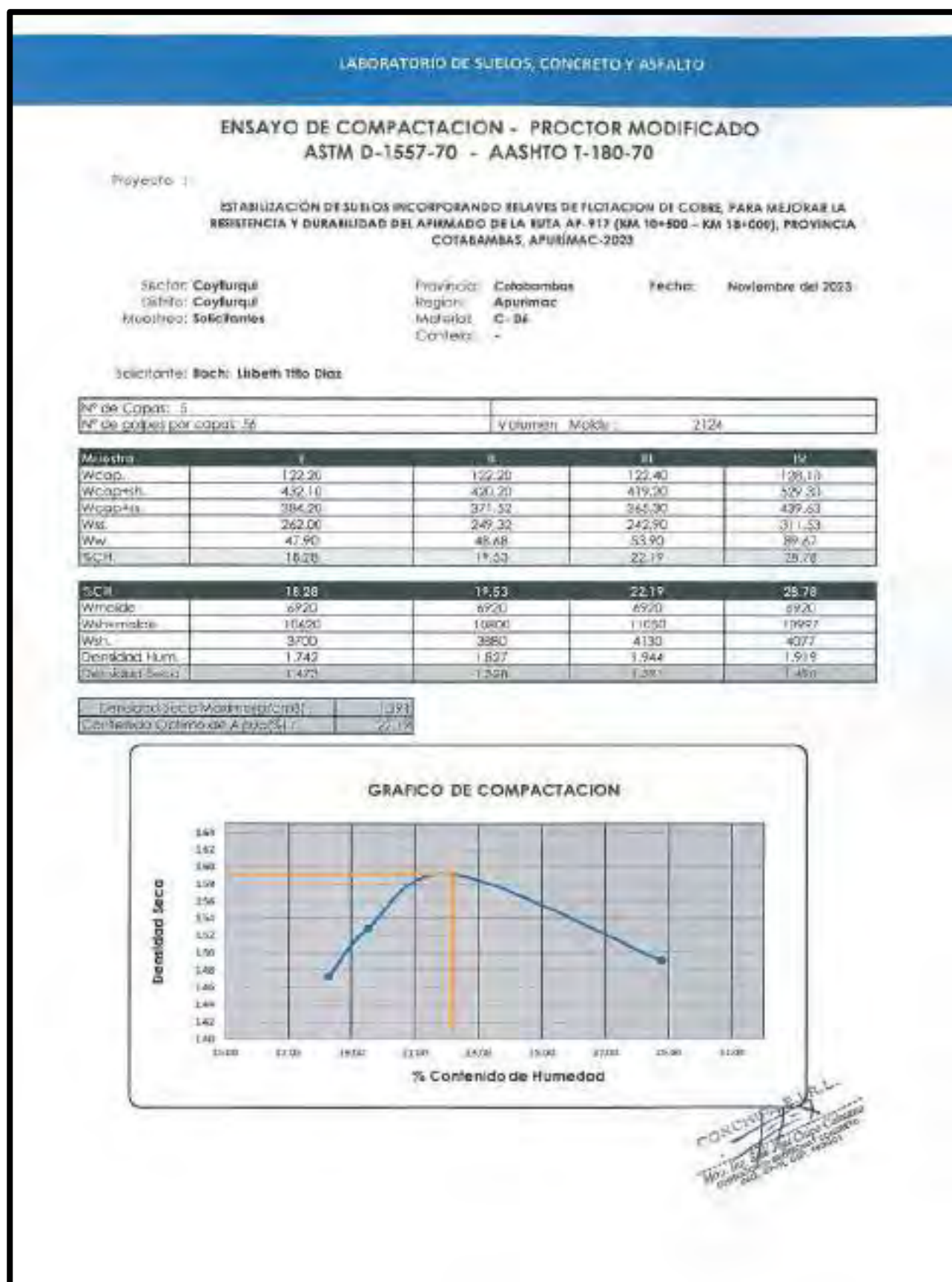


Figura 105 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-06

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

Proyecto :

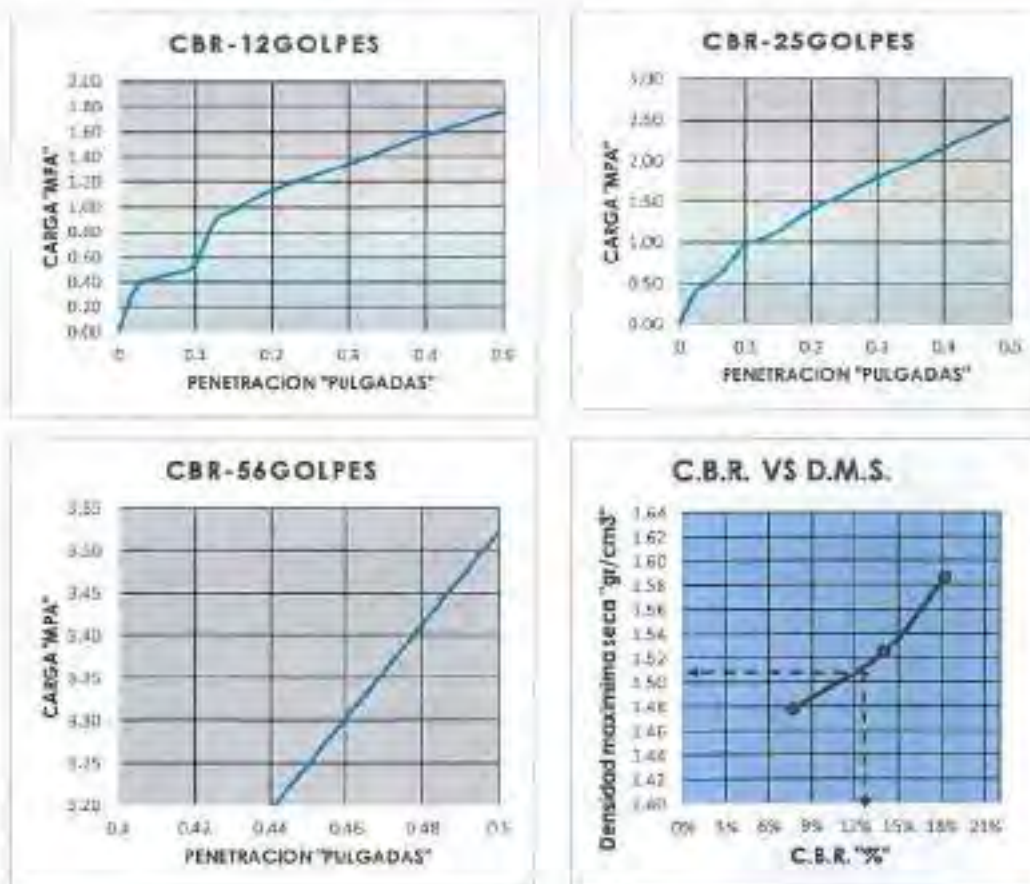
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE. PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000). PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyburqui
Distrito: Coyburqui
Municipio: Solichante

Provincia: **Cotabambas**
 Región: **Apuhímac**
 Material: **C-04**
 Contexto: -

Soloisten: Bach: Isbeth Mito Diaz

Fecho: Novembro de 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	24.51	1.48	0.65	7.73	C.B.R. - 95%	12.54
25	26.62	1.52	4.04	14.04	C.B.R. - 100%	18.28
56	26.47	1.59	0.44	18.28		

CONFIDENTIAL

Figura 107 — Ensayo de CBR de la C-06 – CBR al 95 %

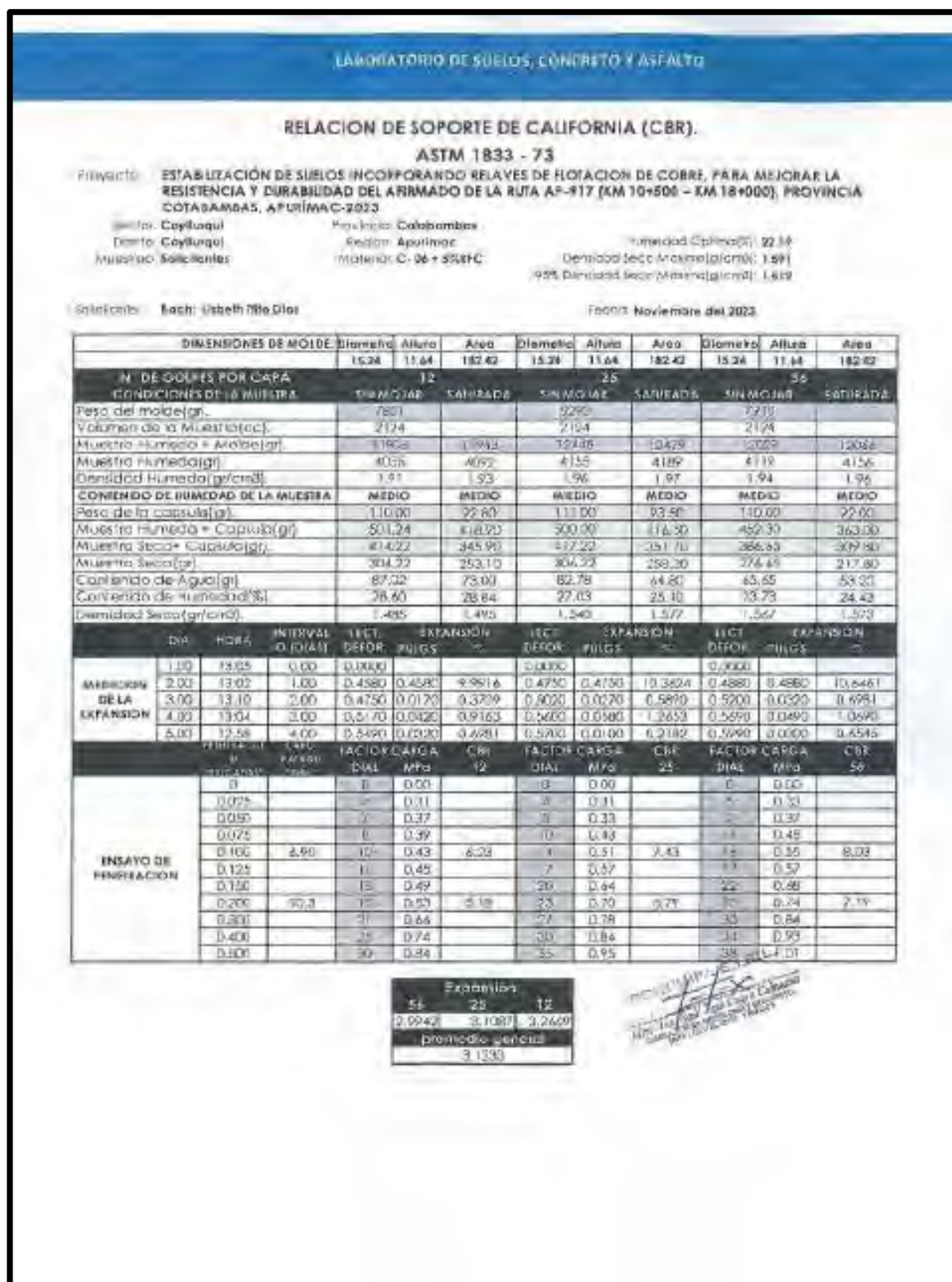


Figura 108 — Ensayo de CBR de la C-06 95 % SN + 5 % RFC - Expansión

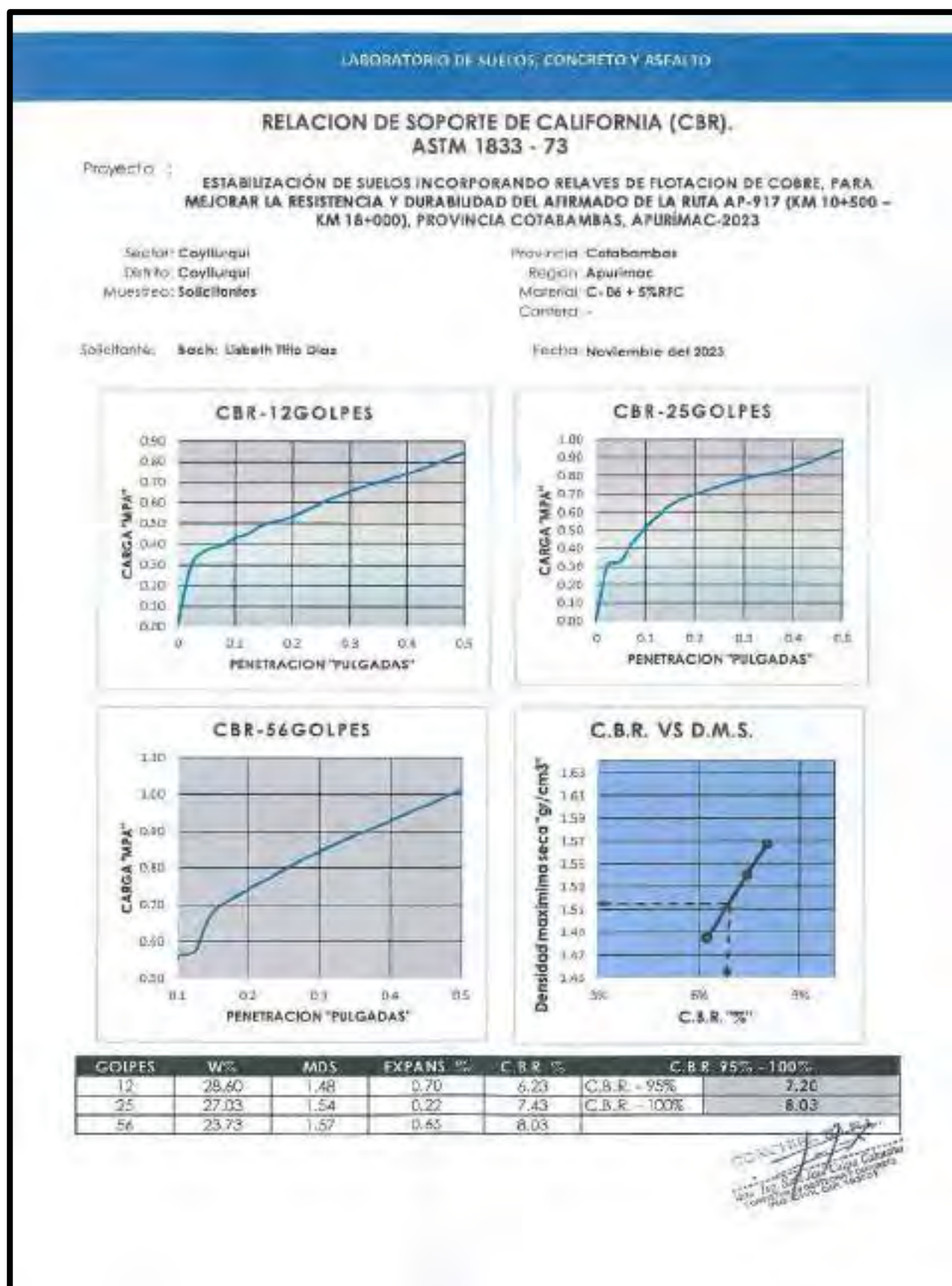


Figura 109 — Ensayo de CBR de la C-06 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

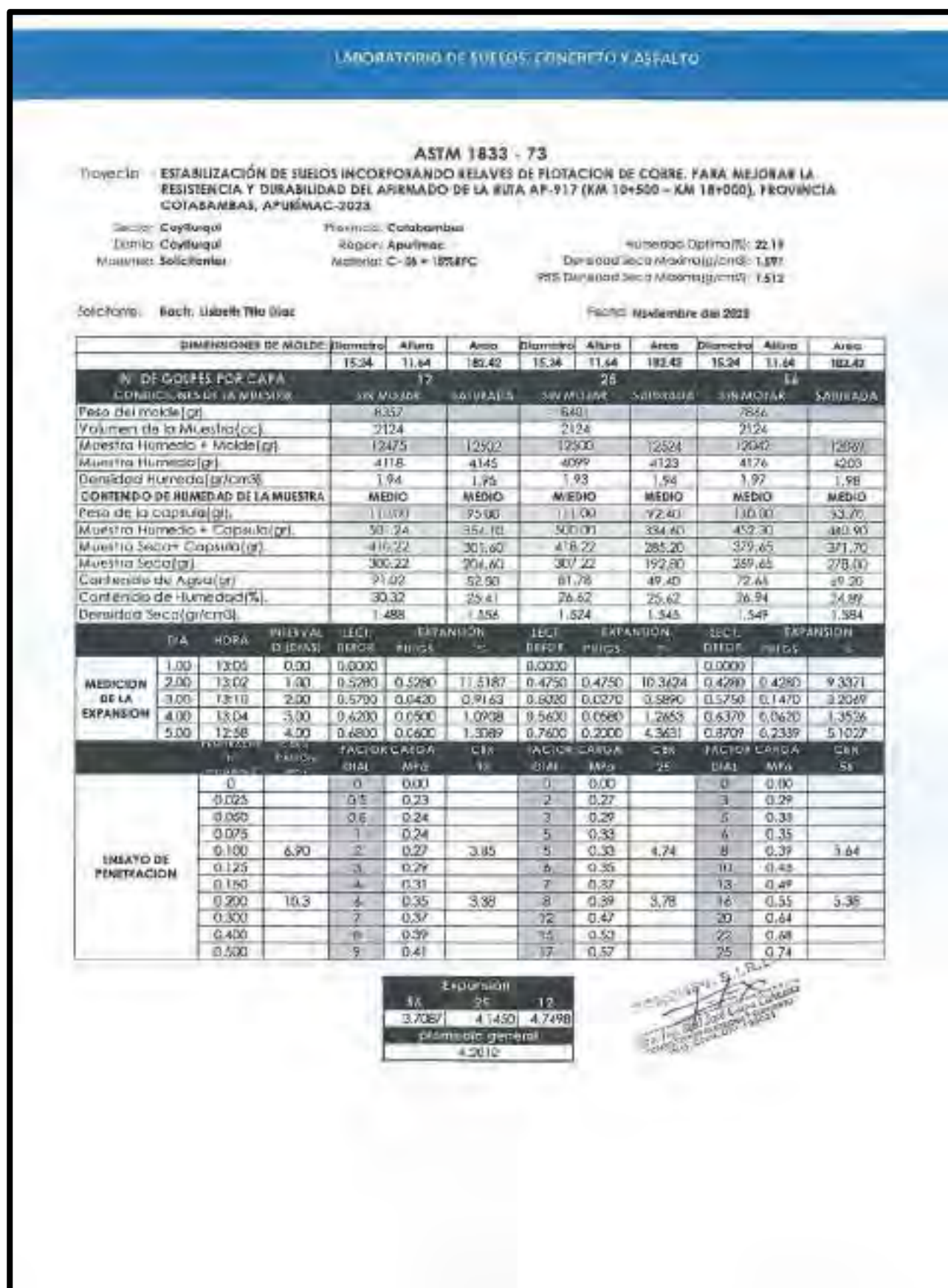


Figura 110 — Ensayo de CBR de la C-06 85 % SN +15 % RFC - Expansión

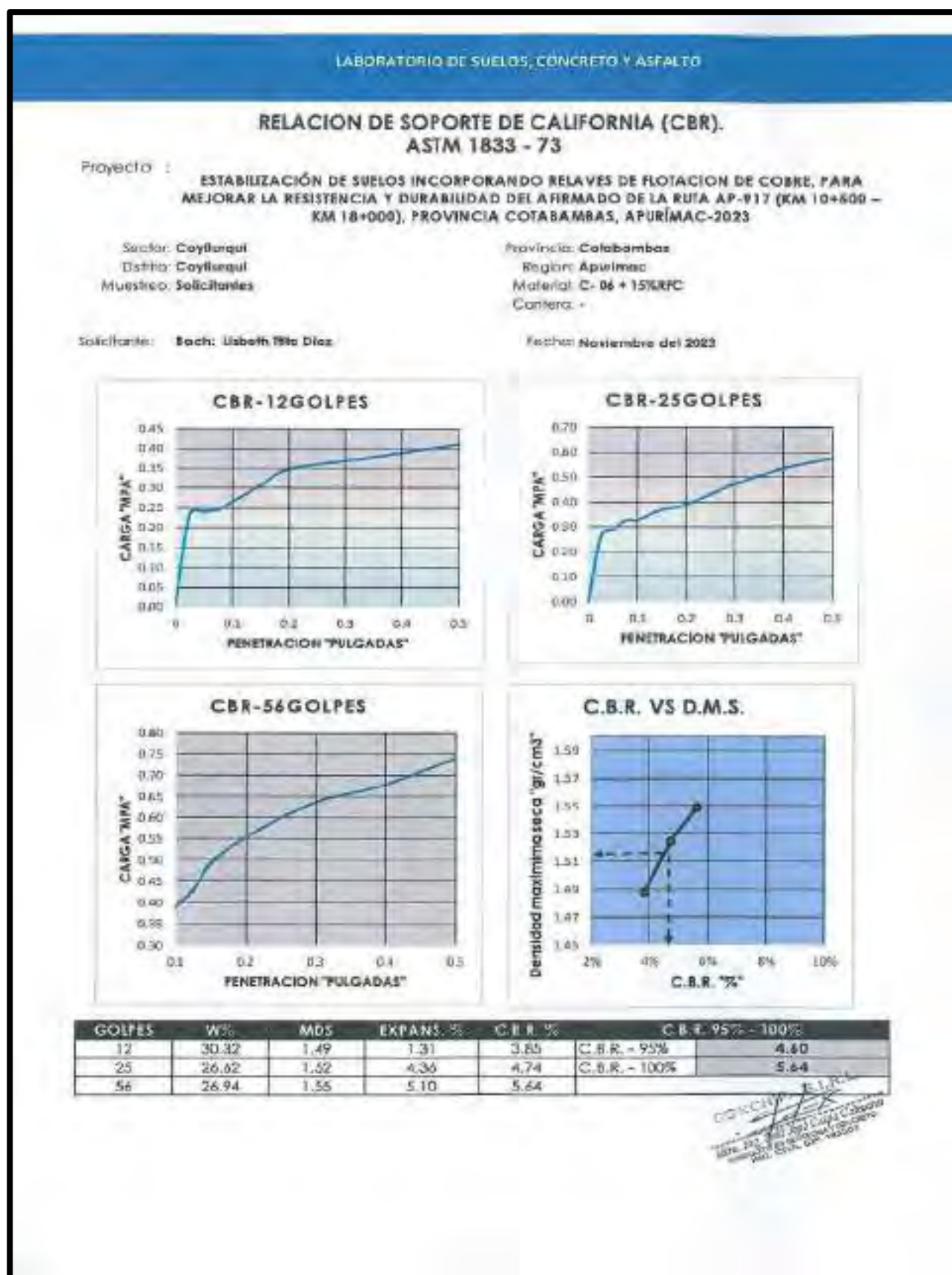


Figura 111 — Ensayo de CBR de la C-06 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

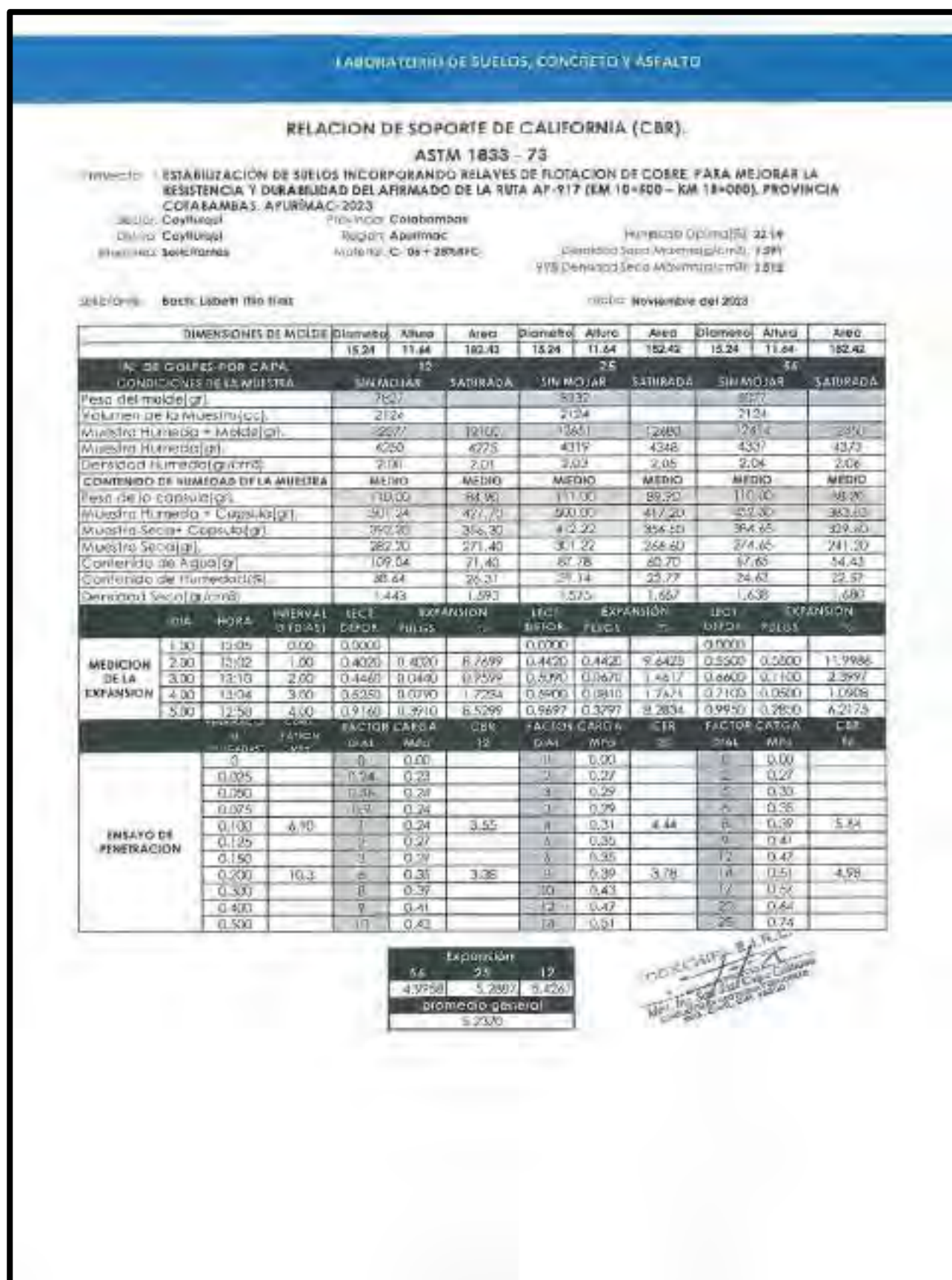


Figura 112 — Ensayo de CBR de la C-06 75 % SN +25 % RFC - Expansión

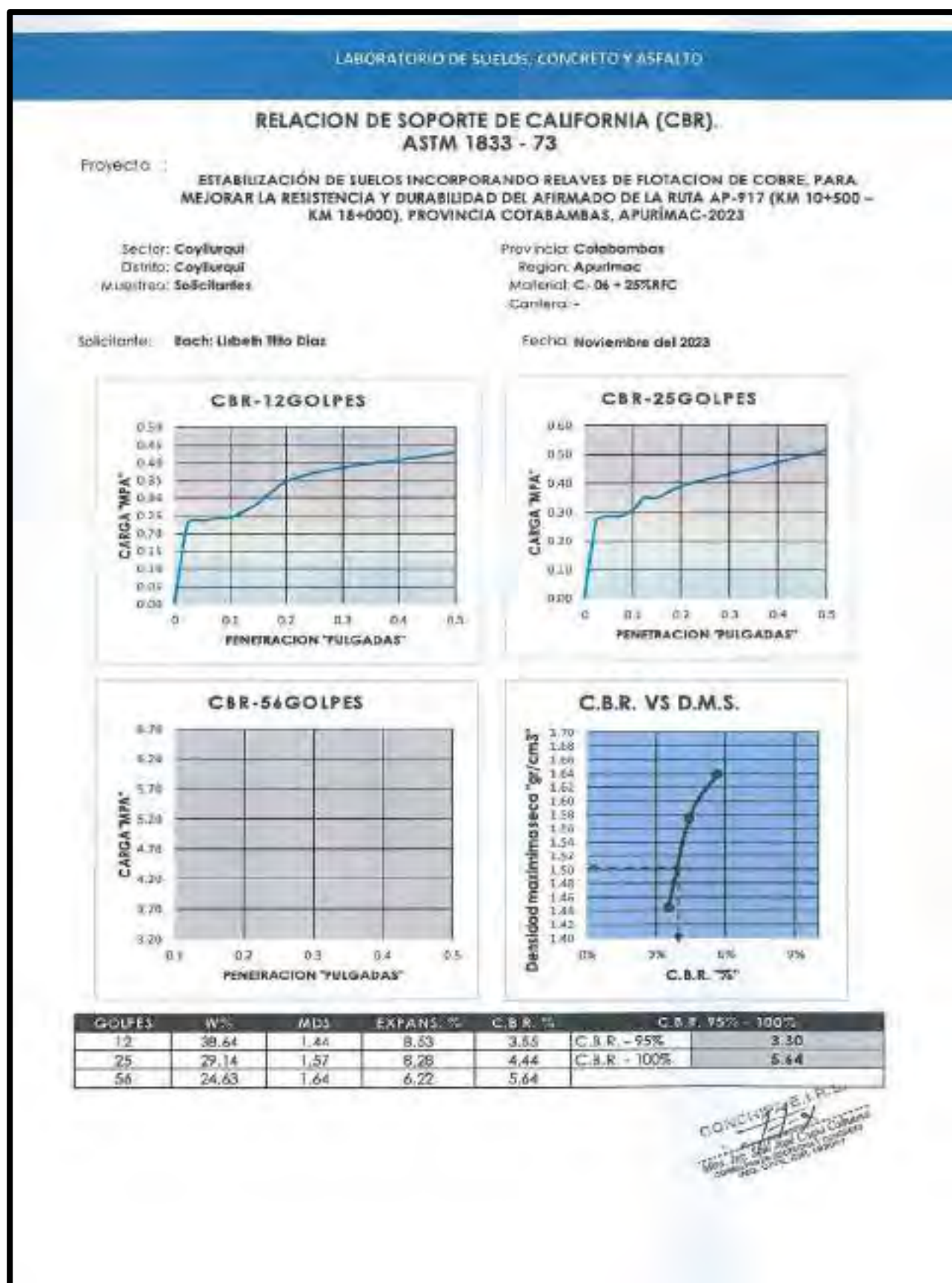


Figura 113 — Ensayo de CBR de la C-06 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

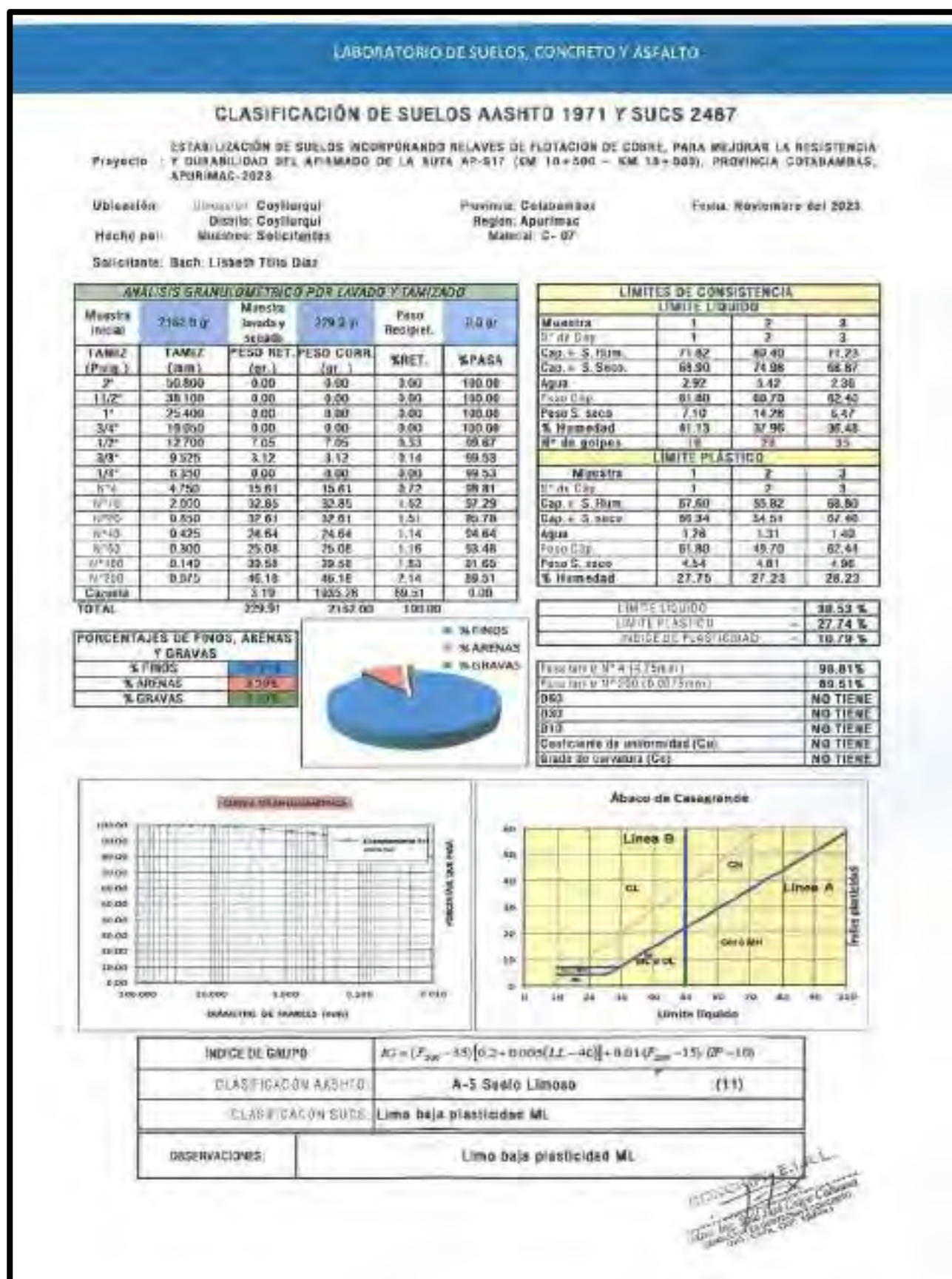


Figura 114 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-07

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACIÓN DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Ubicación: Sector: Coyllurqui Provincia: Cotabamba Fecha: Noviembre del 2023
 Distrito: Coyllurqui Región: Apurímac
Hecho por: nuestro: Solicitantes Material C-07
 Carriera: -

Solicitante: Bach: Lisbeth Tito Diaz

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2	3	
Cápsula N°	1	2	3	
Peso suelo húmedo + cápsula	292.43	311.24	2162.00	
Peso suelo seco + cápsula	257.23	266.94	1654.00	
Peso del agua	35.20	44.30	508.00	
Peso de la cápsula	102.12	90.20	0.00	
Peso neto del suelo seco	155.11	176.74	1654.00	
% de Humedad	22.69	25.07	30.71	

w (%) Promedio = 24.20

NOTA: El contenido de humedad se determina de una muestra alterada.



Figura 115 — Contenido de humedad de la C-07

CONFIDENTIAL

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

ASTM 1833 - 73

Objetivo: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAJES DE FLOTACION DE COBRE PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APLURMAC-2023

Sección: Coyllurasi
Distrito: Coyllurasi
Municipio: Salceditas

Provincia: Cotabamba
Región: Apurímac
Material: C-07
Adición: -

Humedad Óptima(%) 13.74
Densidad Seca Máxima(g/cm³) 1.481
98% Densidad Seca Máxima(g/cm³) 1.405

Asesoría: Ruth Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:									
	Diámetro	Altura	Area	Diámetro	Altura	Area	Diámetro	Altura	Area
	15.24	11.44	182.42	15.24	11.44	182.42	15.24	11.44	182.42
Nº DE GOLPES POR CAPA									
CONDICIONES DE LA MUESTRA									
	12			25			56		
	SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA		SIN MOJAR	SATURADA	
Peso del molde (gr)	8672			8210			8220		
Volumen de la Muestra (cc)	2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde (gr)	12261	12290		12329	12300		12245	12280	
Muestra Humeda (gr)	3589	3978		3987	4108		3995	4060	
Densidad Humeda (g/cm³)	1.83	1.87		1.88	1.93		1.88	1.92	
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA									
	MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la Capota (gr)	112.50	92.80		112.12	84.90		120.00	95.00	
Muestra Humeda + Capota (gr)	502.16	547.30		502.46	451.90		502.30	499.20	
Muestra Seca + Capota (gr)	435.22	463.30		442.29	384.60		452.65	419.50	
Muestra Seca (gr)	322.67	370.50		330.17	299.50		332.65	324.50	
Contenido de Agua (g)	66.94	84.00		60.17	67.90		69.65	79.80	
Contenido de Humedad (%)	20.75	22.67		18.22	22.34		14.20	24.59	
Densidad Seca (g/cm³)	1.516	1.527		1.588	1.579		1.637	1.542	
EXPANSION									
	DIA	HORA	INTERVALO (min)	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULG.	%	LECT. DEFOR.	EXPANSION PULG.	%
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05	0.00	0.0000			0.0000		
	2.00	13:02	1.00	0.0500	0.0500	1.0908	0.1000	0.1000	2.1816
	3.00	13:10	2.00	0.0960	0.0300	0.6545	0.1200	0.0200	0.4363
	4.00	13:04	3.00	0.0900	0.0100	0.2182	0.1400	0.0200	0.5454
	5.00	12:58	4.00	0.1000	0.0100	0.2182	0.1600	0.0200	0.5227
FACTORES DE CORRECCION									
	FACT. CORRECCION	CARGA (MPa)	CBR	FACT. CORRECCION	CARGA (MPa)	CBR	FACT. CORRECCION	CARGA (MPa)	CBR
ENSAYO DE PENETRACION	0	0	0.00	0	0.00		0	0.00	
	0.025		5	0.33			10	0.51	
	0.050		8	0.39			15	0.53	
	0.075		10	0.43			18	0.60	
	0.100	4.90	15	0.53	7.73		28	0.80	11.68
	0.125		18	0.60			30	0.84	
	0.150		20	0.64			40	1.09	
	0.200	10.0	26	0.78	7.39		50	1.26	13.25
	0.300		38	0.86			61	1.49	
	0.400		51	0.86			67	1.52	
	0.500		56	0.97			72	1.81	

Expansion		
56	25	12
0.5454	0.8290	0.9435
promedio general		
0.7726		

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
UNAMBA PERU
CALLE 100 N° 204 COYLLURASI
TEL: 052 204 1400

Figura 117 — Ensayo de CBR de la C-07 - Expansión

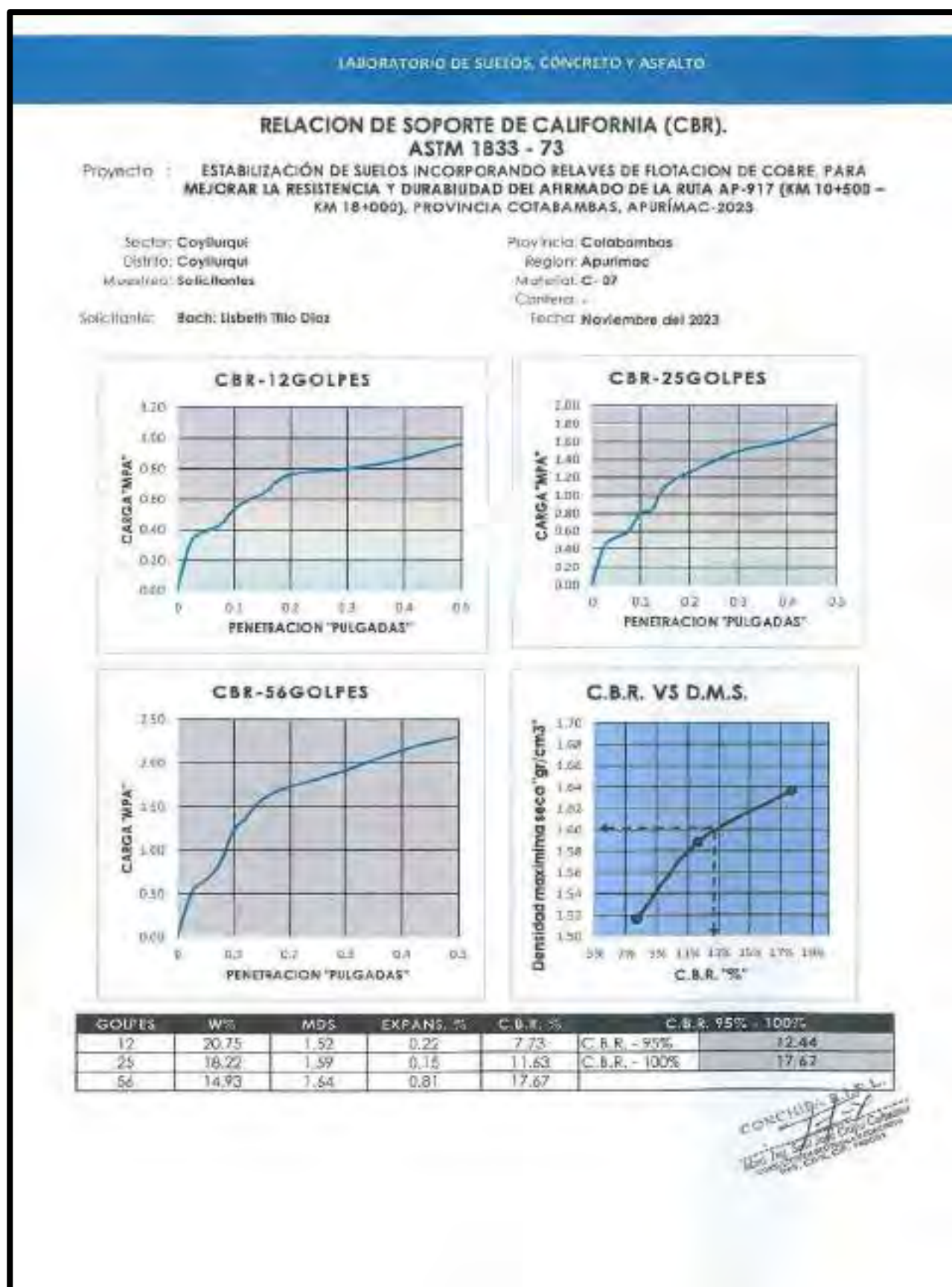


Figura 118 — Ensayo de CBR de la C-07 – CBR al 95 %



Figura 119 —Ensayo de CBR de la C-07 95 % SN + 5 % RFC - Expansión

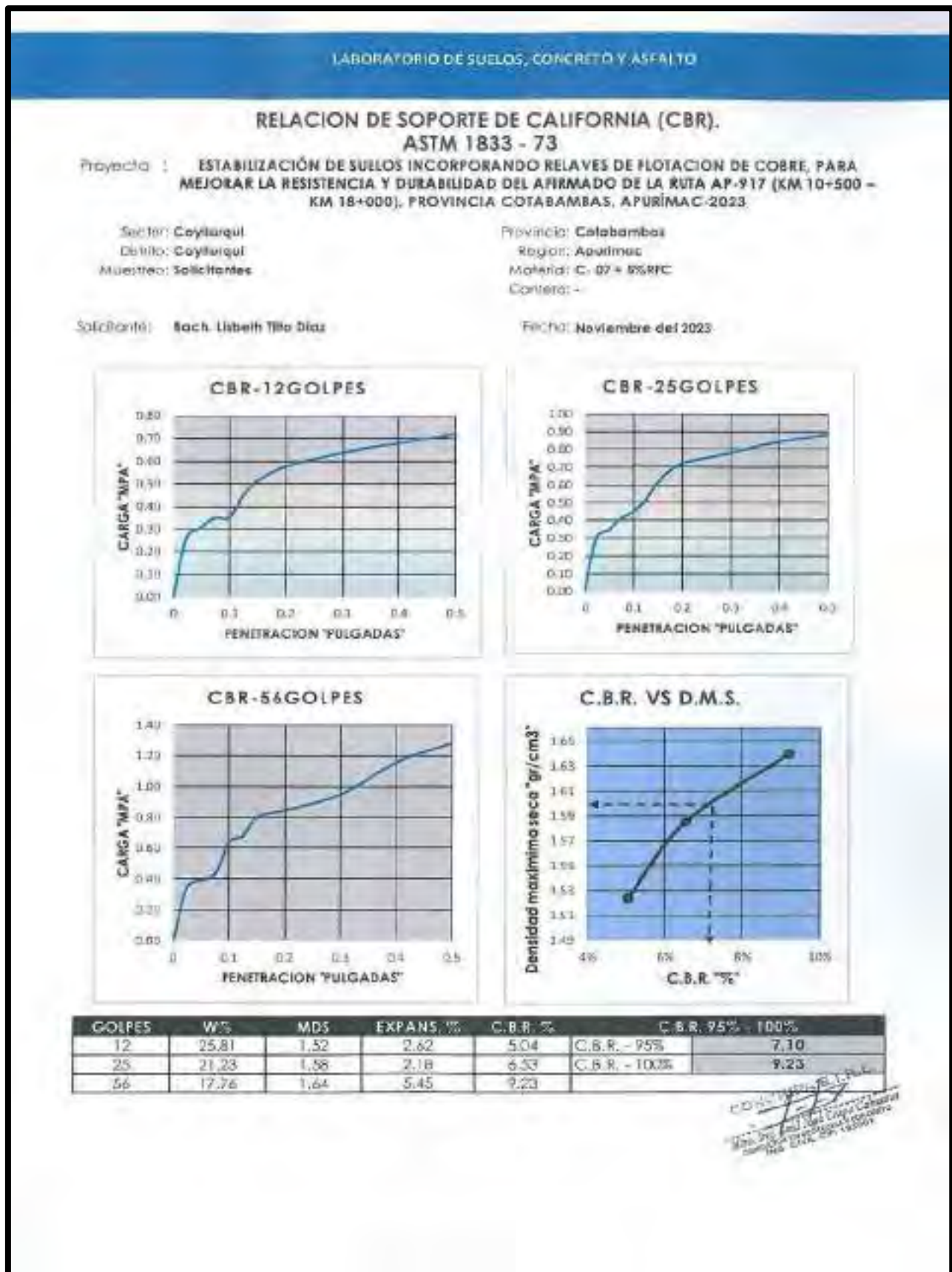


Figura 120 — Ensayo de CBR de la C-07 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

ASTM 1433-73

Mediana: 0-57 + 15%MC

Received: November 14, 2023

[illegible]

Expansion		
5A	25	12
2.2361	2.0429	3.3596
continued on general		
7.8142		

0.74

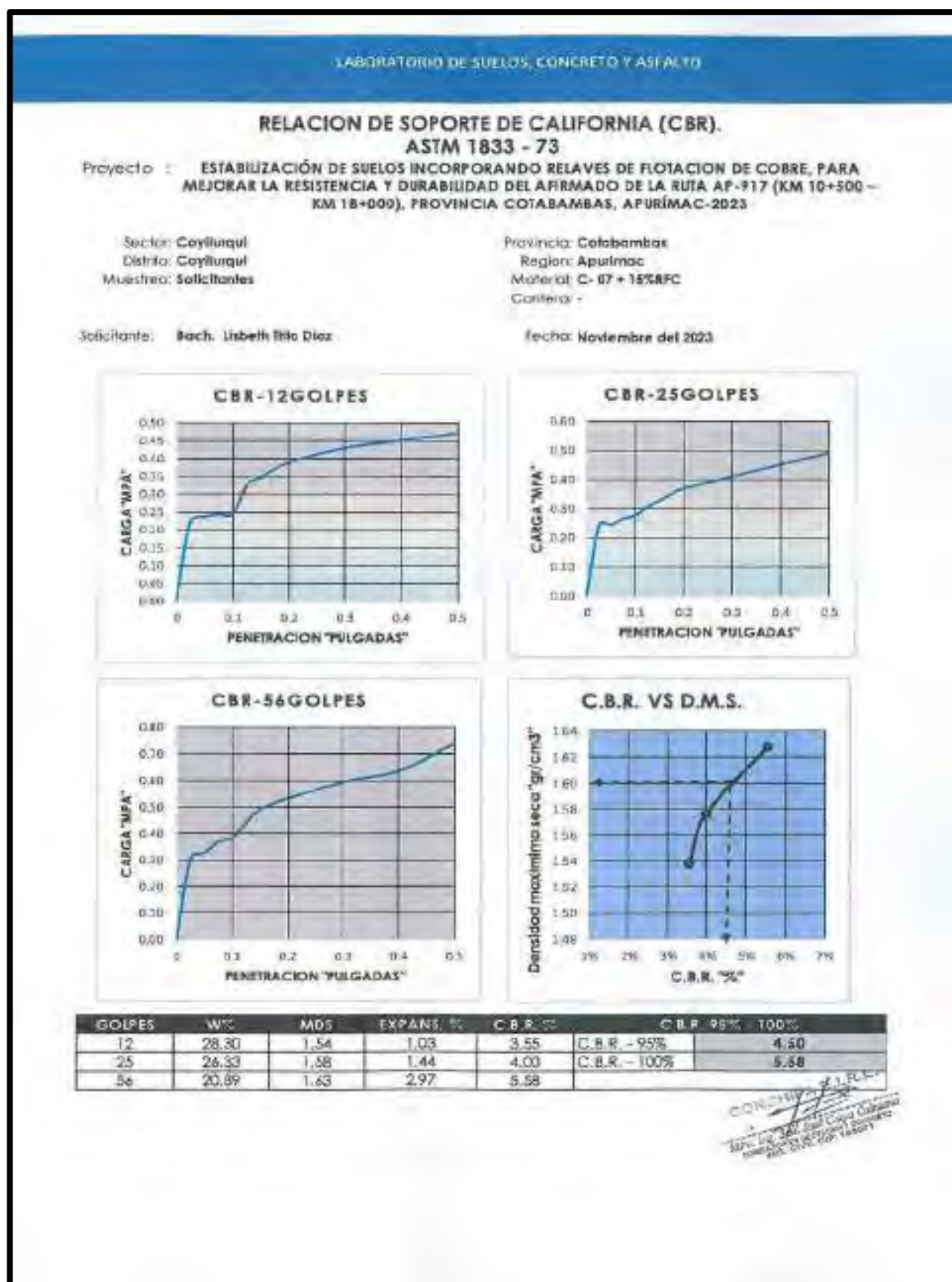
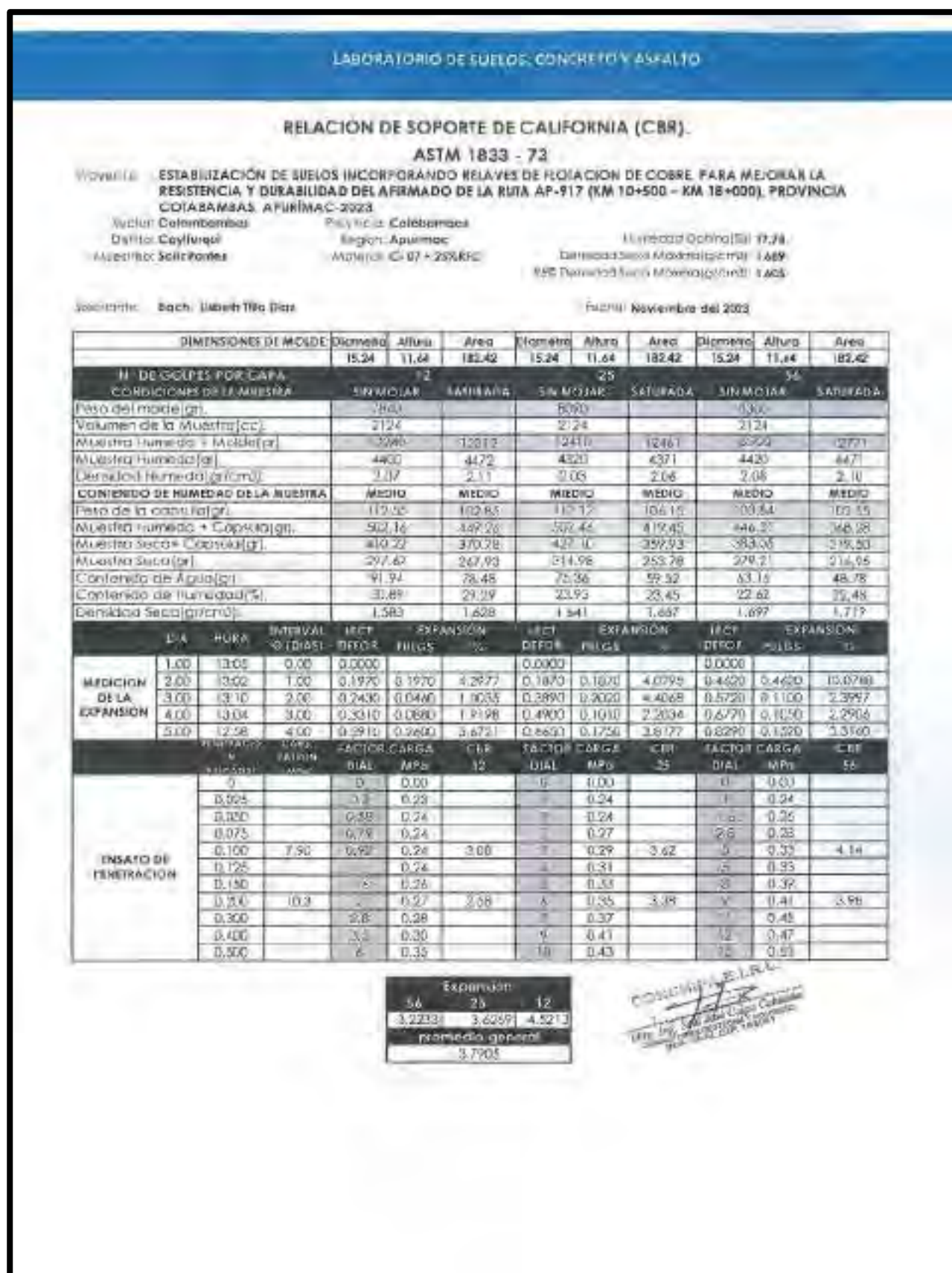


Figura 122 — Ensayo de CBR de la C-07 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %



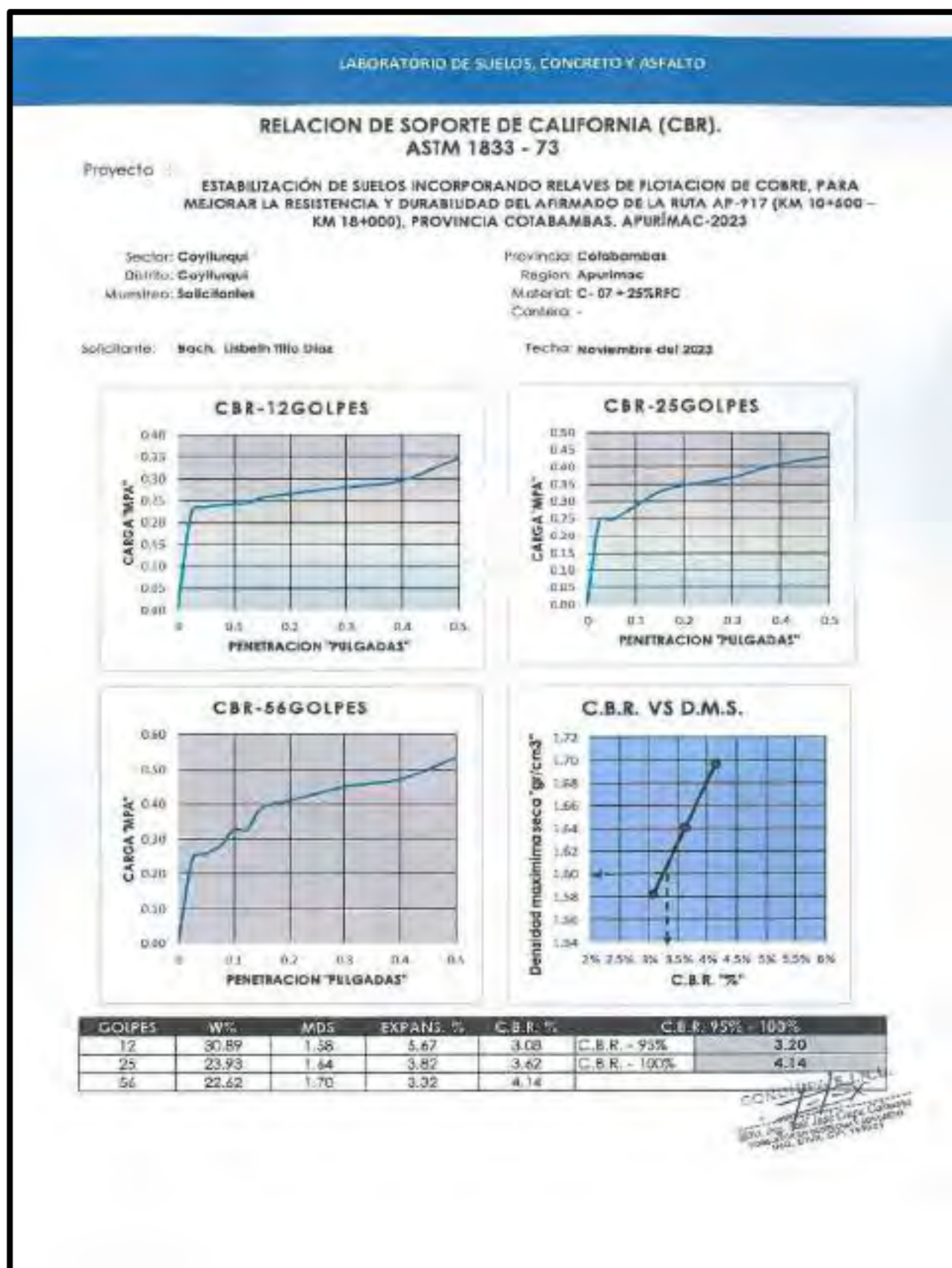


Figura 124 — Ensayo de CBR de la C-07 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

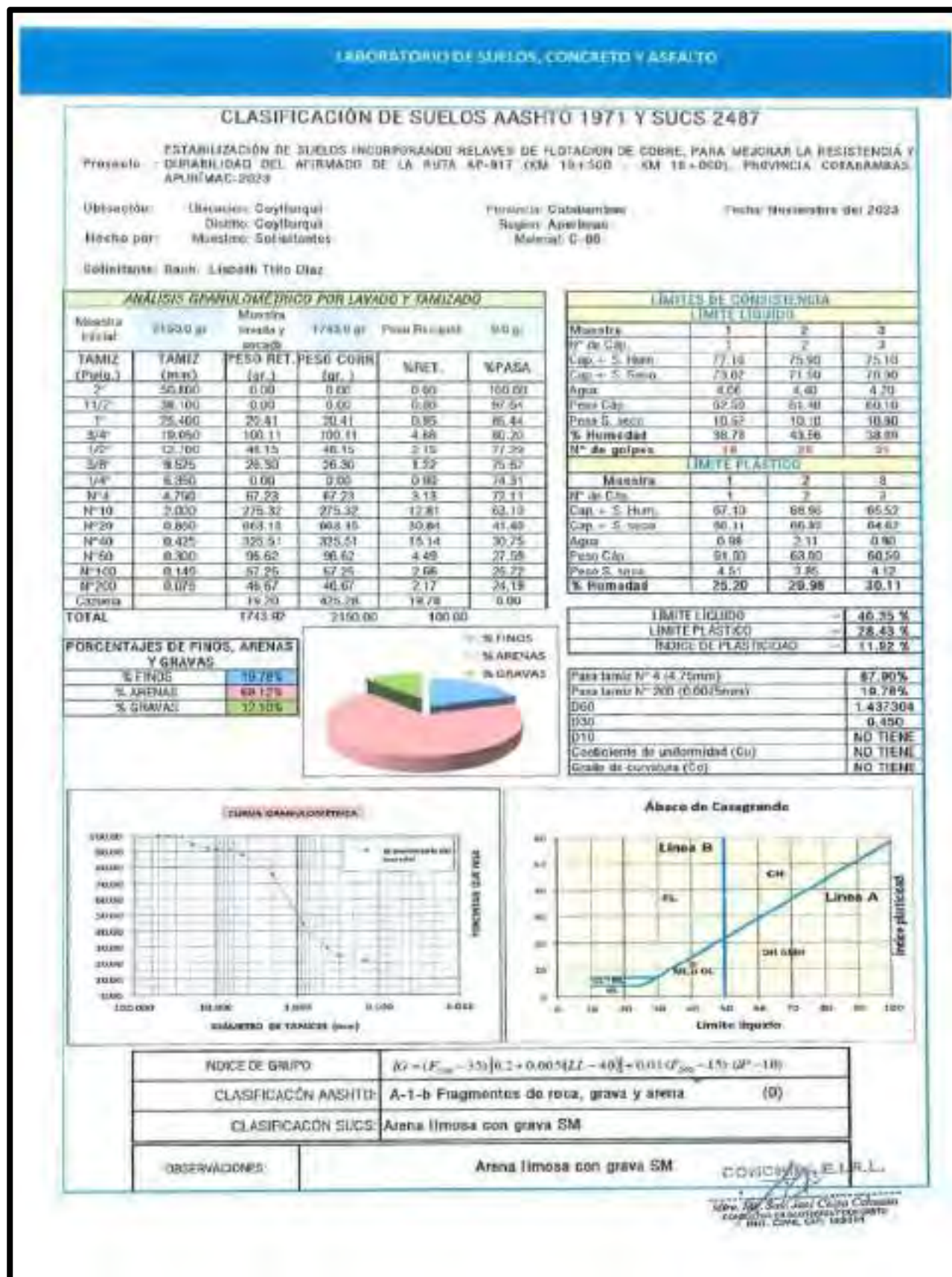


Figura 125 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-08

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D 2216

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APIRINAC-2023

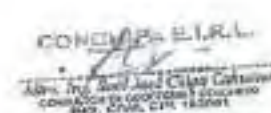
Ubicación: Sección: Cayllurqui Provincia: Cotabamba Fecha: Noviembre del 2023
 Distrito: Cayllurqui Región: Apurímac
Hecho por: Muestreo: Solicitantes Material C-08
 Cantera -

Solicitante: Dicho: Lisbeth Tillo Díaz

CONTENIDO DE HUMEDAD				
ENSAYO	1	2	3	
Cápsula N°	1	2	3	
Peso suelo húmedo + cápsula	282.38	244.80	2134.00	
Peso suelo seco + cápsula	272.11	235.86	2012.62	
Peso del agua	10.27	8.94	121.38	
Peso de la cápsula	100.88	89.02	0.00	
Peso neto del suelo seco	171.23	146.84	2012.62	
% de Humedad	6.00	6.09	6.03	

w (%) Promedio =	6.00
------------------	------

NOTA: El contenido de humedad se determinó de una muestra alterada.



CONCIERPO E.I.R.L.
 Adm. Ing. José Luis Cárdenas Contreras
 CONSULTORÍA GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA
 400, CHUSI, C.M. 143001

Figura 126 — Contenido de humedad de la C-08

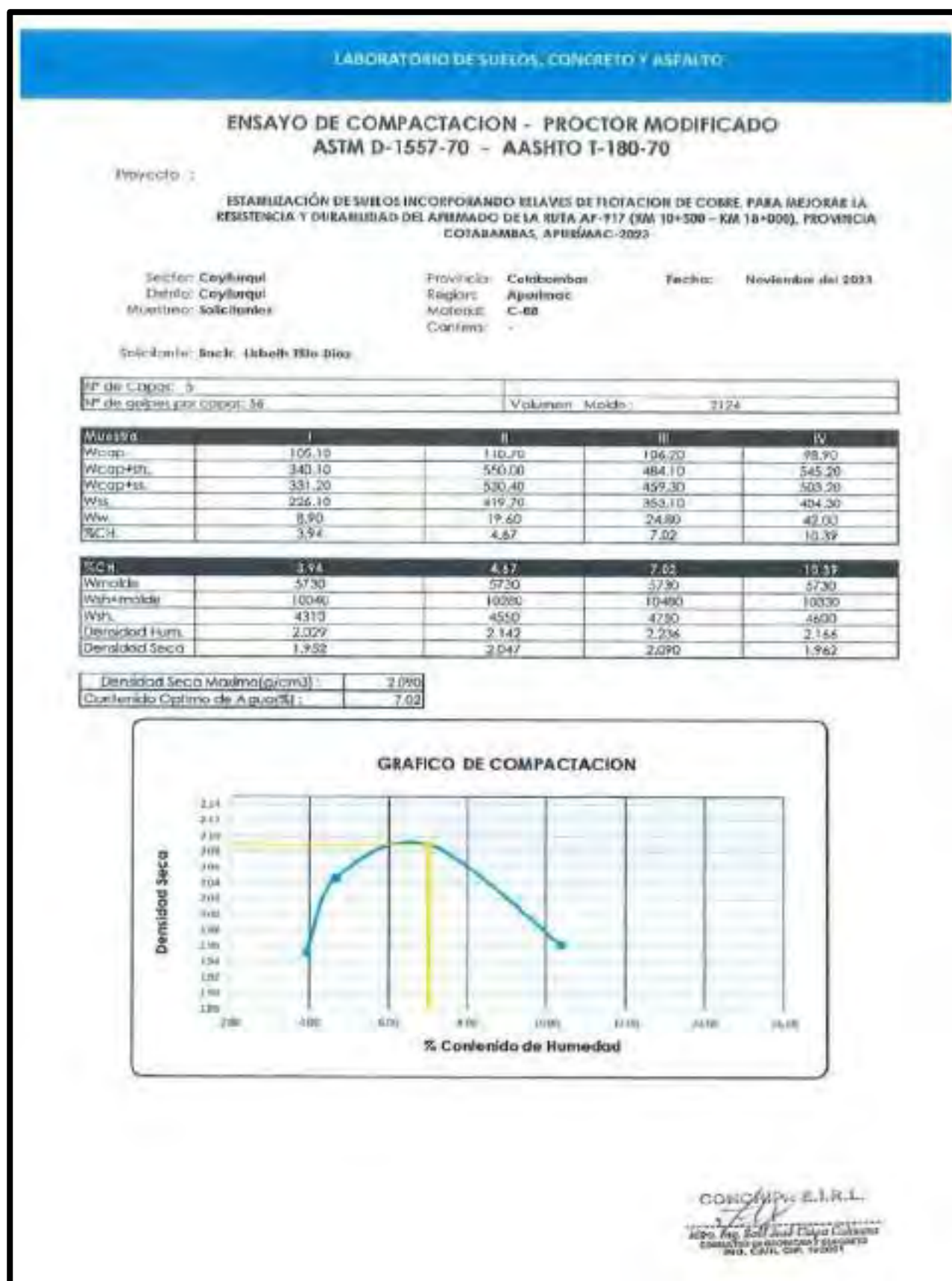


Figura 127 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-08

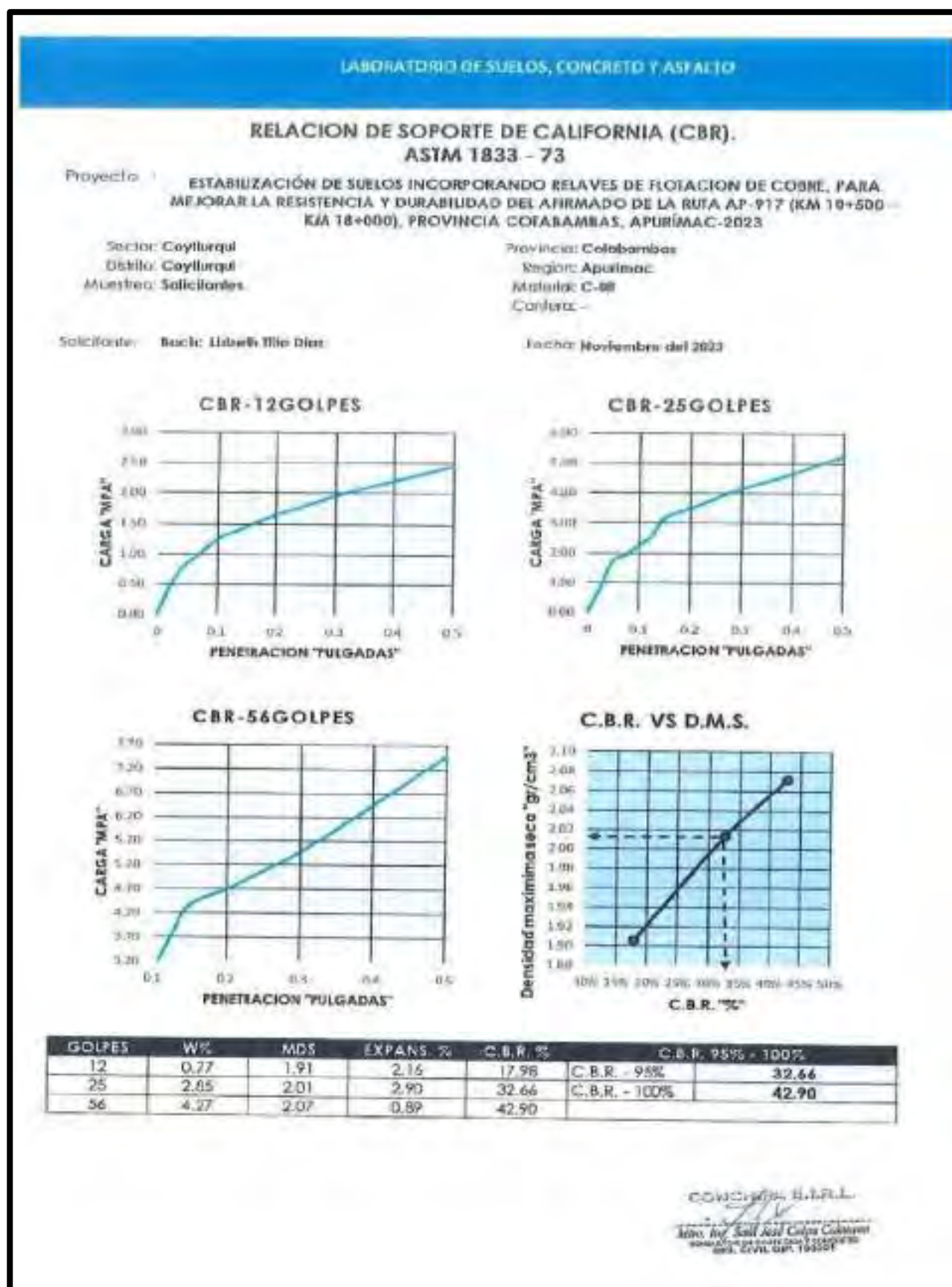


Figura 129 — Ensayo de CBR de la C-08 – CBR al 95 %

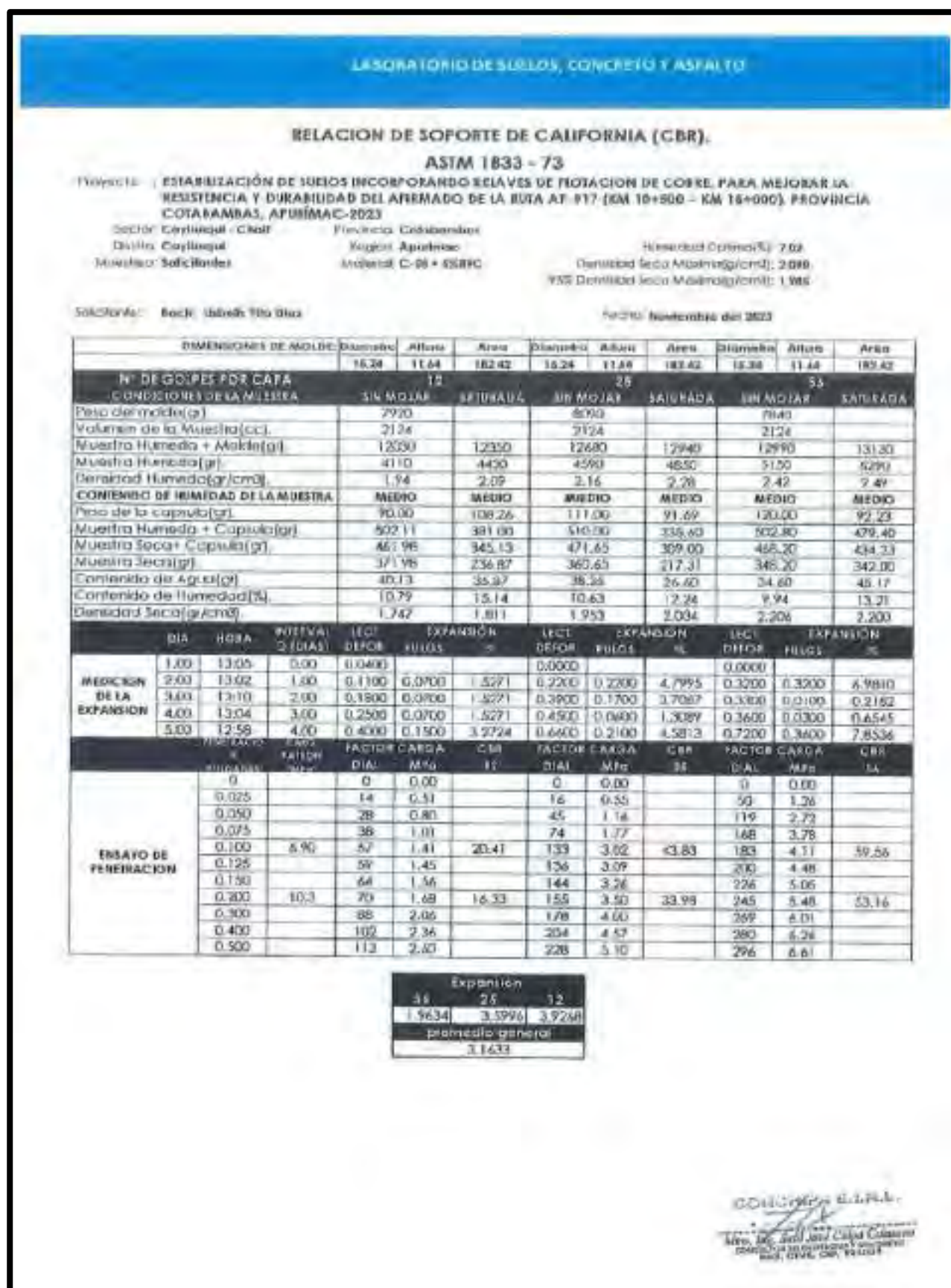


Figura 130 — Ensayo de CBR de la C-08 95 % SN + 5 % RFC - Expansión

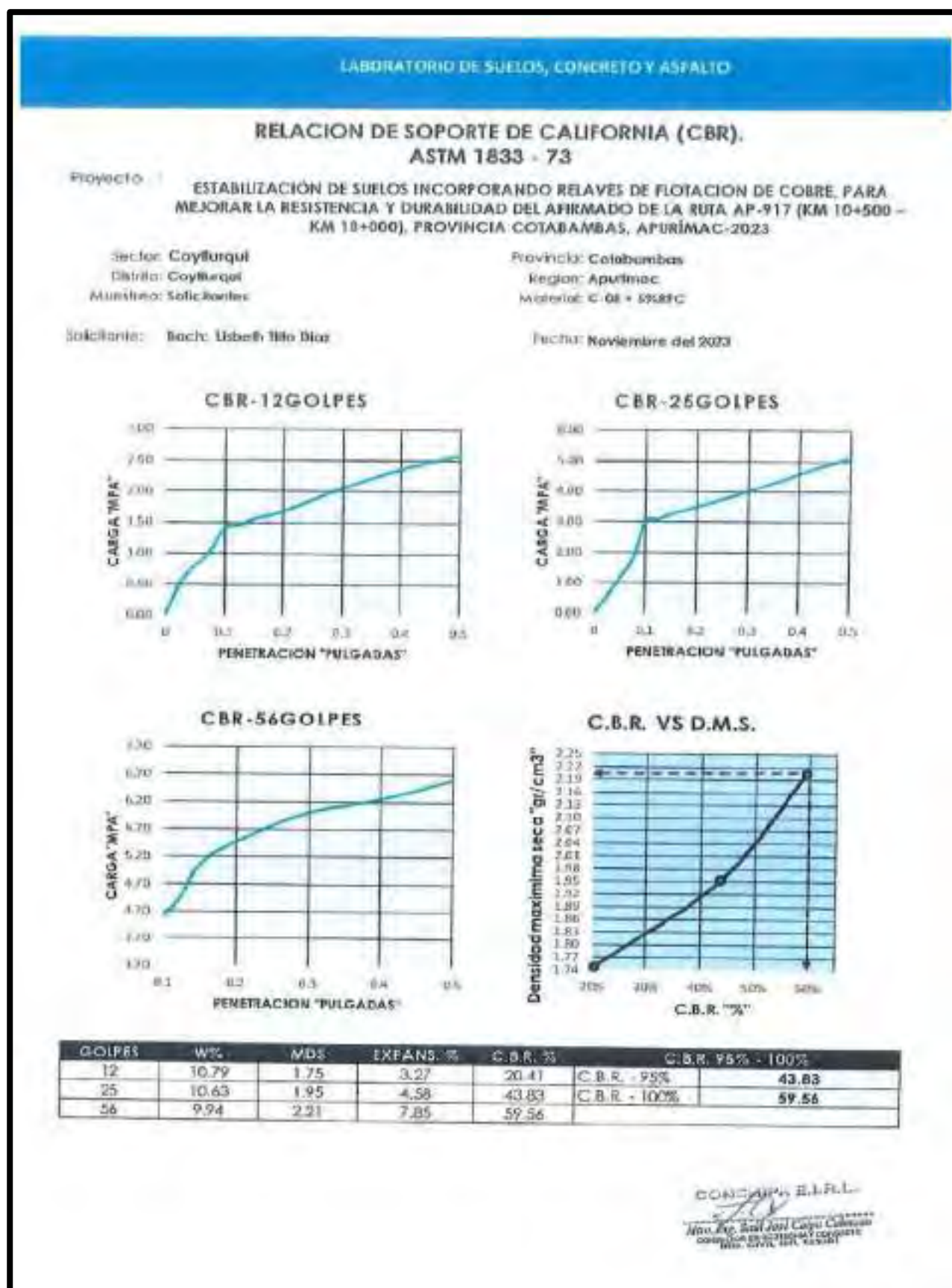


Figura 131 — Ensayo de CBR de la C-08 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1633 - 73

Propósito: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO REAJES DE FLOTACIÓN DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AF-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Cayllusqui
Distrito: Cayllusqui
Municipio: Sullubambas

Proyecto: Cotabambas
Región: Apurímac
Material: C-08 + 15% RFC

Humedad Óptima(%) 7.62
Densidad Seca Máxima(g/cm³) 2.990
95% Densidad Seca Máxima(g/cm³) 1.985

Solicitante: Sodal. Gisela Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:			Diámetro	Altura	Area	Diámetro	Altura	Area	Diámetro	Altura	Area
			15.38	11.44	102.42	15.38	11.44	102.42	15.38	11.44	102.42
N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			56		
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR		
Peso del molde (gr.)			6070			6000			2040		
Volumen de la Muestra(cc)			2124			2124			2124		
Muestra Humeda + Molde (gr.)			12700			12970			12750		
Muestra Humeda (gr.)			4330			4670			4910		
Densidad Humeda (g/cm3)			2.04			2.17			2.30		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula (gr.)			170.00			123.45			102.86		
Muestra Humeda + Capsula (gr.)			500.98			490.10			502.80		
Muestra Seca+ Capsula (gr.)			470.90			468.20			572.11		
Muestra Seca (gr.)			360.90			314.75			337.82		
Contenido de Agua (gr.)			30.08			41.90			47.95		
Contenido de Humedad (%)			8.31			13.31			14.23		
Densidad Seca (g/cm3)			1.862			1.915			2.106		
			2.040			2.106			2.306		
			DIA			HORA			INTERVALO (DIAS)		

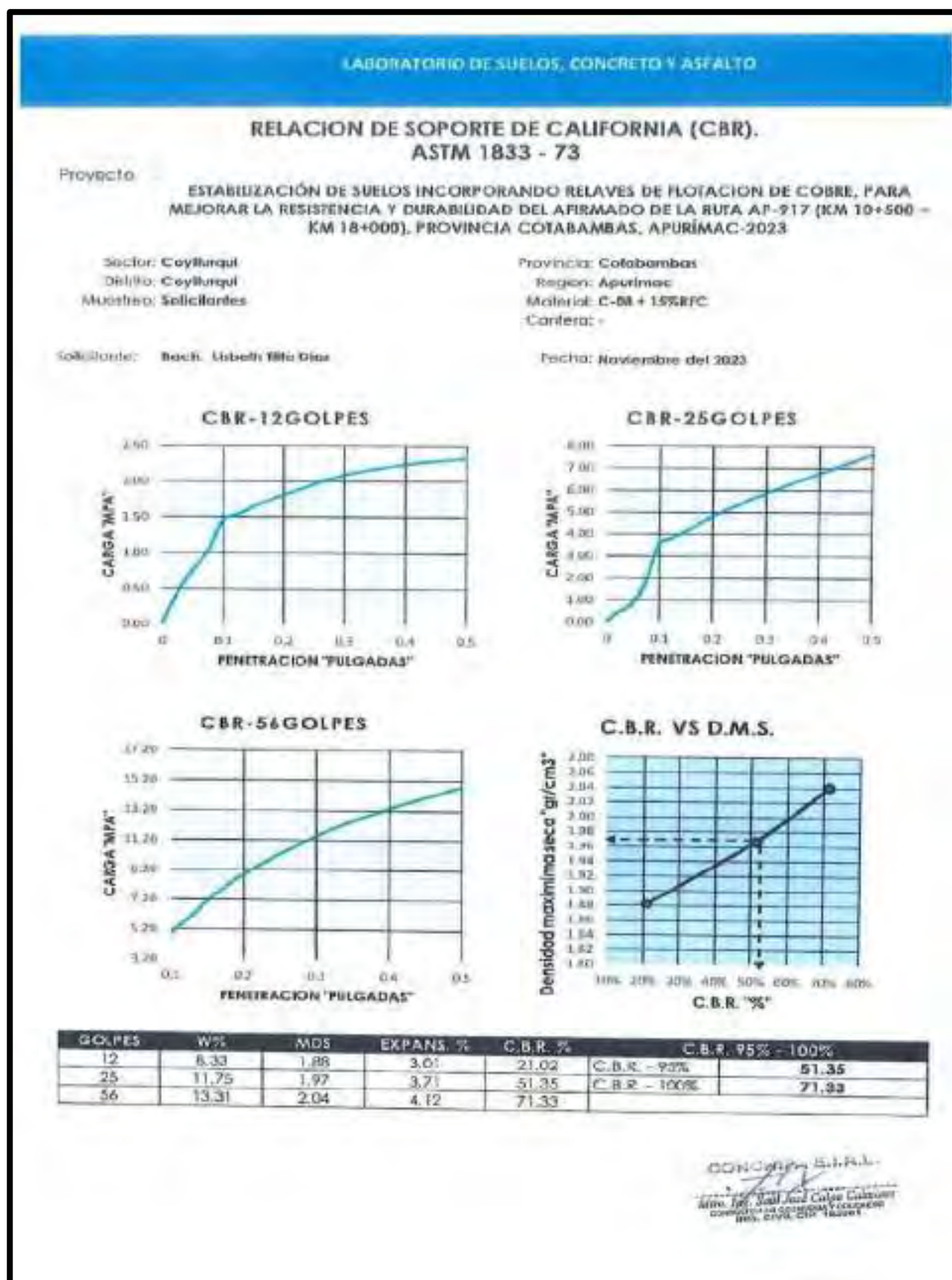


Figura 133 — Ensayo de CBR de la C-08 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

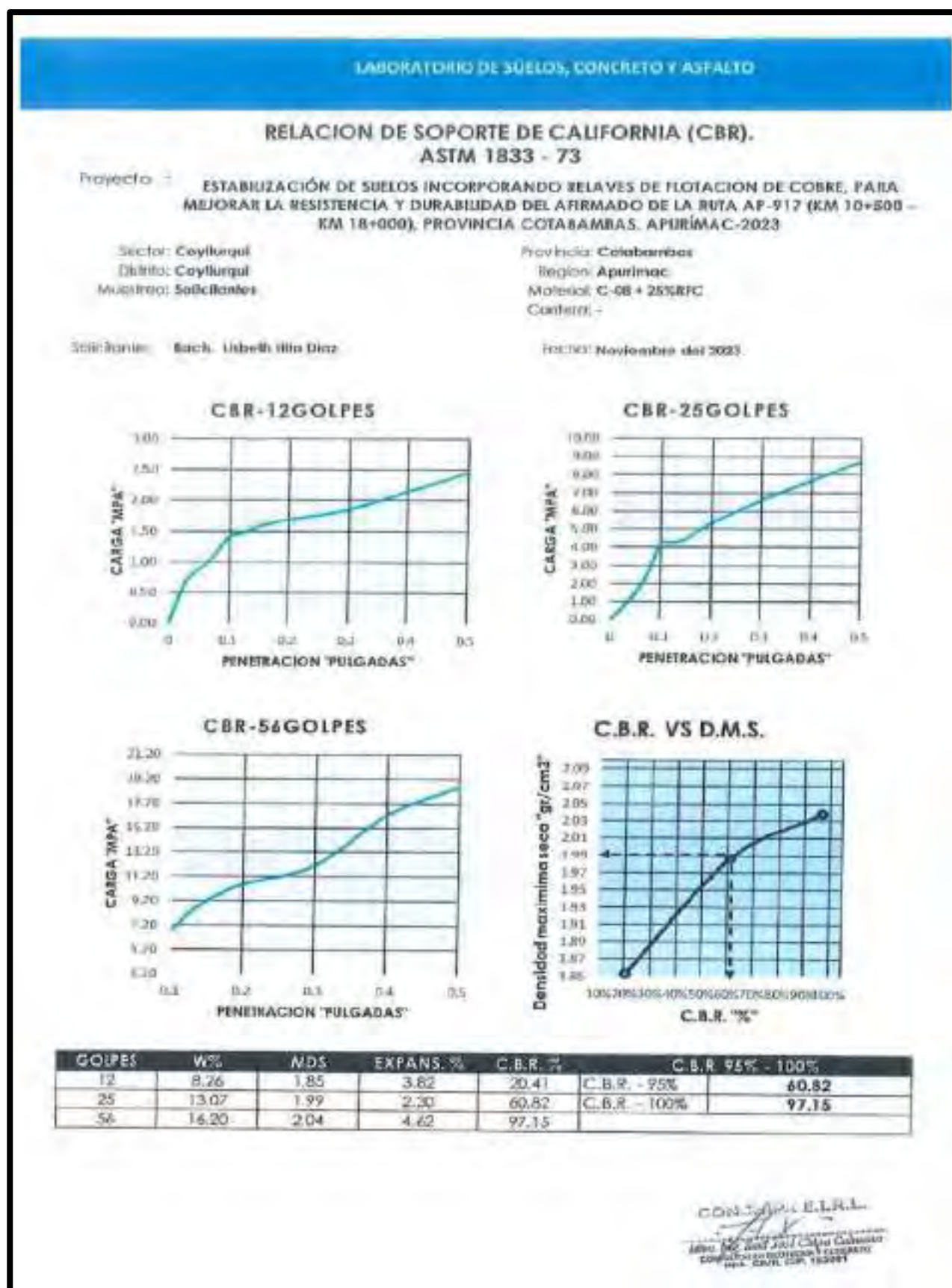


Figura 135 — Ensayo de CBR de la C-08 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

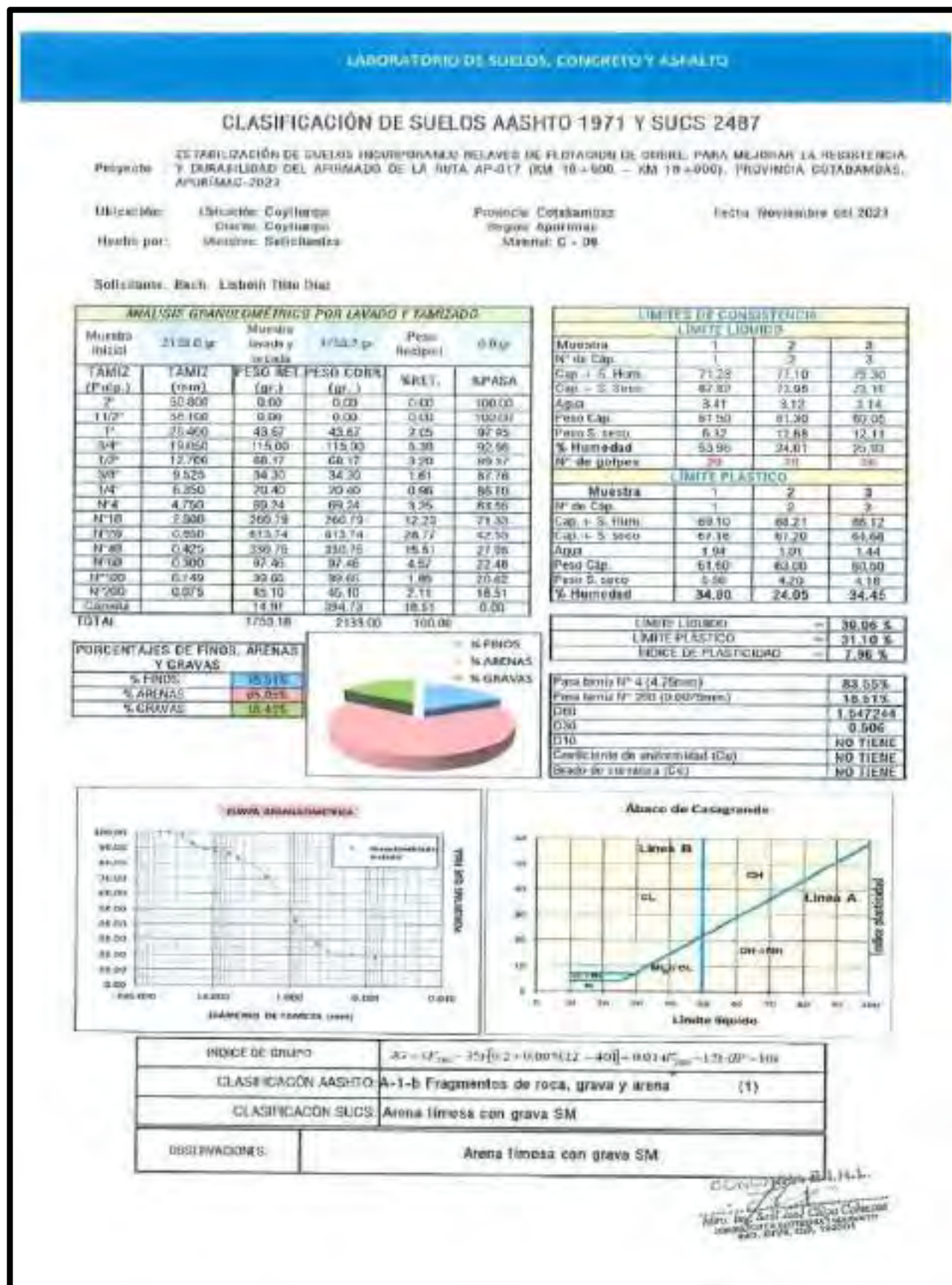


Figura 136 — Clasificación de suelos AASHTO y SUCS de la C-09

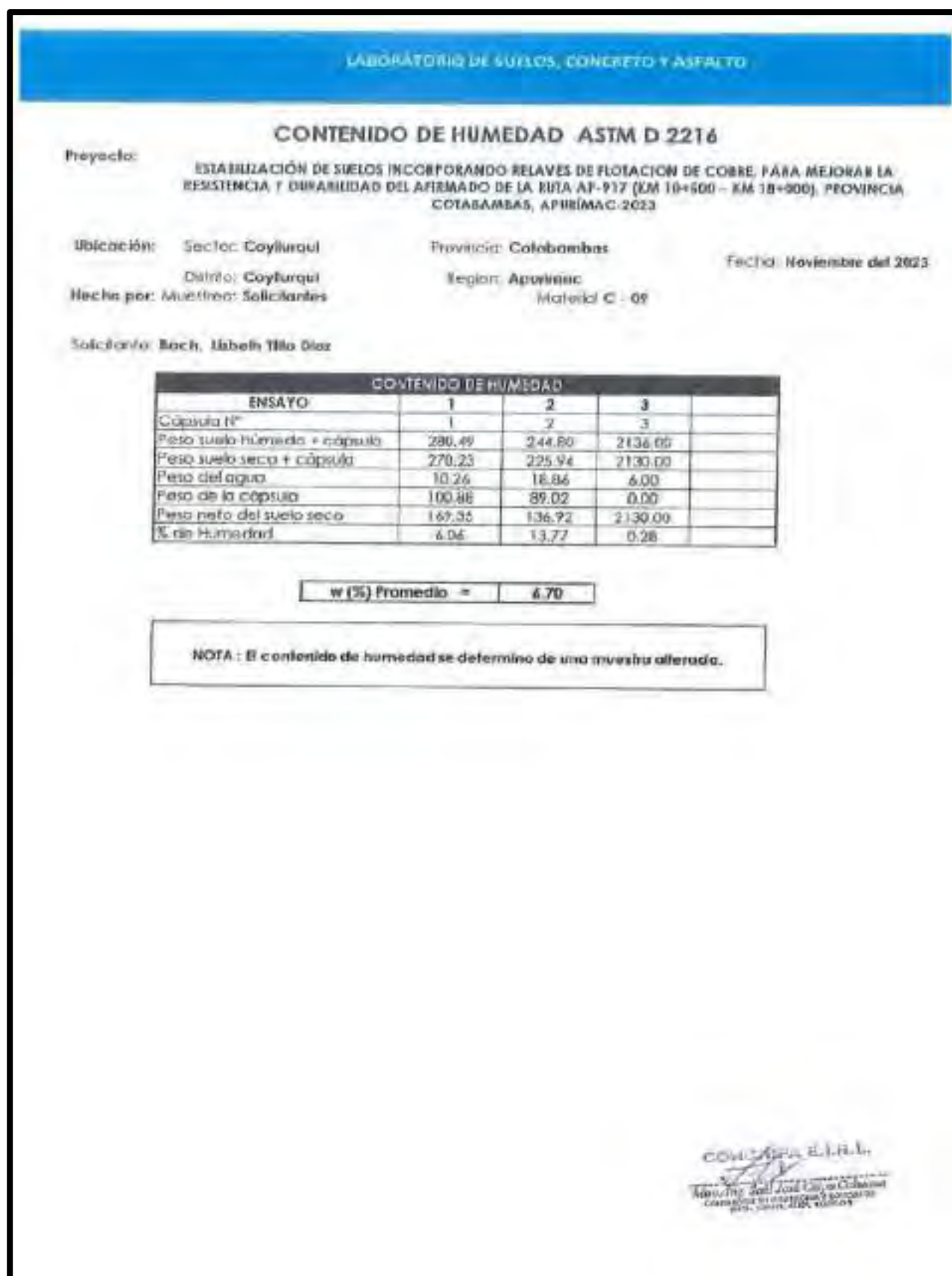


Figura 137 — Contenido de humedad de la C-09

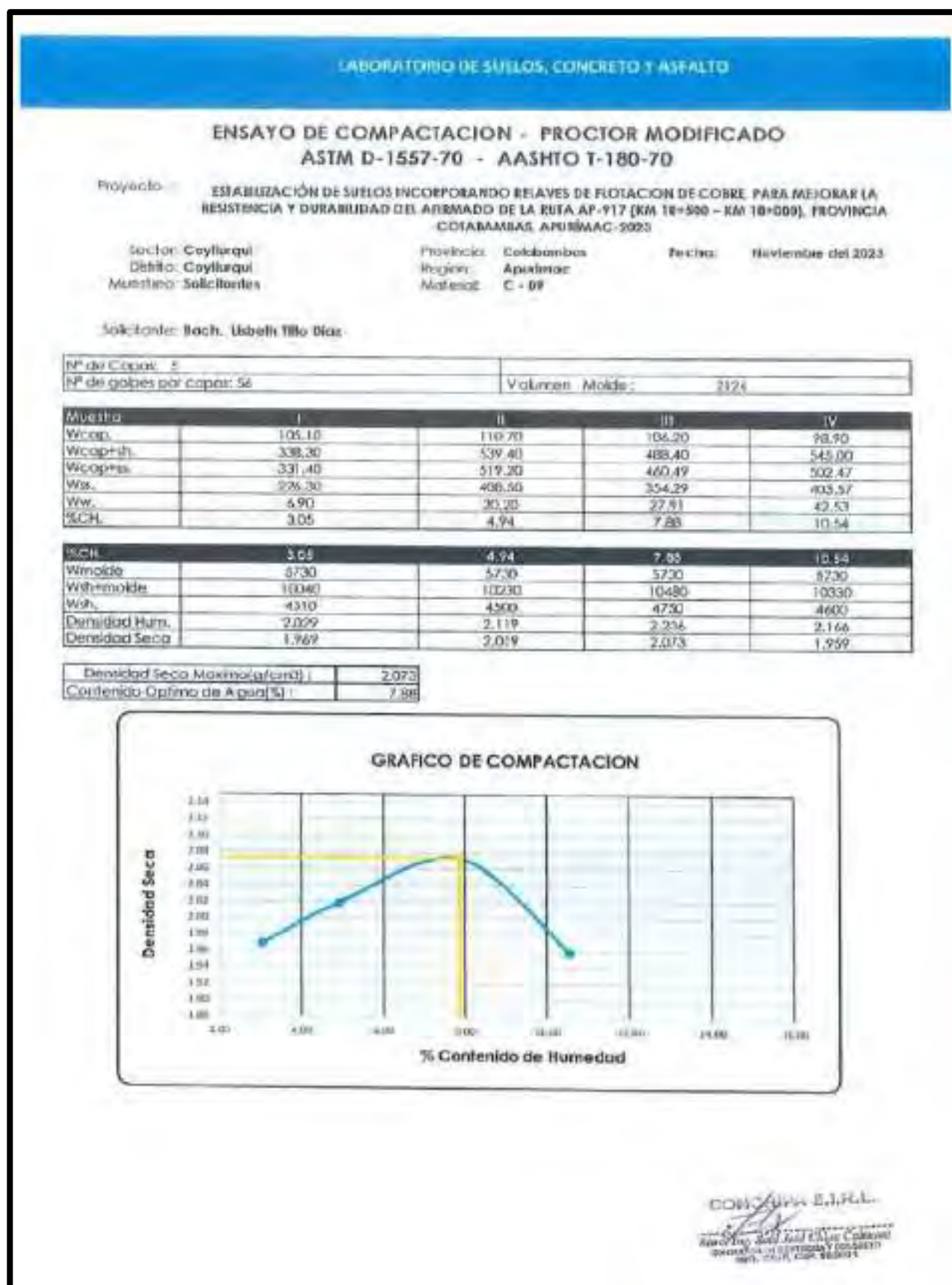


Figura 138 — Ensayo de compactación – Proctor modificado de la C-09

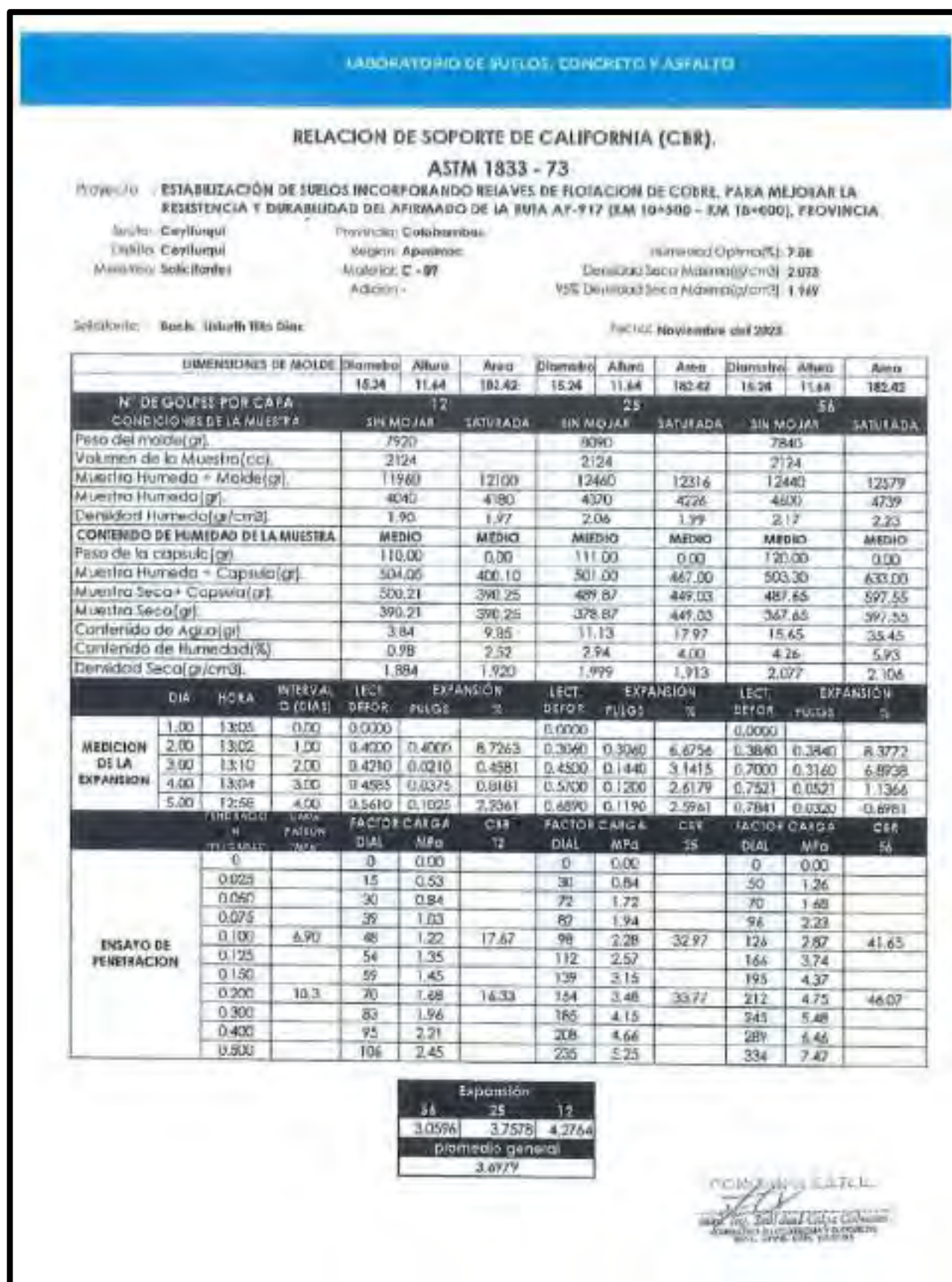


Figura 139 — Ensayo de CBR de la C-09 - Expansión

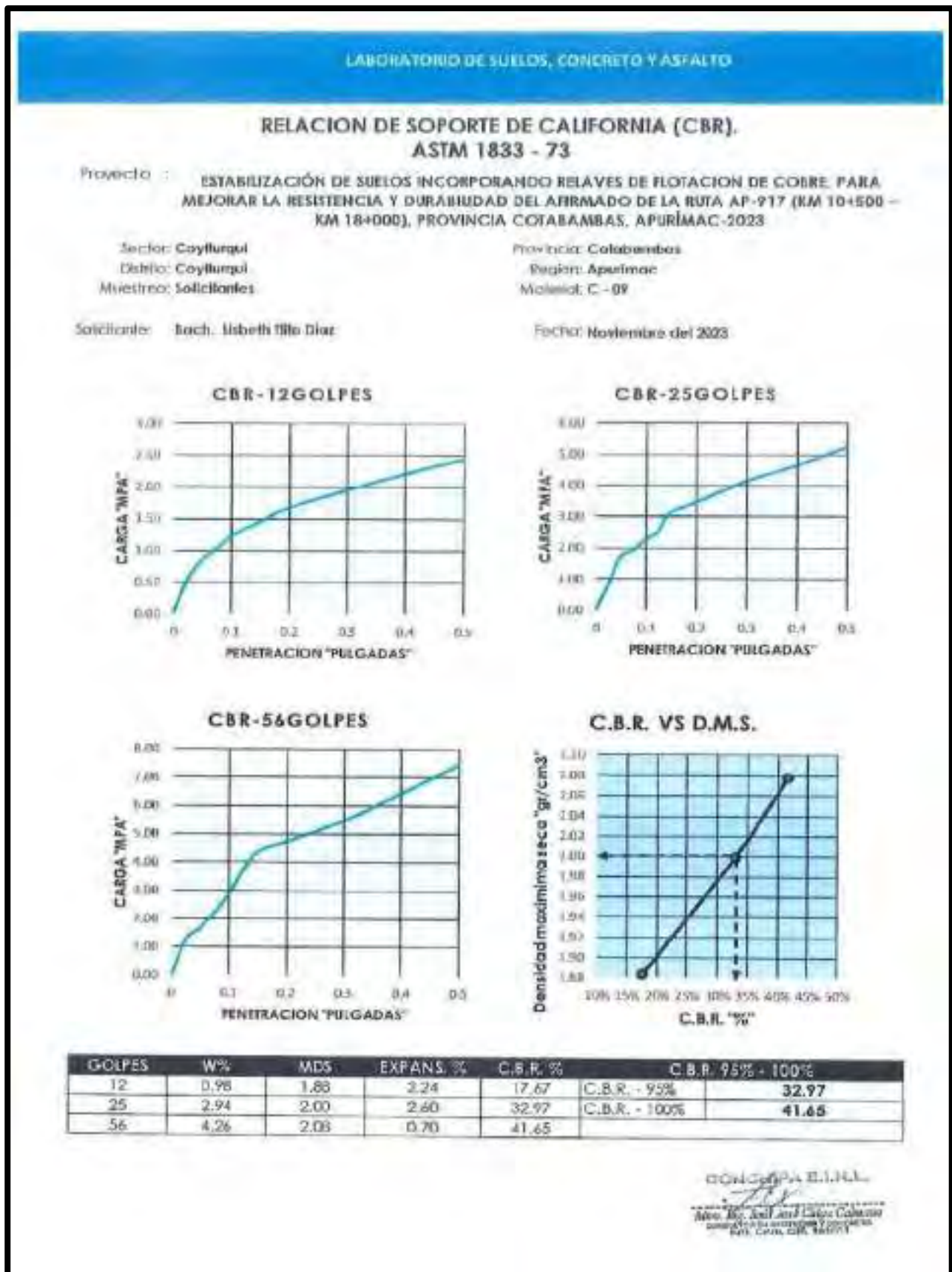


Figura 140 — Ensayo de CBR de la C-09 – CBR al 95 %

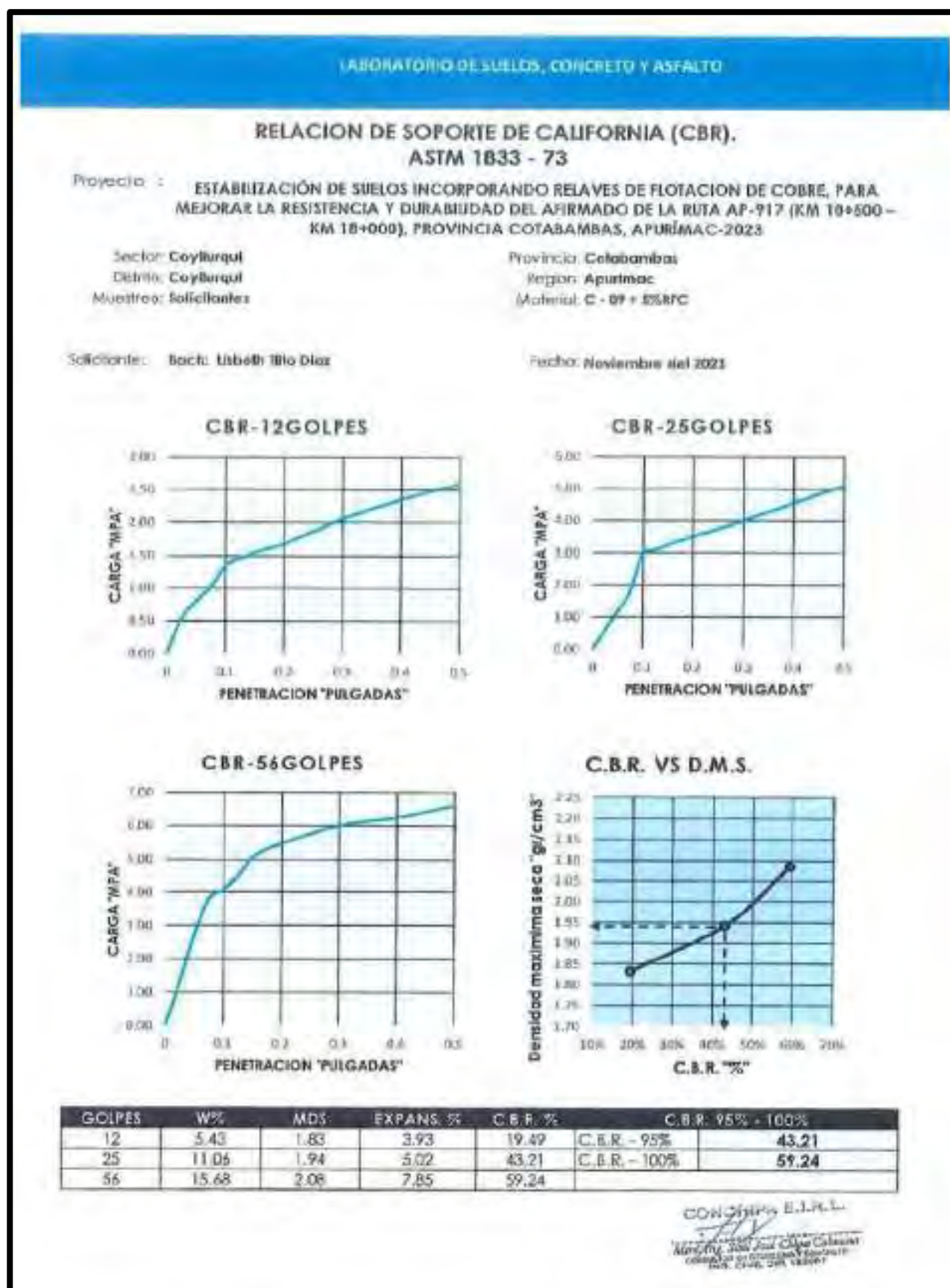


Figura 142 — Ensayo de CBR de la C-09 95 % SN + 5 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

ASTM 1833 - 73

Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAJES DE FLOTACIÓN DE COBRE PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-P17 (KM 10+500 - KM 10+000). PROVINCIA COTABAMBA, APIRIMAC-2023

Sinfonía Capriccio
 Duetto: Capriccio
 Musicalità: 8/10

Provincia: Colabombos
Región: Apurímac
Ayudante: C. + 05 + 15285C

958. Densidad Sólido Adorno(g/cm³): 1.945

Sozialpartner: Prof. Dr. Isabelle Willa Oltos

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE			Diámetro	Altura	Área	Diámetro	Altura	Área	Diámetro	Altura	Área						
			15.24	11.43	182.42	15.24	11.43	182.42	15.24	11.43	182.42						
N° DE GOLPES POR CAPA			12			25			54								
CONDICIONES DE LA MUESTRA			SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA					
Peso del molde (g)			8370			8300			7940			8370					
Volumen de la Muestra (cc)			2124			2124			2124			2124					
Muestra Humeda + Molde (g)			12730			13000			12990			13050					
Muestra Humeda (g)			4360			4630			4690			4950					
Densidad Humeda (g/cm3)			2.06			2.16			2.21			2.33					
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA			MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO					
Peso de la capsula (g)			110.00			123.45			111.00			102.86					
Muestra Humeda + Capsula (g)			501.54			479.95			510.00			620.09					
Muestra Secca + Capsula (g)			471.22			457.46			459.22			573.60					
Muestra Secca (g)			361.22			313.95			348.22			470.74					
Contenido de Agua (g)			39.32			42.55			50.78			46.49					
Contenido de Humedad (%)			8.39			13.55			14.58			9.86					
Densidad Secca (g/cm3)			1.894			1.920			1.922			2.121					
			2.044			2.162			2.162			2.162					
DIA		HORA	INTERVALO (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN FUEGOS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN FUEGOS	%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN FUEGOS	%					
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13.05	0.00	0.0000	0.1540	3.3594	0.1010	0.1110	2.2034	0.1380	0.1380	2.0106					
	2.00	13.02	1.00	0.2200	0.0560	1.4398	0.2650	0.1840	4.0141	0.3122	0.1740	2.7939					
	3.00	13.10	2.00	0.2950	0.0550	1.6362	0.3450	0.0600	1.3089	0.4650	0.1530	2.3378					
	4.00	13.04	3.00	0.4240	0.1290	2.8142	0.5130	0.1700	3.7087	0.6570	0.1920	4.1680					
	5.00	12.58	4.00														
FACTOR CARGA			CARGA			FACTOR CARGA			CARGA			FACTOR CARGA					
DIA			MPa			DIA			MPa			DIA			MPa		
0			0.00			0			0.00			0			0.00		
0.025			0.43			13			0.49			12			0.47		
0.050			0.76			30			0.84			46			1.18		
0.075			1.01			79			1.57			152			3.43		
0.100			1.47			21.32			155			3.50			50.72		
0.125			1.35			161			3.63			266			5.94		
0.150			1.64			183			4.11			318			7.11		
0.200			1.81			17.56			215			4.51			46.71		
0.300			2.08			262			5.85			210			11.50		
0.400			2.23			302			6.75			590			13.95		
0.500			2.52			340			7.61			653			14.81		

Exposición		
11	25	12
2.3125	2.8088	3.5832
promedio general		
2.9015		

CONCERNING E.I.R.A.

[illegible]

Figura 143 — Ensayo de CBR de la C-09 85 % SN +15 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

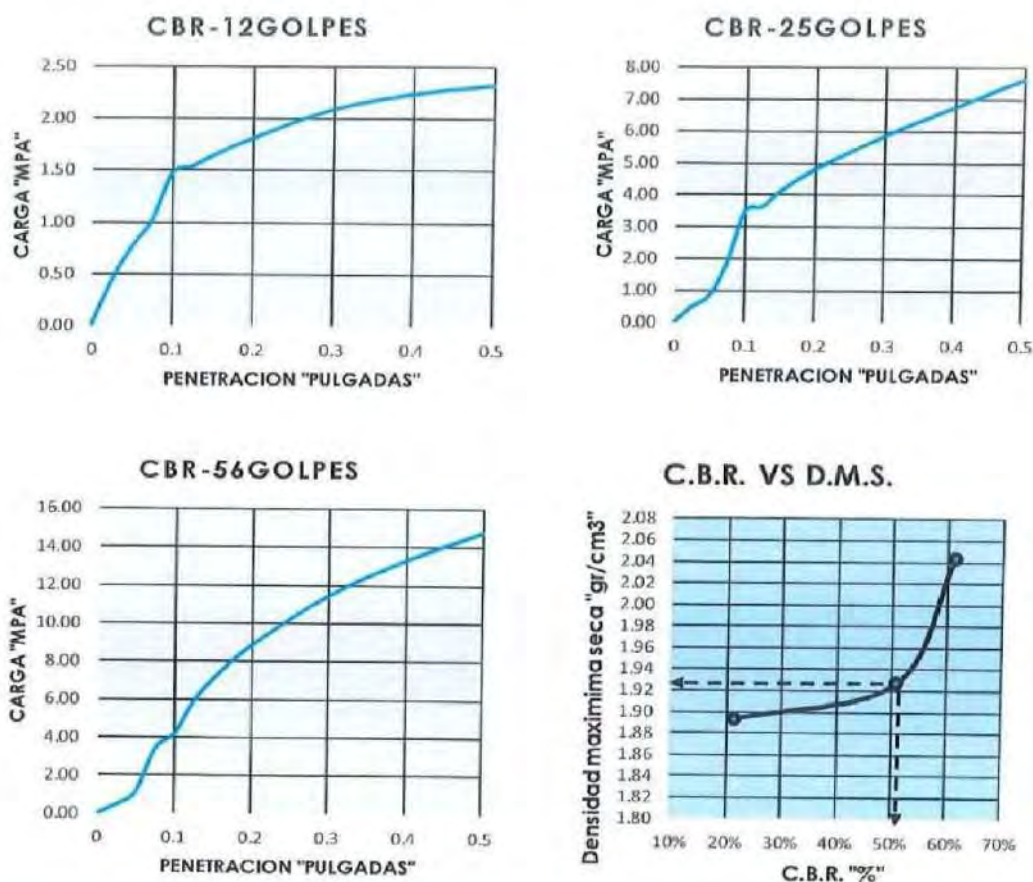
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C - 09 + 15%RFC

Solicitante: Bach: Lisbeth Tillo Diaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	8.39	1.89	2.81	21.32	C.B.R. - 95%	50.72
25	14.58	1.93	3.71	50.72	C.B.R. - 100%	61.14
56	13.10	2.04	4.19	61.14		

CONCHITA E.I.R.L.
Miro, Ing. Saul José Chirpa Calumana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL, CIP: 163001

Figura 144 — Ensayo de CBR de la C-09 85 % SN + 15 % RFC – CBR al 95 %

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).

ASTM 1833 - 73

Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 – KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
 Distrito: Coyllurqui
 Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
 Region: Apurímac
 Material: C-09 + 25%RFC

Humedad Óptima(%): 7.88
 Densidad Seca Máxima(g/cm³): 2.073
 95% Densidad Seca Máxima(g/cm³): 1.969

Solicitante: Bach. Lisbeth Tito Díaz

Fecha: Noviembre del 2023

DIMENSIONES DE MOLDE:						Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area	Diametro	Altura	Area			
						15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42	15.24	11.64	182.42			
N° DE GOLPES POR CAPA						12			25			56					
CONDICIONES DE LA MUESTRA						SIN MOJAR			SATURADA			SIN MOJAR			SATURADA		
Peso del molde (gr).						8090			8300			8070					
Volumen de la Muestra (cc).						2124			2124			2124					
Muestra Humeda + Molde (gr).						12440			12750			13060			13220		
Muestra Humeda (gr).						4350			4660			4760			4920		
Densidad Humeda (gr/cm3).						2.05			2.19			2.24			2.32		
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA						MEDIO			MEDIO			MEDIO			MEDIO		
Peso de la capsula (gr).						110.00			102.55			111.00			92.38		
Muestra Humeda + Capsula (gr).						503.24			340.99			510.00			515.17		
Muestra Seca+ Capsula (gr).						471.40			311.90			450.22			464.90		
Muestra Seca (gr).						361.40			209.35			339.22			372.52		
Contenido de Agua (gr)						31.84			29.09			59.78			50.27		
Contenido de Humedad(%)						8.81			13.90			17.62			13.49		
Densidad Seca (gr/cm3).						1.882			1.926			1.905			2.041		
						2.059			2.066								
DIA		HORA		INTERVAL O (DIAS)	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS		%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS		%	LECT. DEFOR.	EXPANSIÓN PULGS		%	
MEDICION DE LA EXPANSION	1.00	13:05		0.00	0.0000				0.0000				0.0000				
	2.00	13:02		1.00	0.0600	0.0600	1.3089		0.1700	3.7087	0.1400	0.1400		3.0542			
	3.00	13:10		2.00	0.1400	0.0800	1.7453		0.2650	0.0950	2.0725	0.2500	0.1100		2.3997		
	4.00	13:04		3.00	0.1600	0.0200	0.4363		0.3730	0.1080	2.3561	0.3320	0.0820		1.7889		
	5.00	12:58		4.00	0.3200	0.1600	3.4905		0.4790	0.1060	2.3125	0.5640	0.2320		5.0612		
PENETRACION "PULGADAS"				CARGA PATRON "MPa"	FACTOR CARGA DIAL		MPa	CBR 12	FACTOR CARGA DIAL		MPa	CBR 25	FACTOR CARGA DIAL		MPa	CBR 56	
ENSAYO DE PENETRACION		0		0		0.00		0		0.00		0		0.00			
		0.025		19		0.62		20		0.64		35		0.95			
		0.050		32		0.89		60		1.47		148		3.35			
		0.075		42		1.09		110		2.53		250		5.59			
		0.100		6.90		58		1.43		20.71		186		4.17		60.51	
		0.125				60		1.47				190		4.26			
		0.150				65		1.58				200		4.48			
		0.200		10.3		70		1.68		16.33		238		5.32		51.65	
		0.300				78		1.85				295		6.59			
		0.400				92		2.15				343		7.67			
0.500				106		2.45				390		8.74					

Expansión		
56	25	12
1.7453	2.6124	3.0760
promedio general		
2.4779		

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saul José Chirpa Cahuana
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 ING. CIVIL CIP. 193001

Figura 145 — Ensayo de CBR de la C-09 75 % SN +25 % RFC - Expansión

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR).
ASTM 1833 - 73

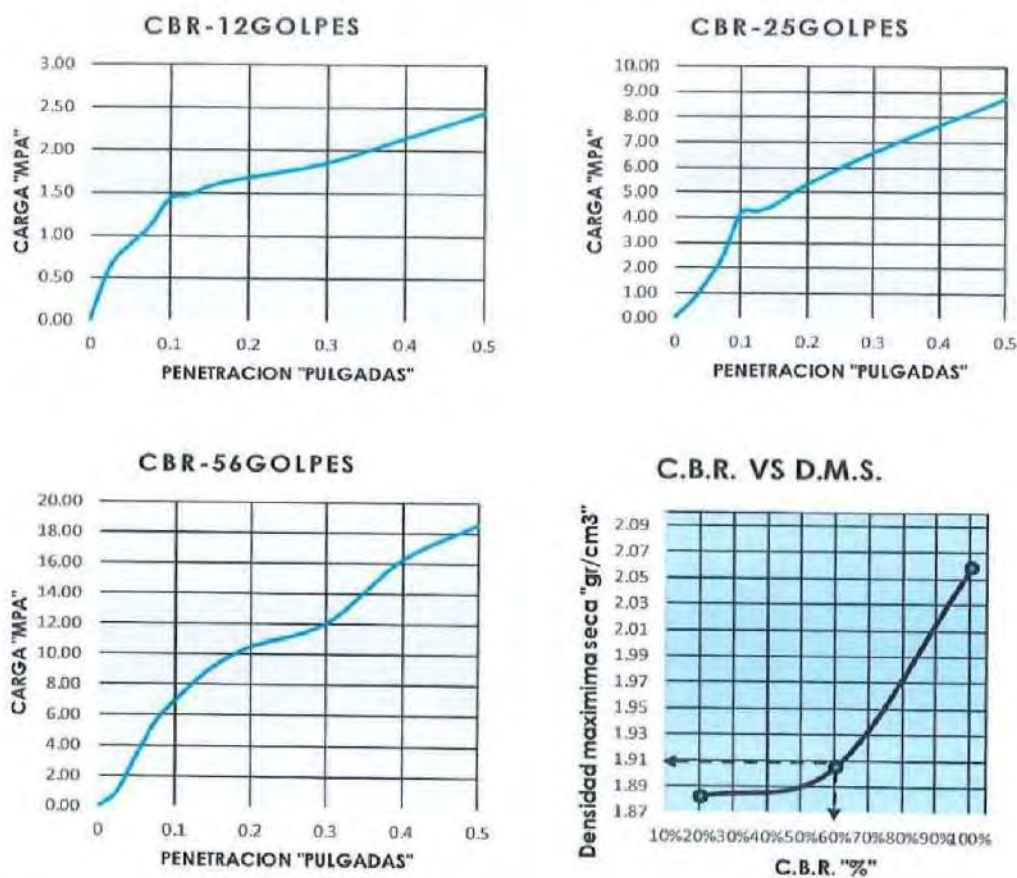
Proyecto : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS INCORPORANDO RELAVES DE FLOTACION DE COBRE, PARA MEJORAR LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL AFIRMADO DE LA RUTA AP-917 (KM 10+500 - KM 18+000), PROVINCIA COTABAMBA, APURÍMAC-2023

Sector: Coyllurqui
Distrito: Coyllurqui
Muestreo: Solicitantes

Provincia: Cotabamba
Region: Apurímac
Material: C-09 + 25%RFC

Solicitante: Bach. Lisbeth Tillo Díaz

Fecha: Noviembre del 2023



GOLPES	W%	MDS	EXPANS. %	C.B.R. %	C.B.R. 95% - 100%	
12	8.81	1.88	3.49	20.71	C.B.R. - 95%	60.51
25	17.62	1.91	2.31	60.51	C.B.R. - 100%	100.41
56	15.92	2.06	5.06	100.41		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chilpa Camacho
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
R.G. CIVIL CIP. 103001

Figura 146 — Ensayo de CBR de la C-09 75 % SN + 25 % RFC – CBR al 95 %

Anexo G

Certificados de calibración



SERVIMETROL

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMT - 028 - 2023

Página 1 de 6

Expediente	23-0063	
1. Solicitante	CONCHIPA E.I.R.L.	Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto. Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento. SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales 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 emita. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
2. Dirección	Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURÍMAC	
3. Equipo	HORNO	
Alcance Máximo	De 0 °C a 200 °C	
Marca	ARSOU	
Modelo	HR701	
Número de Serie	400215	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	PERÚ	
Ubicación	NO INDICA	

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	0 °C a 200 °C	0 °C a 200 °C
División de escala / Resolución	1 °C	1 °C
Tipo	CONTROLADOR ELECTRÓNICO	TERMÓMETRO DIGITAL

4. Fecha de Calibración	2023-05-10	
5. Fecha de Emisión	2023-05-12	

Sello



Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ
Fecha: 2023.05.12 14:14:08
-05'00'

ventaservimetro@gmail.com

servimetro@gmail.com

cservimetro@gmail.com

938102709

938327400

Cal 37 Mza. A-34 Lote 29 Urb.

Cultura Peruana Moderna

Lima - Lima - Santa Anita

Figura 147 — Certificado de calibración del horno de laboratorio - datos del horno de laboratorio



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 028 - 2023

Página 2 de 6

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-INDECOP, 2009.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURÍMAC

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,5 °C	21,9 °C
Humedad Relativa	50 %	50 %

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

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
TERMÓMETROS DE INDICACIÓN DIGITAL EPI-2022-132-1 / LT-188-2022	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL CON 12 CANALES	E688-10628-2023-2

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.

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. *Soledad Chupa Cahuana*
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

serv@servimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com

939102700
938327400

Cal37 Mta. A/34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima- Lima- Santa Anita

Figura 148 — Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración del horno de laboratorio



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SMT - 028 - 2023

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)	T _{max} -T _m
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110	108,4	109,5	109,3	110,0	113,4	105,9	108,5	114,3	109,2	114,3	110,3	8,4
02	110	108,4	109,5	109,3	110,0	113,4	105,8	108,4	114,3	109,3	114,3	110,3	8,5
04	110	108,4	109,4	109,3	109,9	113,5	105,9	108,5	114,2	109,6	114,1	110,3	8,3
06	110	108,4	109,6	109,4	110,1	113,5	105,9	108,5	114,2	109,6	114,2	110,3	8,3
08	110	108,3	109,5	109,1	110,0	113,4	105,8	108,5	114,5	109,5	114,2	110,3	8,7
10	110	108,5	109,6	109,4	110,1	113,4	105,9	108,4	114,3	109,5	114,3	110,3	8,4
12	110	108,3	109,4	109,1	110,0	113,3	105,9	108,4	114,3	109,5	114,3	110,2	8,4
14	110	108,6	109,5	109,2	110,1	113,3	105,8	108,5	114,3	109,4	114,4	110,3	8,5
16	110	108,4	109,6	109,2	110,0	113,4	105,9	108,4	114,4	109,6	114,1	110,3	8,5
18	110	108,5	109,4	109,3	110,0	113,2	106,0	108,4	114,2	109,6	114,3	110,3	8,2
20	110	108,4	109,4	109,0	110,0	113,3	105,8	108,4	114,2	109,5	114,4	110,2	8,5
22	110	108,4	109,5	109,1	110,0	113,3	105,9	108,5	114,2	109,3	114,4	110,3	8,4
24	110	108,4	109,4	109,0	109,9	113,2	105,8	108,6	114,3	109,2	114,3	110,2	8,5
26	110	108,4	109,5	109,3	110,0	113,2	105,8	108,5	114,4	109,4	114,3	110,3	8,6
28	110	108,3	109,4	109,2	109,9	113,2	105,9	108,3	114,4	109,4	114,1	110,2	8,5
30	110	108,5	109,5	109,3	109,9	113,2	105,9	108,5	114,2	109,5	114,4	110,3	8,4
32	110	108,3	109,3	109,4	110,0	113,3	106,0	108,7	114,3	109,6	114,3	110,3	8,3
34	110	108,6	109,5	109,1	109,7	113,1	106,0	108,6	114,3	109,6	114,4	110,3	8,3
36	110	108,4	109,6	109,1	109,8	113,2	105,9	108,6	114,5	109,5	114,4	110,3	8,6
38	110	108,5	109,4	109,1	109,9	113,3	105,9	108,5	114,4	109,4	114,5	110,3	8,5
40	110	108,3	109,5	109,2	109,9	113,3	105,8	108,5	114,3	109,4	114,3	110,2	8,5
42	110	108,5	109,5	109,3	110,0	113,1	105,7	108,3	114,3	109,5	114,3	110,2	8,6
44	110	108,4	109,3	109,3	110,0	113,2	105,9	108,3	114,4	109,6	114,2	110,3	8,5
46	110	108,5	109,5	109,3	110,0	113,2	105,9	108,4	114,2	109,6	114,3	110,3	8,3
48	110	108,4	109,4	109,4	109,9	113,2	106,0	108,6	114,2	109,6	114,3	110,3	8,2
50	110	108,5	109,5	109,3	109,8	113,3	105,9	108,6	114,3	109,5	114,4	110,3	8,4
52	110	108,4	109,4	109,3	109,8	113,4	105,9	108,5	114,3	109,5	114,4	110,3	8,4
54	110	108,5	109,4	109,3	109,7	113,4	105,8	108,5	114,4	109,4	114,3	110,3	8,6
56	110	108,4	109,3	109,2	109,9	113,2	105,9	108,5	114,4	109,4	114,3	110,2	8,5
58	110	108,4	109,5	109,2	110,0	113,2	105,9	108,5	114,3	109,3	114,3	110,3	8,4
60	110	108,4	109,5	109,3	110,0	113,2	105,9	108,7	114,3	109,2	114,4	110,3	8,4
T.PROM	110	108,4	109,4	109,2	110,0	113,2	105,9	108,5	114,3	109,5	114,3	110,3	
T.MAX	110	108,6	109,6	109,4	110,1	113,5	106,0	108,7	114,5	109,6	114,5		
T.MIN	110	108,3	109,3	109,0	109,7	113,1	105,7	108,3	114,2	109,2	114,1		
DTT	0	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4		

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtra. Ing. Saúl José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventas@servimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com

938102709
938327400

Cal. 37 Mx. A. 34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 149 — Resultados de la medición de temperatura del horno de laboratorio



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMT - 028 - 2023

Página 4 de 6

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	114,5	0,1
Minima Temperatura Medida	105,7	0,2
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0,4	0,1
Desviación de Temperatura en el Espacio	8,4	0,1
Estabilidad Medida (±)	0,2	0,04
Uniformidad Medida	8,7	0,1

- 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.

Incetidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0,58 °C

La incetidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incetidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incetidumbre 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 $\pm 1/2$ DTT.

CONCHIPA E.I.R.L.
Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventas@servimetrol@gmail.com
asesor@servimetrol@gmail.com
servimetrol@gmail.com

938102708
938327400

Cal.37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima- Lima- Santa Anita

Figura 150 — Parámetros de temperatura del horno de laboratorio





SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

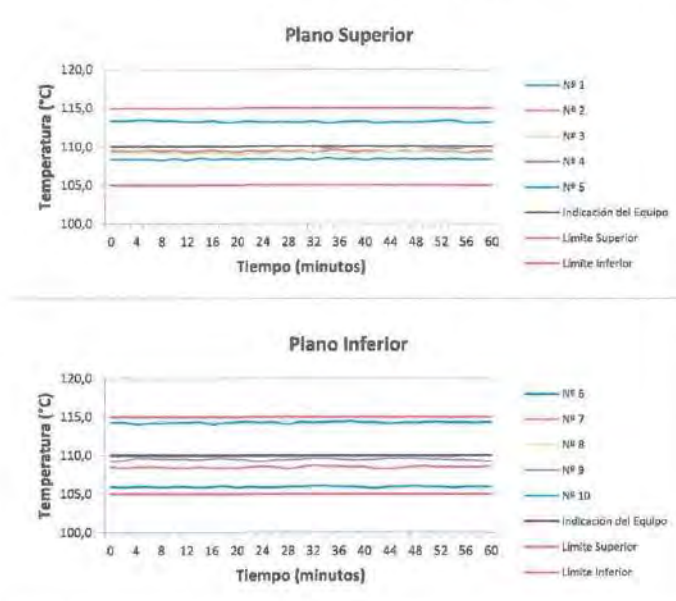
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMT - 028 - 2023

Página 5 de 6

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO

TEMPERATURA DE TRABAJO: $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$



CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Sadí José Chipa Cahuana

CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO

ING. CIVIL CIP 193001

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 151 — Distribución de temperatura del horno de laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 028 - 2023

Página 6 de 6



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 5 cm de las paredes laterales y a 5 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

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saúl José Chipa Cahuaño
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventaservimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com

918102709
918327400

Cal. 37 Mza. A-34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 152 — Distribución de los termopares y la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del horno de laboratorio



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMF - 021 - 2023

Expediente	23-0042	Página 1 de 3
1. Solicitante	CONCHIPA E.I.R.L.	Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto. Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento. SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales 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. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
2. Dirección	Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURIMAC	
3. Equipo	PRENSA CBR	
Capacidad	5000 kgf	
Marca	PINZUAR	
Modelo	PG-29	
Número de Serie	118	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	COLOMBIA	
4. Indicador	ANALÓGICO	
Marca	BAKER	CONCHIPA E.I.R.L. Mtro. Ing. Saul José Chipa Cohuana CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO ING. CIVIL CIP 183001
Número de Serie	BIA443	
División de Escala / Resolución	0,0001 pulg.	
5. Fecha de Calibración	2023-04-18	
6. Fecha de Emisión	2023-04-27	



[Firma manuscrita]

Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ
Fecha: 2023.04.28 09:52:12
-05'00'

vehitafservimetro@gmail.com
aservimetro@gmail.com
Eservimetro@gmail.com

931027109
938327400

Car. 37 Rta. A-34 Lote 29 URP
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 153 — Certificado de calibración de la prensa CBR - datos de la prensa CBR



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMF - 021 - 2023

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 Estáticas. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURIMAC

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	21,6 °C	21,2 °C
Humedad Relativa	47 % HR	47 % HR

10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2022-1 95857	Celda de carga calibrado a 30 tnf con incertidumbre del orden de 0,15 %	LEDI-PUCP INF-LE 065-23B

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.

CONCHIPA E.U.R.L.

Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP: 193001

ventas@servimetrol@gmail.com
servimetrol@gmail.com
servimetrol@gmail.com

938102709
938 527400

Cal 37 Mza. A-34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima, Lima, Santa Anita

Figura 154 — Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración de la prensa CBR



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMF - 021 - 2023

Página 3 de 3

12. Resultados de Medición

El equipo presenta ANILLO DE CARGA con las siguientes características:

Capacidad : NO INDICA

Marca : NO INDICA

Modelo : NO INDICA

Nº de Serie : NO INDICA

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia				Error de Exactitud q (%)	Incertidumbre U (k=2) (%)
%	Divisiones	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)		
10	100	438,4	454,6	453,6	453,4	-3,4	0,24
20	200	875,2	861,2	860,1	860,4	1,7	0,24
30	300	1313,3	1305,5	1304,8	1304,8	0,6	0,24
40	400	1752,7	1750,9	1750,3	1750,4	0,1	0,24
50	500	2193,5	2193,7	2194,1	2194,0	0,0	0,24
60	600	2635,6	2641,8	2642,0	2642,1	-0,2	0,24
70	700	3079,1	3081,5	3080,9	3081,2	-0,1	0,24
80	800	3523,9	3532,6	3531,9	3532,0	-0,2	0,24
90	900	3970,0	3966,7	3968,3	3968,2	0,1	0,24
100	1000	4417,4	4412,0	4411,9	4411,8	0,1	0,24

Con los resultados obtenidos se realizó la siguiente ecuación de ajuste:

Y = Fuerza (kgf)

X = Valores del Dial (plg)

$$Y = 0,0000664 x^2 + 4,3481 x + 2,8844$$

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

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saul José Chipa Cohuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventaservimetrol@gmail.com
a=servimetrol@gmail.com
servimetrol@gmail.com

938102709
938327400

Cal 39 Mza. A-34 Lote 29 Urb
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 155 — Resultados de medición e incertidumbre reportada en el certificado de calibración de la prensa CBR



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 035 - 2023

Expediente	23-0042	Página 1 de 4
1. Solicitante	CONCHIPA E.I.R.L.	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.
2. Dirección	Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURIMAC	
3. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	500 g	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.
División de escala	0,1 g	
División de verificación	0,1 g	
Clase de exactitud	III	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.
Marca	POCKET SCALE	
Modelo	MH-500	
Número de Serie	NO INDICA	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.
Identificación	MH-213 (*)	
Procedencia	CHINA	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
4. Fecha de Calibración	2023-04-21	
5. Fecha de Emisión	2023-04-27	

Sello

Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ

Fecha: 2023.04.28 13:26:29
-05'00'

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuna
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

serv@servi-metrologia.com
servimetrologia@gmail.com
cservi-metrologia@gmail.com

938102709
938327400

Calle 37 Mza. A-34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 156 — Certificado de calibración de la balanza electrónica de capacidad 500 gramos - datos de la balanza electrónica 500 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 035 - 2023

Página 2 de 4

5. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación directa, según el PC-001 1ra Edición, 2019: "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IIII" del INACAL-DM.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURIMAC

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	21,1	21,5
Humedad Relativa (%)	56	56

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) LM-075-2020	PESAS (Clase de exactitud E2)	LM-C-155-2022

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (*) Código indicado en una etiqueta adherido al equipo.

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saúl José Chipa Cahua
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP 193001

ventas@servimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com

938102709
938327400

Cal. 37 Mza. A-34 Lote 29 LIRU
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 157 — Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración de la balanza electrónica 500 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 035 - 2023

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	21,3 °C	21,5 °C

Medición Nº	Carga L1 = 250,00 g			Carga L2 = 500,00 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	250,0	0,05	0,00	500,0	0,06	-0,01
2	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,06	-0,01
3	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,07	-0,02
4	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,07	-0,02
5	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,07	-0,02
6	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,07	-0,02
7	250,0	0,05	0,00	500,0	0,07	-0,02
8	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,07	-0,02
9	250,0	0,04	0,01	500,0	0,06	-0,01
10	250,0	0,06	-0,01	500,0	0,07	-0,02
	Diferencia Máxima		0,02	Diferencia Máxima		0,01
	Error Máximo Permissible		± 0,30	Error Máximo Permissible		± 0,30

ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	21,3 °C	21,2 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga (L)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	1,00 g	1,0	0,05	0,00	150,00 g	150,0	0,06	-0,01	-0,01
2		1,0	0,05	0,00		150,0	0,07	-0,02	-0,02
3		1,0	0,05	0,00		150,0	0,08	-0,03	-0,03
4		1,0	0,05	0,00		150,0	0,03	0,02	0,02
5		1,0	0,05	0,00		150,0	0,06	-0,01	-0,01
* Valor entre 0 y 10e					Error máximo permisible				± 0,20

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saul José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventaservimetrol@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 158 — Resultados de medición de inspección visual, ensayo de repetibilidad, ensayo de excentricidad de la balanza electrónica 500 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 035 - 2023

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temperatura	21,1 °C	21,1 °C

Carga L (g)	CARGA CRECIENTE				CARGA DECRECIENTE				± e.m.p (g)**
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1,00	1,0	0,06	-0,01	0,00	2,0	0,05	0,00	0,01	0,10
2,00	2,0	0,06	-0,01	0,00	20,0	0,04	0,01	0,02	0,10
20,00	20,0	0,05	0,00	0,01	50,0	0,05	0,00	0,01	0,10
50,00	50,0	0,05	0,00	0,01	100,0	0,05	0,00	0,01	0,20
100,00	100,0	0,05	0,00	0,01	150,0	0,04	0,01	0,02	0,20
150,00	150,0	0,05	0,00	0,01	200,0	0,04	0,01	0,02	0,20
200,00	200,0	0,04	0,01	0,02	250,0	0,04	0,01	0,02	0,30
250,00	250,0	0,03	0,02	0,03	300,0	0,04	0,01	0,02	0,30
300,00	300,0	0,03	0,02	0,03	400,0	0,03	0,02	0,03	0,30
400,00	400,1	0,09	0,06	0,07	500,1	0,07	0,06	0,09	0,30
500,00	500,1	0,07	0,06	0,09					

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza. ΔL: Carga adicional. E₀: Error en cero.
I: Indicación de la balanza. E: Error encontrado. E_c: Error corregido.

LECTURA CORREGIDA : $R_{CORREGIDA} = R - 1,28 \times 10^{-6} \times R$

INCERTIDUMBRE : $U = 2 \times \sqrt{1,85 \times 10^{-3} g^2 + 4,02 \times 10^{-6} \times R^2}$

12. Incertidumbre

La incertidumbre U 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%.

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.

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saúl José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventas@servimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com

938102709
938327400

Cal. 57 Mza. A-54 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima - Lima - Santa Anita

Figura 159 — Resultados de medición de ensayo de pesaje y la incertidumbre reportada en el certificado de calibración de la balanza electrónica 500 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 031 - 2023

Página 1 de 4

Expediente	23-0042
1. Solicitante	CONCHIPA E.I.R.L.
2. Dirección	Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURIMAC
3. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	30 000 g
División de escala	1 g
División de verificación	10 g
Clase de exactitud	III
Marca	OHAUS
Modelo	R21PE30ZH
Número de Serie	8349380656
Identificación	NO INDICA
Procedencia	CHINA
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
4. Fecha de Calibración	2023-04-18
5. Fecha de Emisión	2023-04-20

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales 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.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Sello

Jefe de Laboratorio



[Handwritten signature]

Firmado digitalmente
por ELEAZAR CESAR
CHAVEZ RARAZ
Fecha: 2023.04.20
19:42:42 -05'00'

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saul José Chipa Lahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventas@servimetrologia.com
servimetrologia@gmail.com
servimetrologia@gmail.com

938102709
938527400

Fal 37 MPA A-M-LATA 19 UTE
Cultura Peruana Moderna
Lima Lima- Santa Anita

Figura 160 — Certificado de calibración de la balanza electrónica de capacidad 30 000 gramos
- datos de la balanza electrónica 30 000 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 031 - 2023

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación directa, según el PC-001 1ra Edición, 2019: "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IIII" del INACAL-DM.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
Pro. Arica N° s/n Abancay - Abancay - APURIMAC

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	21,3	21,8
Humedad Relativa (%)	64	65

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) LM-075-2020	PESAS (Clase de exactitud E2)	LM-C-155-2022
PESAS (Clase de exactitud F1) CCP-1277-001-22	PESAS (Clase de exactitud M1)	SGM-A-0827-2023
PESA (Clase de exactitud M1) SGM-A-2254-2022	PESA (Clase de exactitud M2)	SGM-A-0826-2023
PESA (Clase de exactitud M1) SGM-A-2255-2022	PESA (Clase de exactitud M2)	SGM-A-0824-2023

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

CONCHIPAE I.R.L.
Mtro. Ing. Saúl José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventas@servimetrologia.com
asesor@servimetrologia.com
info@servimetrologia.com

938102709
938327400

Cal. 37 Mes. A-34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima- Lima- Santa Anita

Figura 161 — Método, lugar, condiciones ambientales, patrones de referencia y observaciones de calibración de la balanza electrónica 30 000 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

SMM - 031 - 2023

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOS	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

		Inicial		Final			
Temperatura		21,7 °C		21,8 °C			
Medición	Carga L1 = 15 000,0 g			Carga L2 = 30 000,0 g			
Nº	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	
1	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,9	-0,4	
2	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,8	-0,3	
3	15 000	0,8	-0,3	30 000	0,8	-0,3	
4	15 000	0,8	-0,3	30 000	0,8	-0,3	
5	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,8	-0,3	
6	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,9	-0,4	
7	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,9	-0,4	
8	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,9	-0,4	
9	15 000	0,7	-0,2	30 000	0,7	-0,2	
10	15 000	0,6	-0,1	30 000	0,8	-0,3	
Diferencia Máxima			0,2	Diferencia Máxima			0,2
Error Máximo Permissible			± 20,0	Error Máximo Permissible			± 30,0

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

25 1 34		Posición de las cargas		Temperatura		Inicial 21,6 °C	Final 21,7 °C			
Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec					
	Carga Mínima*	l (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga (L)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1	10,0 g	10	0,6	-0,1	10 000,0 g	10 000	0,6	-0,1	0,0	
2		10	0,6	-0,1		9 999	0,3	-0,8	-0,7	
3		10	0,6	-0,1		10 000	0,4	0,1	0,2	
4		10	0,6	-0,1		10 001	0,9	0,6	0,7	
5		10	0,6	-0,1		10 000	0,5	0,0	0,1	
* Valor entre 0 y 10e					Error máximo permisible					± 20,0

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Saúl José Chipa Cahuaña
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

ventaservimetro@gmail.com
aservimetro@gmail.com
cservimetro@gmail.com

938102709
938327400

Cal 37 Mza. A-34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima- Lima- Santa Anita

Figura 162 — Resultados de medición de la inspección visual, ensayo de repetibilidad, ensayo de excentricidad de la balanza electrónica 30 000 gramos



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMM - 031 - 2023

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temperatura	21,4 °C	21,3 °C

Carga L (g)	CARGA CRECIENTE				CARGA DECRECIENTE				± e.m.p (g)**
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
10,0	10	0,8	-0,3						
20,0	20	0,8	-0,3	0,0	20	0,7	-0,2	0,1	10,0
100,0	100	0,6	-0,1	0,2	100	0,7	-0,2	0,1	10,0
500,0	500	0,7	-0,2	0,1	500	0,6	-0,1	0,2	10,0
2 000,0	2 000	0,6	-0,1	0,2	2 000	0,6	-0,1	0,2	10,0
5 000,0	5 000	0,5	0,0	0,3	5 000	0,5	0,0	0,3	10,0
10 000,0	10 000	0,3	0,2	0,5	10 000	0,5	0,0	0,3	20,0
15 000,0	15 000	0,3	0,2	0,5	15 000	0,4	0,1	0,4	20,0
20 000,4	20 000	0,3	-0,2	0,1	20 000	0,3	-0,2	0,1	20,0
25 000,4	25 001	0,9	0,2	0,5	25 001	0,7	0,4	0,7	30,0
30 000,4	30 001	0,7	0,4	0,7	30 001	0,7	0,4	0,7	30,0

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza ΔL: Carga adicional E₀: Error en cero
I: Indicación de la balanza E: Error encontrado E_C: Error corregido.

LECTURA CORREGIDA : $R_{CORREGIDA} = R - 2,90 \times 10^{-5} \times R$

INCERTIDUMBRE : $U = 2 \times \sqrt{1,76 \times 10^{-11} g^2 + 5,73 \times 10^{-10} \times R^2}$

12. Incertidumbre

La incertidumbre U 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%.

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.

CONCHIPA E.I.R.L.

Mtro. Ing. Sadí José Chipa Cahuana
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
ING. CIVIL CIP. 193001

servimetrologia@gmail.com
servimetrologia@gmail.com
servimetrologia@gmail.com

038102709
958327400

Cal 37 Mza. A-34 Lote 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Umas Umas - Santa Anita

Figura 163 — Resultados de medición del ensayo de pesaje y la incertidumbre reportada en el certificado de calibración de la balanza electrónica 30 000 gramos

Anexo H

Declaratoria de originalidad del autor

DECLARACION JURADA

Yo, Lisbeth Ttito Diaz, identificado con DNI 62072186, bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, con código de estudiante 152260, y con domicilio en La Av. Tupac Amaru N°102-A, distrito de Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac.

Declaro bajo juramento:

- **Originalidad de la Investigación:** La presente investigación de tesis titulada “Estabilización de suelos incorporando relaves de flotación de cobre, para mejorar la resistencia y la durabilidad del afirmado de la ruta AP-917 (km 10+500 – km 18+000), provincia Cotabambas, Apurímac - 2023” es original y no ha sido plagiada total ni parcialmente de otros autores, tanto peruanos como internacionales.
- **Fidelidad en la Recolección de Datos:** La recolección de datos y su procesamiento en esta investigación se ha realizado de manera fiel y precisa, garantizando la máxima veracidad de los resultados obtenidos.
- **Responsabilidad personal:** Asumo la plena responsabilidad ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto en los documentos presentados como en la información aportada. Me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

Abancay, 04 de noviembre de 2024



Lisbeth Ttito Diaz

DNI 62072186

Figura 164 — Declaratoria de originalidad del autor