

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Bach. ALARCÓN HERNÁNDEZ JAMES

ASESOR:

Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA

CAJAMARCA – PERÚ

2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** James Alarcón Hernández
DNI: 76539719
Escuela Profesional: Ingeniería Civil

2. **Asesor:** M.T Alejandro Cubas Becerra
Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

- Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

- Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

"INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023"

Fecha de evaluación: 03/09/2024

6. **Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

7. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 18%

8. **Código Documento: oid:** :3117:377948223

9. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 07 de setiembre 2024

FIRMA DEL ASESOR

Alejandro Cubas Becerra

DNI: 26623287



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258601 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 07/09/2024 14:59:40-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento infinito a Dios y al apoyo de mi padre Teófilo Alarcón Tello, mi madre María Dilma Hernández Ventura, mis hermanos (as) y mis amigos (as) quienes en conjunto aportaron soporte anímico en cada etapa del desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Ing. Alejandro Cubas Becerra, por el soporte que me brindó al compartir sus conocimientos conmigo durante todo el desarrollo de esta investigación, permitiendo de esa manera que todo el proceso se realice con éxito.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mi padre TEÓFILO ALARCÓN TELLO, a mi madre MARÍA DILMA HERNÁNDEZ VENTURA, hermanos (as) y familiares en general quienes día a día me brindan su apoyo incondicional y a través de sus consejos voy logrando metas importantes en mi vida.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.3.1. Hipótesis general.....	2
1.3.2. Hipótesis específicas.....	2
1.4. Variables	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Alcances y delimitaciones de la investigación	3
1.7. Limitaciones	4
1.8. Objetivos	4
1.8.1. Objetivo general	4
1.8.2. Objetivos específicos.....	4
1.9. Descripción del contenido de capítulos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes teóricos.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	6
2.1.3. Antecedentes locales	7
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. Suelo	8
2.2.2. Propiedades físico-mecánicas de los suelos.....	9
2.2.3. Análisis granulométrico del suelo	9
2.2.4. Límite líquido y límite plástico de los suelos.....	10
2.2.5. Índice de plasticidad	10

2.2.6.	Máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad	11
2.2.7.	Índice de CBR de los suelos	11
2.2.8.	Estudio de tráfico.....	12
2.2.9.	Levantamiento topográfico	13
2.2.10.	Clasificación de los suelos	14
2.2.11.	Suelos arcillosos y minerales que lo constituyen.....	17
2.2.12.	Suelos arcillosos expansivos.....	17
2.2.13.	Subrasante	18
2.2.14.	Cemento Portland.....	19
2.2.15.	Hidratación del cemento.....	20
2.2.16.	Cemento Portland Tipo I.....	20
2.2.17.	Estabilización de suelos	21
2.2.18.	Mezclas de suelo - cemento.....	23
2.2.19.	Cálculo de las cantidades de los materiales por m ³ de mezcla	25
2.2.20.	Proceso de ejecución en campo de una mezcla de suelo y cemento ..	25
2.3.	Definición de términos básicos.....	26
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		28
3.1.	Ubicación política y geográfica.....	28
3.2.	Tipo, nivel y método de investigación.....	28
3.2.1.	Tipo de investigación.....	28
3.2.2.	Nivel de investigación.....	28
3.2.3.	Método de investigación.....	28
3.3.	Diseño de investigación.....	29
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.4.1.	Técnicas	29
3.4.2.	Instrumentos.....	29
3.5.	Procedimiento.....	29
3.6.	Población de estudio, muestra y unidad de análisis	30
3.6.1.	Población de estudio	30
3.6.2.	Muestra	30
3.6.3.	Unidad de análisis	30
3.7.	Descripción del proceso de la investigación.....	32
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		33
4.1.	Clasificación del suelo de subrasante en estudio	33

4.2. Influencia del cemento Portland Tipo I en el índice de plasticidad del suelo.	34
4.3. Influencia del cemento Portland Tipo I en la máxima densidad seca del suelo.	37
4.4. Influencia del cemento Portland Tipo I en el índice de CBR de las seis muestras de suelo.	40
4.5. Contratación de hipótesis.....	43
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1. Conclusiones.	44
5.2. Recomendaciones	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de los suelos según tamaño de partículas	9
Tabla 2	Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad	11
Tabla 3	Categorías de subrasante según su índice de CBR	12
Tabla 4	Grupos de clasificación de suelos según el sistema unificado (SUCS) ..	14
Tabla 5	Sistema de clasificación AASHTO	15
Tabla 6	Condición del suelo de subrasante según su índice de grupo	16
Tabla 7	Clasificación de las arcillas	17
Tabla 8	Consideraciones en una subrasante y en los suelos que lo conforman .	18
Tabla 9	Composición química de los cementos (% de masa).....	19
Tabla 10	Composición química del clinker (% de masa)	20
Tabla 11	Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C 150	21
Tabla 12	Métodos de estabilización de suelos.....	22
Tabla 13	Consideraciones para la estabilización de suelos con cemento	23
Tabla 14	Rango de cemento requerido en estabilización suelo cemento	24
Tabla 15	Materiales por m ³ de mezcla en suelo mejorado con cemento	25
Tabla 16	Coordenadas UTM y geográficas de la investigación realizada.....	28
Tabla 17	Número de calicatas para exploración de suelos.....	29
Tabla 18	Progresivas y coordenadas UTM de las 06 calicatas realizadas	30
Tabla 19	Normas técnicas para los ensayos realizados en esta investigación....	30
Tabla 20	Tratamiento del suelo con la adición de cemento Portland Tipo I.....	31
Tabla 21	Clasificación de las seis muestras de suelo.....	33
Tabla 22	Influencia del cemento Portland tipo I en el índice de plasticidad del suelo.....	34
Tabla 23	Influencia del cemento Portland Tipo I en la máxima densidad seca del suelo.....	37
Tabla 24	Influencia del cemento Portland Tipo I en el índice de CBR del suelo..	40
Tabla 25	Contenido de humedad del suelo de la calicata 1.....	50
Tabla 26	Análisis granulométrico del suelo de la calicata 1	50
Tabla 27	Tamizado porción retenida en el tamiz No. 10 de la calicata 1	51
Tabla 28	Tamizado porción pasante el tamiz No. 10 y retenido en la No. 200 de la calicata 1	51
Tabla 29	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1	52

Tabla 30	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1 (3% cemento)	52
Tabla 31	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1 (4% cemento)	53
Tabla 32	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1 (5% cemento)	53
Tabla 33	Proctor modificado del suelo de la calicata 1	54
Tabla 34	Proctor modificado del suelo de la calicata 1 (3% cemento).....	54
Tabla 35	Proctor modificado del suelo de la calicata 1 (4% cemento).....	55
Tabla 36	Proctor modificado del suelo de la calicata 1 (5% cemento).....	56
Tabla 37	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1	57
Tabla 38	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1 (3% cemento)	59
Tabla 39	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1 (4% cemento)	61
Tabla 40	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1 (5% cemento)	63
Tabla 41	Contenido de humedad del suelo de la calicata 2.....	65
Tabla 42	Análisis granulométrico del suelo de la calicata 2.....	65
Tabla 43	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2	66
Tabla 44	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2 (3% cemento)	66
Tabla 45	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2 (4% cemento)	67
Tabla 46	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2 (5% cemento)	67
Tabla 47	Proctor modificado del suelo de la calicata 2	68
Tabla 48	Proctor modificado del suelo de la calicata 2 (3% cemento).....	68
Tabla 49	Proctor modificado del suelo de la calicata 2 (4% cemento).....	69
Tabla 50	Proctor modificado del suelo de la calicata 2 (5% cemento).....	70
Tabla 51	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2	71
Tabla 52	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2 (3% cemento)	73
Tabla 53	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2 (4% cemento)	75
Tabla 54	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2 (5% cemento)	77
Tabla 55	Contenido de humedad del suelo de la calicata 3.....	79
Tabla 56	Análisis granulométrico del suelo de la calicata 3.....	79
Tabla 57	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3	80
Tabla 58	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3 (3% cemento)	80
Tabla 59	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3 (4% cemento)	81
Tabla 60	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3 (5% cemento)	81
Tabla 61	Proctor modificado del suelo de la calicata 3	82
Tabla 62	Proctor modificado del suelo de la calicata 3 (3% cemento).....	82
Tabla 63	Proctor modificado del suelo de la calicata 3 (4% cemento).....	83

Tabla 64	Proctor modificado del suelo de la calicata 3 (5% cemento).....	84
Tabla 65	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3	85
Tabla 66	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3 (3% cemento)	87
Tabla 67	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3 (4% cemento)	89
Tabla 68	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3 (5% cemento)	91
Tabla 69	Contenido de humedad del suelo de la calicata 4.....	93
Tabla 70	Análisis granulométrico del suelo de la calicata 4.....	93
Tabla 71	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4	94
Tabla 72	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4 (3% cemento)	94
Tabla 73	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4 (4% cemento)	95
Tabla 74	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4 (5% cemento)	95
Tabla 75	Proctor modificado del suelo de la calicata 4	96
Tabla 76	Proctor modificado del suelo de la calicata 4 (3% cemento).....	96
Tabla 77	Proctor modificado del suelo de la calicata 4 (4% cemento).....	97
Tabla 78	Proctor modificado del suelo de la calicata 4 (5% cemento).....	98
Tabla 79	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4	99
Tabla 80	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4 (3% cemento)	101
Tabla 81	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4 (4% cemento)	103
Tabla 82	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4 (5% cemento)	105
Tabla 83	Contenido de humedad del suelo de la calicata 5.....	107
Tabla 84	Análisis granulométrico del suelo de la calicata 5.....	107
Tabla 85	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5	108
Tabla 86	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5 (3% cemento)	108
Tabla 87	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5 (4% cemento)	109
Tabla 88	Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5 (5% cemento)	109
Tabla 89	Proctor modificado del suelo de la calicata 5.....	110
Tabla 90	Proctor modificado del suelo de la calicata 5 (3% cemento).....	110
Tabla 91	Proctor modificado del suelo de la calicata 5 (4% cemento).....	111
Tabla 92	Proctor modificado del suelo de la calicata 5 (5% cemento).....	112
Tabla 93	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5	113
Tabla 94	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5 (3% cemento)	115
Tabla 95	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5 (4% cemento)	117
Tabla 96	Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5 (5% cemento)	119
Tabla 97	Contenido de humedad del suelo de la calicata 6.....	121

Tabla 98 Análisis granulométrico del suelo de la calicata 6.....	121
Tabla 99 Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6	122
Tabla 100 Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6 (3% cemento)	122
Tabla 101 Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6 (4% cemento)	123
Tabla 102 Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6 (5% cemento)	123
Tabla 103 Proctor modificado del suelo de la calicata 6	124
Tabla 104 Proctor modificado del suelo de la calicata 6 (3% cemento).....	124
Tabla 105 Proctor modificado del suelo de la calicata 6 (4% cemento).....	125
Tabla 106 Proctor modificado del suelo de la calicata 6 (5% cemento).....	126
Tabla 107 Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6	127
Tabla 108 Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6 (3% cemento)	129
Tabla 109 Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6 (4% cemento)	131
Tabla 110 Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6 (5% cemento)	133
Tabla 111 Estudio de tráfico de la carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Variación del índice de plasticidad del suelo producto del tratamiento con cemento	36
Figura 2 Variación de la máxima densidad seca del suelo producto del tratamiento con cemento.....	39
Figura 3 Variación del óptimo contenido de humedad del suelo producto del tratamiento con cemento.....	39
Figura 4 Variación del índice de CBR del suelo producto del tratamiento con cemento	42
Figura 5 Variación del hinchamiento del suelo producto del tratamiento con cemento	42
Figura 6 Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 1	48
Figura 7 Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 2.....	48
Figura 8 Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 3.....	48
Figura 9 Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 4.....	49
Figura 10 Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 5.....	49
Figura 11 Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 6.....	49
Figura 12 Curva granulométrica del suelo de la calicata 1	50
Figura 13 Límite líquido del suelo de la calicata 1	52
Figura 14 Límite líquido del suelo de la calicata 1 con adición de 3% de cemento	52
Figura 15 Límite líquido del suelo de la calicata 1 con adición de 4% de cemento	53
Figura 16 Límite líquido del suelo de la calicata 1 con adición de 5% de cemento	53
Figura 17 Curva de compactación del suelo de la calicata 1.....	54
Figura 18 Curva de compactación del suelo de la calicata 1 con adición de 3% de cemento	55
Figura 19 Curva de compactación del suelo de la calicata 1 con adición de 4% de cemento	55
Figura 20 Curva de compactación del suelo de la calicata 1 con adición de 5% de cemento	56
Figura 21 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1	58

Figura 22 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 1	58
Figura 23 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1 (3% cemento).....	60
Figura 24 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR–densidad seca del suelo de la calicata 1 (3% cemento)	60
Figura 25 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1 (4% cemento).....	62
Figura 26 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 1 (4% cemento)	62
Figura 27 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1 (5% cemento).....	64
Figura 28 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 1 (5% cemento)	64
Figura 29 Curva granulométrica del suelo de la calicata 2	65
Figura 30 Límite líquido del suelo de la calicata 2.....	66
Figura 31 Límite líquido del suelo de la calicata 2 con adición de 3% de cemento	66
Figura 32 Límite líquido del suelo de la calicata 2 con adición de 4% de cemento	67
Figura 33 Límite líquido del suelo de la calicata 2 con adición de 5% de cemento	67
Figura 34 Curva de compactación del suelo de la calicata 2.....	68
Figura 35 Curva de compactación del suelo de la calicata 2 con adición de 3% de cemento	69
Figura 36 Curva de compactación del suelo de la calicata 2 con adición de 4% de cemento	69
Figura 37 Curva de compactación del suelo de la calicata 2 con adición de 5% de cemento	70
Figura 38 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2.....	72
Figura 39 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2	72
Figura 40 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2 (3% cemento)	74

Figura 41 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2 (3% cemento)	74
Figura 42 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2 (4% cemento)	76
Figura 43 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2 (4% cemento)	76
Figura 44 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2 (5% cemento).	78
Figura 45 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2 (5% cemento)	78
Figura 46 Curva granulométrica del suelo de la calicata 3	79
Figura 47 Límite líquido del suelo de la calicata 3	80
Figura 48 Límite líquido del suelo de la calicata 3 con adición de 3% de cemento.	80
Figura 49 Límite líquido del suelo de la calicata 3 con adición de 4% de cemento	81
Figura 50 Límite líquido del suelo de la calicata 3 con adición de 5% de cemento	81
Figura 51 Curva de compactación del suelo de la calicata 3	82
Figura 52 Curva de compactación del suelo de la calicata 3 con adición de 3% de cemento.....	83
Figura 53 Curva de compactación del suelo de la calicata 3 con adición de 4% de cemento	83
Figura 54 Curva de compactación del suelo de la calicata 3 con adición de 5% de cemento	84
Figura 55 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3.....	86
Figura 56 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3	86
Figura 57 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3 (3% cemento)	88
Figura 58 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3 (3% cemento)	88
Figura 59 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3 (4% cemento)	90

Figura 60 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3 (4% cemento)	90
Figura 61 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3 (5% cemento)	92
Figura 62 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3 (5% cemento)	92
Figura 63 Curva granulométrica del suelo de la calicata 4	93
Figura 64 Límite líquido del suelo de la calicata 4	94
Figura 65 Límite líquido del suelo de la calicata 4 con adición de 3% de cemento	94
Figura 66 Límite líquido del suelo de la calicata 4 con adición de 4% de cemento	95
Figura 67 Límite líquido del suelo de la calicata 4 con adición de 5% de cemento	95
Figura 68 Curva de compactación del suelo de la calicata 4	96
Figura 69 Curva de compactación del suelo de la calicata 4 con adición de 3% de cemento	97
Figura 70 Curva de compactación del suelo de la calicata 4 con adición de 4% de cemento	97
Figura 71 Curva de compactación del suelo de la calicata 4 con adición de 5% de cemento	98
Figura 72 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 4	100
Figura 73 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4	100
Figura 74 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 4 (3% cemento)	102
Figura 75 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4 (3% cemento)	102
Figura 76 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 4 (4% cemento)	104
Figura 77 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4 (4% cemento)	104

Figura 78 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 4 (5% cemento)	106
Figura 79 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4 (5% cemento)	106
Figura 80 Curva granulométrica del suelo de la calicata 5	107
Figura 81 Límite líquido del suelo de la calicata 5	108
Figura 82 Límite líquido del suelo de la calicata 5 con adición de 3% de cemento	108
Figura 83 Límite líquido del suelo de la calicata 5 con adición de 4% de cemento	109
Figura 84 Límite líquido del suelo de la calicata 5 con adición de 5% de cemento	109
Figura 85 Curva de compactación del suelo de la calicata 5	110
Figura 86 Curva de compactación del suelo de la calicata 5 con adición de 3% de cemento	111
Figura 87 Curva de compactación del suelo de la calicata 5 con adición de 4% de cemento	111
Figura 88 Curva de compactación del suelo de la calicata 5 con adición de 5% de cemento	112
Figura 89 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5... ..	114
Figura 90 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5	114
Figura 91 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5 (3% cemento)	116
Figura 92 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5 (3% cemento)	116
Figura 93 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5 (4% cemento)	118
Figura 94 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5 (4% cemento)	118
Figura 95 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5 (5% cemento)	120
Figura 96 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y curva CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5 (5% cemento)	120

Figura 97 Curva granulométrica del suelo de la calicata 6	121
Figura 98 Límite líquido del suelo de la calicata 6	122
Figura 99 Límite líquido del suelo de la calicata 6 con adición de 3% de cemento	122
Figura 100 Límite líquido del suelo de la calicata 6 con adición de 4% de cemento	123
Figura 101 Límite líquido del suelo de la calicata 6 con adición de 5% de cemento	123
Figura 102 Curva de compactación del suelo de la calicata 6	124
Figura 103 Curva de compactación del suelo de la calicata 6 con adición de 3% de cemento	125
Figura 104 Curva de compactación del suelo de la calicata 6 con adición de 4% de cemento	125
Figura 105 Curva de compactación del suelo de la calicata 6 con adición de 5% de cemento	126
Figura 106 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6.	128
Figura 107 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6	128
Figura 108 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6 (3% cemento)	130
Figura 109 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6 (3% cemento)	130
Figura 110 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6 (4% cemento)	132
Figura 111 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6 (4% cemento)	132
Figura 112 Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6 (5% cemento)	134
Figura 113 Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6 (5% cemento)	134
Figura 114 Excavación de la calicata 1 y calicata 2	136
Figura 115 Excavación de la calicata 3 y calicata 4	136
Figura 116 Excavación de la calicata 5 y calicata 6	136
Figura 117 Tamizado (CA-6/M-6) y lavado (CA3/M-3) - análisis granulométrico	137

Figura 118 Límite líquido del suelo de la CA-5/M-5 y, límite plástico del suelo de la calicata CA-3/M-3 con adición de 5% de cemento Portland Tipo I.....	137
Figura 119 Compactación - ensayo proctor modificado suelo de la CA-5/M-5..	138
Figura 120 Mezcla del suelo de la CA-6/M-6 con 3% de cemento Portland Tipo I, ensayo proctor modificado	138
Figura 121 CBR del suelo (CA-2/M-2) con 5% de cemento Portland Tipo I y, mezcla de suelo (CA-6/M-6) con adición de 4% de cemento Portland Tipo I.....	139
Figura 122 Saturación de muestra del suelo de la CA-4/M-4 (5% de cemento) y CA-5/M-5 (5% de cemento); respectivamente, para determinar el hinchamiento	139
Figura 123 Penetración - CBR del suelo de la CA-3/M-3 (3% cemento Portland Tipo I) y, CBR suelo CA-5/M-5 (4% cemento Portland Tipo I)	140
Figura 124 Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante en época de lluvias	140
Figura 125 Certificado otorgado por el laboratorio GEOCON VIAL.....	141
Figura 126 Conteo vehicular en la carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante.....	142
Figura 127 Levantamiento topográfico de la carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante	142
Figura 128 Bolsa del cemento Portland Tipo I usado en ensayos.....	142

RESUMEN

Los suelos de baja calidad que conforman la subrasante en una obra vial, conllevan a daños a la estructura de pavimento o afirmado, generando pérdidas económicas elevadas. La carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, se encuentra en un estado crítico, por la presencia de suelos arcillosos en la subrasante. Estos suelos presentan propiedades de baja resistencia y, se ha producido el deterioro rápido de la capa de afirmado y el origen de ahuellamientos con profundidad por debajo del nivel de subrasante, generando incomodidad en los pobladores de la zona por la dificultad y aumento del costo de transporte de sus productos; es por ello que, en esta investigación se analiza el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del suelo de subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante con la adición de cemento Portland Tipo I. A lo largo de la carretera, se extrajeron seis muestras de suelo que, según la clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) son suelos de tipo A-7-6 y A-6 y, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) son suelos de tipo CL y CH, estos suelos presentan valores de índice de plasticidad entre 17 y 41%, valores de máxima densidad entre 1.595 y 1.712gr/cm³ y valores de CBR entre 1.95 y 5.07%, con la adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I respecto al peso seco de la muestra de suelo, redujo el índice de plasticidad a valores entre 1 y 29%, incrementó la máxima densidad seca a valores entre 1.724 y 1.884gr/cm³ e incrementó el índice de CBR a valores entre 12.05 y 33.70%. Se concluye que la adición de cemento Portland Tipo I reduce el índice de plasticidad e incrementa la máxima densidad seca y el índice de CBR del suelo.

Palabras clave: cemento, suelo arcilloso, subrasante, carretera, índice de plasticidad, máxima densidad seca, índice de CBR.

ABSTRACT

The low quality soils that make up the subgrade in a road work, leads to damage to the pavement or cement structure, generating high economic losses. The road between the town of Shumbana and the hamlet of El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, is in a critical condition, due to the presence of clayey soils in the subgrade. These soils have low resistance properties and there has been rapid deterioration of the firming layer and the origin of ruts with depth below the subgrade level, causing discomfort to the inhabitants of the area due to the difficulty and increased cost of transporting their products; for this reason, this research analyzes the improvement of the physical-mechanical properties of the subgrade soil of the road between the Shumbana population center and the El Diamante hamlet with the addition of Portland cement Type I. Along the road, six soil samples were extracted, which according to the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) classification are A-7-6 and A-6 type soils and, according to the Unified Soil Classification System (SUCS) are CL and CH type soils, these soils present plasticity index values between 17 and 41%, maximum density values between 1.595 and 1.712gr/cm³ and CBR values between 1.95 and 5.07%, with the addition of up to 5% Portland cement Type I with respect to the dry weight of the soil sample, reduced the plasticity index to values between 1 and 29%, increased the maximum dry density to values between 1.724 and 1.884gr/cm³ and increased the CBR index to values between 12.05 and 33.70%. It is concluded that the addition of Portland cement Type I reduces the plasticity index and increases the maximum dry density and the CBR index of the soil.

Key words: cement, clayey soil, subgrade, road, plasticity index, maximum dry density, CBR index.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En los Estados Unidos, los daños producidos a las estructuras por suelos arcillosos expansivos han generado pérdidas que alcanzan cifras de más de 1 billón de dólares al año; pues, el suelo como elemento portante, juega un papel determinante en las cimentaciones, de sus propiedades depende en gran medida la estabilidad de las estructuras. Las cargas se transmiten a través de la cimentación, esto hace que se generen tensiones y deformaciones que, conlleva a daños severos en los elementos estructurales construidos. Generalmente, en construcción de obras viales, el suelo existente no cumple con los requisitos de diseño y por lo tanto es necesario realizar la estabilización para proporcionar a la obra un material mejorado. El cemento Portland es uno de los materiales más utilizados en el sector construcción en diferentes aplicaciones; entre estas, en la estabilización química de suelos con resultados exitosos en mejorar sus propiedades (Rivera et al., 2020).

En nuestro país, debido a la diversidad de sus suelos, hay zonas bastante inestables, con presencia de suelos arcillosos de baja calidad a nivel de cimentación, que permiten daños al pavimento o afirmado construido y como consecuencia de ello pérdidas económicas elevadas; es por ello que, se hace necesario realizar de forma previa, la estabilización de la subrasante y mejorar sus propiedades para resistir a los esfuerzos generados por la carga aplicada. En el Perú, el empleo de materiales cementantes como el cemento Portland se ha normalizado ampliándose su tratamiento no solo en mejorar las subrasantes, sino también en los componentes base y sub - base de pavimentos o afirmados, con resultados satisfactorios (Cuzco, 2019).

En construcción de obras viales es importante conocer la calidad del suelo existente y en base a ello procurar la conformación de una subrasante con propiedades resistentes a los esfuerzos provenientes del tránsito vehicular y a las condiciones adversas del propio ambiente en el que se va a situar la estructura de pavimento o afirmado.

La subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, está conformado por suelos arcillosos de baja calidad, esto mismo ha generado el deterioro rápido de la capa de afirmado

presentando ahuellamientos que cada vez se van profundizando hasta niveles inferiores de la subrasante; añadiendo a esto, los ahuellamientos existentes permiten la acumulación de agua que al contacto con el suelo arcilloso, se genera una masa pegajosa que se adhiere fácilmente a los neumáticos de los vehículos afectando el tránsito vehicular. Los pobladores del caserío El Diamante y pueblos aledaños se encuentran afectados por esta situación; puesto que, utilizan esta carretera diariamente para dirigirse a sus chacras a cultivar las diferentes plantaciones sembradas y para transportar sus productos agrícolas para la venta hasta el distrito de Santa Rosa o provincia de Jaén; principalmente, del café que es el producto que les genera más ingresos.

Existen diversos métodos que se pueden utilizar para estabilizar suelos de baja calidad, en esta investigación se ha creído conveniente usar el cemento Portland Tipo I para mejorar las propiedades del suelo de la subrasante de la carretera en estudio; porque, es un material fácil de conseguir en la zona de intervención en comparación a otros materiales estabilizadores, de fácil aplicación en campo y es un material común que se utiliza desde años atrás como estabilizador y con resultados satisfactorios.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del cemento portland tipo I en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el Caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, 2023?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La adición del cemento portland tipo I mejora las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el Caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, 2023.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Los tipos de suelos que conforman la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el Caserío El Diamante, se clasifican como suelos arcillosos mediante los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO.

- La adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I al suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el Caserío El Diamante, reduce el índice de plasticidad a menos de 7% (plasticidad baja según la Tabla 2).
- La adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I al suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, incrementa la máxima densidad seca e incrementa el índice de CBR a 10% o más (subrasante buena según la Tabla 3).

1.4. Variables

- **Variable independiente.** Porcentaje de Cemento Portland Tipo I.
- **Variables dependientes.** Propiedades físico mecánicas del suelo.

1.5. Justificación de la investigación

Esta investigación se justifica en la importancia de conocer una alternativa de solución a problemas que se presentan en construcción de obras viales por la presencia de suelos de baja calidad a nivel de subrasante. Específicamente, en este estudio se ha creído conveniente evaluar los cambios en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante con la adición de cemento Portland Tipo I respecto al peso seco de la muestra de suelo, con la finalidad de reducir el espesor y evitar el deterioro rápido de la capa de afirmado que se asiente sobre la subrasante; y de esa manera, mejorar la calidad de vida de los usuarios.

1.6. Alcances y delimitaciones de la investigación

1.6.1. Alcances

La presente investigación se aplica a los suelos arcillosos de la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el Caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, o a suelos con propiedades similares en otros proyectos viales.

1.6.2. Delimitaciones

- Suelos arcillosos.

- Porcentajes de 3%, 4% y 5% de cemento Portland Tipo I.
- Límite líquido, límite plástico, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad e índice de CBR.

1.7. Limitaciones

- No se realizaron los ensayos de granulometría y contenido de humedad con adición de porcentajes de cemento Portland Tipo I.
- No se ha realizado ensayos para determinar la composición química del suelo.
- No se ha realizado ensayos para determinar la composición orgánica del suelo.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

Determinar la influencia del cemento portland tipo I en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el Caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, 2023.

1.8.2. Objetivos específicos

- Clasificar el suelo mediante los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO.
- Determinar el índice de plasticidad del suelo, sin la adición y con la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 3, 4 y 5% respecto al peso seco de la muestra.
- Determinar la máxima densidad seca y el índice de CBR del suelo, sin la adición y con la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 3, 4 y 5% respecto al peso seco de la muestra.

1.9. Descripción del contenido de capítulos

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN: Planteamiento y formulación del problema, variables, hipótesis, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos de la investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO: Antecedentes teóricos, bases teóricas en las cuáles de basa la investigación y, definición de términos básicos.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS: Ubicación política y geográfica de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, descripción del proceso de investigación, identificación de la población, muestra y unidad de análisis, determinación el tipo, nivel, método y diseño de la investigación.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS: Presentación, descripción y explicación de los resultados más importantes, discusión de los resultados en el orden de los objetivos planteados con las bases teóricas y antecedentes de la investigación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: Mención de las conclusiones más importantes a la que se ha llegado con el desarrollo de la investigación y recomendación para realizar actividades importantes que por diferentes motivos no se incluyeron en el desarrollo y que deberían realizarse para mejorar el aporte de la investigación.

ANEXOS

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes internacionales

Celi et al. (2023), desarrollaron un estudio “Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo”. Los resultados señalan que para un suelo de tipo CL según el sistema de clasificación SUCS y A-7-5 según el sistema de clasificación AASHTO, la adición del 3% y 6% de cemento al suelo, reduce el índice de plasticidad de 17 a 13 y 10%; respectivamente, no genera grandes cambios en lo que respecta a la máxima densidad seca y aumenta el índice de CBR al 95%MDS de 1.89 a 8.2 y 51%; respectivamente. De esa manera concluyen que, la adición de 3% de cemento, es el porcentaje óptimo para lograr la estabilización del suelo de subrasante en obras del cantón Portoviejo.

Gavilanes (2015), desarrolló un estudio “Estabilización y mejoramiento de subrasante mediante cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur”. Los resultados muestran que para un suelo de tipo A-6 según AASHTO y ML según SUCS, la adición de 2%, 4%, 6% y 8% de cemento, reduce su índice de plasticidad de 11% a 4, 1, 3 y 4%. De esa manera concluye que, el porcentaje óptimo recomendado de cemento es de 4%; ya que, permite la mayor reducción del índice de plasticidad.

Hidalgo (2016), desarrolla un estudio “Análisis comparativo de los procesos de estabilización de suelo con suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de subrasante, Ambato, Ecuador, 2016”. Los resultados muestran que para una muestra de suelo de tipo CH según SUCS, la adición de 5 y 10% de cemento, reduce el índice de plasticidad del suelo 19.33 a 16.97 y 14.52%, respectivamente y, aumentan el índice de CBR del suelo de 2.05 a 5.37 y 7.65%, respectivamente. Concluyendo de esa manera que, la adición de hasta 10% de cemento, no reduce de manera significativa la plasticidad del suelo; tampoco aumenta el índice de CBR en porcentajes considerables.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Cuzco (2019), en su tesis “Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de

Carabayllo, 2019”, determina que para un suelo de tipo ML, la adición de 1% de cemento aumenta la máxima densidad seca de 1.804 gr/cm³ a 1.865 gr/cm³, el índice de CBR al 95%MDS aumenta de 4.9% a 20.70%. De esa manera concluye que, la adición de cemento Portland Tipo I aumenta la máxima densidad seca e índice de CBR, y que la adición del 1% de cemento es el porcentaje óptimo como para mejorar el suelo y lograr una subrasante muy buena.

Castro y Navarro (2020), en su tesis “Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco”, determinan que para un suelo de tipo CH según el sistema SUCS y A-7-6 (45) según el sistema AASHTO, la aplicación de 10%, 15% y 20% aumentó el índice de CBR al 95%MDS, pasando de 2.60 a 105.90, 108.00 y 138.70%, respectivamente; esto significa que la adición del 10% de cemento Portland Tipo I es suficiente como para lograr una subrasante excelente. Con ello concluyen que, la adición del 10% de cemento es suficiente para lograr CBR que clasifique a la subrasante como “subrasante excelente”.

Ramírez y Guerra (2021), en su tesis “Estabilización de la subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el distrito de Morales, provincia y región San Martín – 2020”, determinan que para un suelo de tipo tipo CL según la clasificación SUCS y A-6 (11) según la clasificación AASHTO, la adición de cemento Portland Tipo I en porcentaje de 4%, 8% y 12% con respecto al peso seco de la muestra, reduce el índice de plasticidad de 9.60 a 8.10, 5.70 y 1.15%; respectivamente, aumenta la máxima densidad seca de 1.890 a 1.920, 1.955 y 2.2 gr/cm³; respectivamente y aumenta el índice de CBR al 95%MDS de 4.00 a 7.70, 13.90 y 22.50%, respectivamente. De esa manera concluyen que, la adición de cemento en porcentaje de 8%, permite resultados favorables en el proceso de estabilización.

2.1.3. Antecedentes locales

Velásquez (2018), en su tesis “Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina”, determina que para un suelo de tipo OH según la clasificación SUCS y A-7-6 (37) según la clasificación AASHTO, la adición de 1, 3 y 5% de cemento

Portland Tipo I, reduce el índice de plasticidad de 44% a 36, 23 y 15% respectivamente, aumenta la máxima densidad seca de 1.615gr/cm³ a 1.680, 1.708 y 1.735gr/cm³, respectivamente, aumenta el índice de CBR al 95%MDS de 1.30% a 3.50, 6.63 y 13.75%, respectivamente. De esa manera concluye que, la adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I, no es suficiente para obtener suelo de plasticidad baja; pero, con solo la adición de 4% de cemento se obtiene CBR que clasifica a la subrasante como “subrasante buena”.

Becerra y Calderón (2022), en su tesis “Influencia del cemento Portland Tipo I en la capacidad soporte (CBR) de la subrasante de la avenida Arana Vidal sector la colina, Jaén 2021”, determinan que para un suelo de tipo CL según la clasificación SUCS y A-7-5 (10) según la clasificación AASHTO, la adición de 4, 6 y 8% de cemento, aumenta la máxima densidad seca de 1.581gr/cm³ a 1.805, 1.828 y 1.876gr/cm³; respectivamente, aumenta el índice de CBR al 95%MDS de 2.82% a 9.35, 12.55 y 17.54%, respectivamente. De esa manera concluyen que, la adición del 8% de cemento Tipo I genera un mejor comportamiento en la muestra de suelo.

Estrada y Pintado (2019), en su tesis “Capacidad portante (CBR) del suelo del sector 9 de Cajamarca, incorporando 2, 4 y 6% de cal hidratada, 4, 6 y 8% de cemento Portland Tipo I y 4%, 8% y 12% de cloruro de sodio”, determinan que para un suelo de tipo CL según la clasificación SUCS y como A-6 (7) según la clasificación AASHTO, la adición del 4, 6 y 8% de cemento Portland Tipo I aumenta la máxima densidad seca de 2.296gr/cm³ a 2.319, 2.335 y 2.350gr/cm³; respectivamente, aumenta el índice de CBR al 95%MDS de 4.60%, a 7, 7.70 y 7.70% respectivamente. De esa manera concluyen que, el uso del cemento Portland Tipo I no genera cambios significativos; puesto que, la adición de hasta 8% de cemento Portland Tipo I no aumenta significativamente el índice de CBR.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo

García (2019), define al suelo como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos. El suelo contiene una amplia variedad de materiales tales como la grava, mezclas arcillosas depositadas por glaciares, arenas aluviales, limos y arcillas de los depósitos aluviales de los ríos.

Rivera et al. (2020), definen al suelo como una capa sobre la corteza terrestre de partículas minerales no consolidadas, formado por la fase sólida, líquida y gaseosa, sobre la que se realizan gran variedad de obras ingenieriles y donde se asientan estructuras de gran peso.

2.2.2. Propiedades físico-mecánicas de los suelos.

Las propiedades físicas de los suelos son características medibles que describen al suelo por su estado físico y la proporción de sus componentes, dentro de estas propiedades está el color, olor, consistencia, permeabilidad, porosidad, textura, distribución de partículas, entre otras (Rodríguez, 2021).

Las propiedades mecánicas son aquellas que identifican a los suelos según el comportamiento que tienen ante las fuerzas aplicadas, dentro de estas propiedades está la máxima densidad seca (para controlar la compactación del suelo), el índice de CBR (para determinar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo), entre otras (Rodríguez, 2021).

2.2.3. Análisis granulométrico del suelo

La ASTM en su designación D 422 – 07 (método de ensayo estándar para el análisis granulométrico), define el análisis granulométrico como una práctica realizada para determinar en forma cuantitativa la distribución de los tamaños de partículas que conforman al suelo.

El MTC (2014) indica que, la granulometría de los suelos tiene por finalidad calcular las cantidades de las partículas que lo constituyen mediante un proceso de tamizado por diferentes mallas y así poder clasificarlos como gravas, arenas y material fino (limos y arcillas).

Tabla 1

Clasificación de los suelos según tamaño de partículas

Tipo de material		Tamaño de partículas
Grava		75mm - 4.75mm
Arena		Arena gruesa: 4.75mm - 2mm
		Arena media: 2mm - 0.425mm
		Arena fina: 0.425mm - 0.075mm
Material fino	Limo	0.075mm - 0.005
	Arcilla	Menor a 0.005

Fuente. MTC 2014:33.

2.2.4. Límite líquido y límite plástico de los suelos

Para el MTC (2014), el comportamiento que tienen los suelos cuando son afectados por diversos contenidos de agua en su composición, lo determinan los Límites de Atterberg. Estos límites son determinados a partir de material cuyas partículas tienen tamaños que no superan a 0.425mm (malla No. 40).

Límite líquido (LL). Es el contenido de humedad, por debajo del cual el suelo tiene un comportamiento plástico; es decir, es moldeable sin agrietarse o desmoronarse, donde el suelo pasa del estado líquido a un estado plástico (Rodríguez, 2019).

Límite plástico (LP). Es el contenido de humedad, por debajo del cual el suelo deja de tener un comportamiento plástico; es decir, puede moldearse fácilmente y empieza a endurecerse y fisurarse debido a que va perdiendo humedad, donde el suelo pasa del estado plástico al estado semisólido (Rodríguez, 2019).

2.2.5. Índice de plasticidad

El MTC (2014) define al índice de plasticidad como la diferencia entre el límite líquido (LL) con el límite plástico (LP) y, este valor nos hace referencia al rango de humedades en el que un suelo tiene un comportamiento plástico; es decir, puede ser moldeado sin romperse o fracturarse.

$$IP = LL - LP \quad \dots \quad (1)$$

Donde, *IP* es el índice de plasticidad del suelo, *LL* es el límite líquido del suelo y, *LP* es el límite plástico del suelo.

Para el MTC (2014), la plasticidad depende de la cantidad de finos que presentan los suelos en su composición, para un valor elevado de índice de plasticidad del suelo, es porque el contenido de arcilla en su composición es elevado; en cambio, para un valor bajo de índice de plasticidad del suelo, es porque el contenido de arcilla en su composición se encuentra en menores cantidades. Este concepto anterior lo plasma en la Tabla 2 con valores de plasticidad, nivel de plasticidad y características en función al contenido de arcilla.

Tabla 2

Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
7 < IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente. MTC 2014:34

2.2.6. Máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad

La máxima densidad seca es el máximo valor que se define en la curva denominada “curva de compactación” (curva humedad – densidad), esto representa la máxima cantidad de masa por unidad de volumen; así mismo, el contenido de humedad óptimo es la cantidad de agua que necesita un suelo para que éste llegue a su máxima densidad seca, ambos parámetros obtenidos a partir del ensayo Proctor (estándar y modificado) realizados en laboratorio (Quijano y Melo, 2020).

Según el MTC (2014), la máxima densidad seca es importante para determinar el nivel de compactación del suelo, la densidad determinada en campo mediante ensayos (ensayo reemplazo por agua, cono de arena, densímetro nuclear, etc), se divide con el valor de la máxima densidad seca del suelo obtenido en laboratorio y eso multiplicado por 100% se obtiene el grado de compactación; de esa manera, se verifica que las explanadas, rasantes, bases, subbases, entre otros, estén compactados de acuerdo a especificaciones requeridas.

2.2.7. Índice de CBR de los suelos

La ASTM en su designación D 1883 – 21 (método de prueba estándar para Relación de Rodamientos de California de suelos compactados en laboratorio), hace referencia al índice de CBR como a la relación entre la carga que se necesita para penetrar 0.1” y 0.2” del material a prueba y la carga requerida para penetrar un material estándar de triturado bien clasificado.

Para Ramírez e Hincapié (2018), el índice de CBR (California Bearing Ratio o Relación de Rodamiento California), es el parámetro de suelo importante para el

diseño de pavimentos o afirmados, mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo de subrasantes, bases, subbases o afirmados, se usa en control de calidad de obras viales y es un parámetro importante que, si nos referimos a temas de diseño, influye mucho para determinar el espesor de pavimentos o afirmados a construir.

El MTC (2014), categoriza a la subrasante según su índice de CBR; además, recomienda que para asignar una categoría según la Tabla 3, los suelos debajo del nivel superior de la subrasante tienen que tener un espesor mínimo de 0.60 m del material correspondiente a la categoría asignada; de lo contrario, se le asignará a la categoría inmediata inferior.

Tabla 3

Categorías de subrasante según su índice de CBR

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30%

Fuente. MTC 2014: 42

2.2.8. Estudio de tráfico

El manual de carreteras: Diseño geométrico (2018), hace referencia al estudio de tráfico como un conjunto de pasos a seguir para determinar las cantidades y tipos de vehículos que transitan por una determinada vía, proporciona conceptos fundamentales relacionados al índice medio diario semanal, factor de corrección e índice medio diario anual y la manera de cómo poder determinarlos.

2.2.8.1. Índice medio diario semanal (IMDS)

El índice medio diario anual (IMDS) es la cantidad promedio de todos los vehículos que transitan diariamente por una vía y contados en una determinada sección durante los 7 días de una semana y separando equipos livianos y equipos pesados. Su conocimiento permite determinar el índice medio diario anual (MTC, 2018)

$$IMDS = \frac{L}{7} \quad \dots \quad (2)$$

Donde, *IMDS* es el índice medio diario semanal en $\frac{veh}{día}$, *L* es la sumatoria de los vehículos durante una semana en $\frac{veh}{día}$.

2.2.8.2. Factor de corrección (FC)

El Factor de corrección es un valor numérico requerido para expandir la muestra del flujo vehicular semanal realizado a un comportamiento analizado del tránsito. Elimina el factor de estacionalidad que afecta al movimiento de carga y pasajeros (MTC, 2018).

2.2.8.3. Índice medio diario anual (IMDA)

El índice medio diario anual (IMDA) es el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año en una sección dada de la vía. Su conocimiento permite clasificar a una carretera según su demanda (MTC, 2018).

$$IMDA = IMDS * FC \quad \dots \quad (3)$$

Donde, *IMDA* es el índice medio diario anual en $\frac{veh}{día}$ y, *FC* es el factor de corrección.

2.2.9. Levantamiento topográfico

El Manual de carreteras: DG (2018) resalta la importancia del levantamiento topográfico dentro del estudio y antes, durante y después de la ejecución de proyectos viales, indicando que dentro de dichos proyectos es importante contar con información planimétrica, altimétrica, planos topográficos que permiten representar la información tomada en campo y conocer más a detalle las condiciones de la superficie a intervenir.

Dentro de las consideraciones a tener en cuenta para un levantamiento topográfico es importante reconocer el área de trabajo, seleccionar el método de levantamiento, identificar los puntos estratégicos para ubicación de las estaciones; para luego proceder con las mediciones y registro de datos (MTC, 2018).

2.2.10. Clasificación de los suelos

2.2.10.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Según Borselli (2023), este sistema fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos. Después de algunas modificaciones se convirtió en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, más conocido como SUCS en 1952. Este sistema actualmente está estandarizado como la norma ASTM en su designación D 2487 - 17.

Tabla 4

Grupos de clasificación de suelos según el sistema unificado (SUCS)

Criterios de asignación de símbolos de grupos y nombres de grupos		Símbolos de grupo	Nombres de grupo		
SUELOS DE GRANO FINO, 50% o más del material pasa por el tamiz No. 200.	Inorgánicos	IP > 7 y puntos en por encima de la línea "A"	CL Arcilla magra		
		IP < 4 o puntos por debajo de la línea "A"	ML Légamo		
	Orgánicos	Límite líquido – secado en horno ≤ 0.75	OL	Arcilla orgánica	
		Límite líquido – no secado en horno		Limo orgánico	
	LIMOS Y ARCILLAS: Límite líquido mayor o igual a 50.	Inorgánicos	Gráficos de IP en o por encima de la línea "A"	CH Arcilla grasa	
			Gráficos de IP en o por encima de la línea "A"	MH Limo elástico	
		Orgánicos	Límite líquido – secado en horno ≤ 0.75	OH	Arcilla orgánica
			Límite líquido – no secado en horno		Limo orgánico

Fuente. ASTM D 2487 2017:3

2.2.10.2. Método AASHTO

Según Das (2012), el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO fue propuesto originalmente para el Highway Research Board's Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads (1945), actualmente es muy usado en la ingeniería de caminos, dicho sistema divide al suelo según su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad y, es de uso especial para manejo de subrasantes y terraplenes.

Tabla 5

Sistema de clasificación AASHTO

Clasificación general	Materiales finos (Más del 35% de la muestra total pasa la malla No. 200)				
	A-4	A-5	A-6	A-7	A-7 *
Clasificación de grupo					A-7-5 A-7-6
Análisis por tamices, porcentaje que pasa					
Malla No.10 (2.00mm)	-	-	-	-	
Malla No.40 (0.425mm)	-	-	-	-	
Malla No.200 (75 µm)	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín	
Características de la fracción que pasa el tamiz No.40					
Límite líquido (LL)	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	
Índice de plasticidad (IP)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	
Tipos usuales de materiales constitutivos significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calificación general como subrasante	Regular a malo				
* Si $IP \leq LL - 30$, la clasificación es A-7-5, si $IP > LL - 30$, la clasificación es A-7-6					

Fuente. AASHTO M 145 1991:2

Descripción de los grupos - materiales finos (AASHTO M 145-91)

Grupo A-4. Suelos limosos no plásticos o moderadamente plásticos que normalmente tiene un 75% o más que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200). Incluye también mezclas de suelo limoso fino y hasta un 64 % de arena y grava retenidas en un tamiz de 75 µm (No. 200).

Grupo A-5. Material similar al que se describe en el grupo A – 4, puede ser altamente elástico como es indicado por su alto límite líquido.

Grupo A-6. Suelo arcilloso plástico que usualmente tiene el 75 % o más que pasa el tamiz No. 200, con cambios volumétricos elevados entre el estado húmedo y el estado seco. Incluye mezclas de suelo fino arcilloso y hasta 64 % de arena y grava retenido en el tamiz No. 200.

Grupo A-7. Material similar al que se describe en el grupo A – 6, excepto que este tiene un elevado límite líquido y sujetos a altos cambios volumétricos.

Subgrupo A-7-5. Materiales con índice de plasticidad moderado en relación al límite líquido, los cuales pueden ser altamente elásticos, así como sujetos a considerables cambios volumétricos.

Subgrupo A-7-6. Materiales con alto índice de plasticidad en relación al límite líquido, con cambios de volumen extremadamente altos.

Índice de grupo (IG)

Das (2012), indica que el índice de grupo permite la evaluación cuantitativa de un suelo para subrasantes. A mayor valor de este índice, su desempeño como material de capa subrasante es menor. Un índice de grupo de 20 o mayor indica un material muy deficiente para utilizarlo como capa subrasante.

$$IG = (F_{200} - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F_{200} - 15) * (IP - 10) \quad \dots \quad (4)$$

Donde, F_{200} es el porcentaje que pasa el tamiz No.200 (entero), LL es el límite líquido del suelo y, IP es el índice de plasticidad del suelo.

Tabla 6

Condición del suelo de subrasante según su índice de grupo

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG mayor que 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy Bueno

Fuente. MTC 2014:35

2.2.11. Suelos arcillosos y minerales que lo constituyen

Para Zapata (2018), los suelos arcillosos son los que contienen en su composición gran porcentaje de partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a los 0.002mm, se caracterizan por ser altamente plásticos y cohesivos, presentan asentamientos diferenciados ante sobrecargas aplicadas, permiten incorporación de grandes cantidades de agua, son susceptibles a cambios de volumen (expansión y contracción); mientras que, la ASTM D 422 - 07 y el MTC (2014) consideran suelos arcillosos a los que contienen en su composición grandes cantidades de partículas menores a 0.005mm.

Mendez y Pineda (2012) resaltan la variación de los minerales presentes en los suelos arcillosos; indicando que, la propiedad de expansión de los suelos arcillosos recae esencialmente en la cantidad y tipo de minerales que componen, y en la química del agua del suelo que rodean a dichas partículas.

Tabla 7

Clasificación de las arcillas

GRUPO DE ARCILLAS	COMPOSICIÓN
Caolinitas (Caolinita, Nacrita, Anauxita)	Alto en magnesio, bajo en potasio
Zeolitas (Clinoptilolitas, Aragonitas)	Alto en calcio y/o sodio
Montmorillonitas (Esméctica, Bentonitas)	Alto en calcio y/o sodio
Micas - Hidratadas (Sepiolitas)	Alto en potasio, bajo en magnesio
Micas - No Hidratadas (Illitas, Cloritas)	Alto en magnesio, bajo en potasio

Fuente. Méndez y Pineda 2012:11

2.2.12. Suelos arcillosos expansivos

Según Méndez y Pineda (2012), los suelos expansivos tienen la capacidad de encogerse e hincharse bajo cambios en las condiciones de humedad. Los depósitos de suelo expansivo pueden variar desde materiales lacustres hasta los que aparentan ser rocas del tipo de lutita; además indica que, la expansividad de los suelos depende de la cantidad de minerales arcillosos que contienen en su composición, estos minerales de las arcillas que generalmente son la causa de los cambios de volumen son las montmorillonitas; principalmente, la montmorillonita.

Para Das (2012), los suelos arcillosos con límite líquido e índice de plasticidad mayores o iguales a 40 y 15; respectivamente, son críticos y, caracterizan a las

arcillas expansivas. Las cimentaciones construidas sobre estos suelos sufren grandes fuerzas de levantamiento ocasionadas por la expansión, produciendo levantamiento, agrietamientos y, rompimientos de las estructuras asentadas sobre dichos suelos.

El hinchamiento para bases no debe ser mayor a 1%, para subbases no debe ser mayor a 2% y, para subrasantes no debe ser mayor al 3% (Crespo, 2004).

2.2.13. Subrasante

El MTC (2014) denomina explanación a la subrasante y lo define como una superficie terminada de la carretera que se construye a partir trabajos de movimientos de tierras como corte y rellenos (terraplén), adecuada para soportar la estructura del pavimento o afirmado. Los últimos 30cm de suelo debajo de la subrasante deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo Proctor.

Arboleda (2020) define a la subrasante como el terreno de fundación que soporta el peso de los pavimentos o afirmados y de lo que transita sobre ella, su control para la capacidad de soporte se debe evaluar mediante ensayo de CBR.

Tabla 8

Consideraciones en una subrasante y en los suelos que lo conforman

Objetivos de una superficie de subrasante	Suelos no aptos para una superficie de subrasante
Superficie libre de irregularidades	Suelos de elevada plasticidad
Con pendiente para evacuar el agua de las precipitaciones.	Suelos con alto contenido de materia orgánica y suelos muy erosionables
El soporte del material de subrasante debe tenerlas condiciones para soportar cargas de estructura de pavimento o afirmado y cargas del tráfico.	Suelos evolutivos cuyas propiedades se degradan con el tiempo
	Suelos expansivos
	Suelos exageradamente heterogéneos (rellenos antrópicos)

Fuente. Ministerio de vivienda y urbanismo 2018:27-30

El MTC (2014) menciona que los suelos con una profundidad mínima de 0.60 m debajo del nivel de subrasante deben cumplir con un CBR \geq 6%; de lo contrario realizar la estabilización con el método más adecuado y adaptable al proyecto.

2.2.14. Cemento Portland

García (2019) define al cemento Portland como conglomerante hidráulico; es decir, un material inorgánico con partículas muy finas producto del proceso de molido que, al combinarlo con agua, genera una pasta que fragua y endurece por efectos de la hidratación y que una vez endurecido conserva su resistencia hasta cuando está bajo el agua.

Sanjuán y Chinchón (2014), el cemento Portland es un polvo finamente molido en cuya composición contiene silicatos y aluminatos de calcio que, al mezclarlo con el agua fragua y endurece a temperatura ambiente e incluso bajo el agua.

Tabla 9

Composición química de los cementos (% de masa)

Parámetro	Rango aproximado
Residuo insoluble	0.1 - 1.4
Óxido de calcio (Cao) - Cal	58.2 - 65.6
Sílice (SiO ₂)	19.8 - 26.45
Alúmina (Al ₂ O ₃)	4.1 - 9.5
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	2.1 - 4.5
Magnesia (MgO)	0.1 - 2.9
Álcalis (K ₂ O, Na ₂ O)	0.1 - 2.8
Sulfatos (SO ₃)	0.1 - 2.2
Pérdida de calcinación	0.2 - 2.8

Fuente. Sanjuán y Chinchón 2014:20

Según Sanjuán y Chinchón (2014), define los principales componentes del cemento portland, dentro de ellos el Clinker, que es el componente principal del cemento y se obtiene por sinterización de una mezcla de calizas, arcillas, arenas, compuestos de hierro principalmente; su composición química se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 10*Composición química del clinker (% de masa)*

Fase	Fórmula	Abreviatura	Rango
Silicato tricálcico (Alita)	3CaO SiO ₂	C3S	46-79
Silicato bicálcico (belita)	2CaO SiO ₂	C2S	5-30
Ferritoaluminato tetracálcico (felita)	4CaO (Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃)	C4(A, F)	4-16
Aluminato tricálcico (celita)	3CaO Al ₂ O ₃	C3A	6-18
Cal libre	CaO	C	0.1 - 4
Óxido de magnesio libre	MgO	M	0.7 - 1.5

Fuente. Sanjuán y Chinchón 2014:21

Para Yepes (2021), se estabilizan todo tipo de suelo con la adición de cemento, excepto suelos con alto contenido de plasticidad, en este caso, utilizar un tratamiento previo con el mismo cemento para mejorar la trabajabilidad del suelo. Además, no se pueden estabilizar con cemento los suelo con material vegetal u orgánica, o cualquier otra sustancia que perjudiquen el fraguado del cemento.

2.2.15. Hidratación del cemento

La hidratación del cemento portland es un proceso de naturaleza fisicoquímica compleja en el cual influyen factores propios del cemento portland (composición mineralógica, álcalis, sulfatos, finura, etc), de las condiciones de la mezcla (relación a/c, contenido unitario de cemento) y del ambiente (temperatura y humedad relativa) (Cyr et al. 2006, citado por Irassar et al. 2015).

La hidratación del cemento es el proceso mediante el cual este material, al mezclarse con el agua, reacciona y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante (Vega, 2021).

2.2.16. Cemento Portland Tipo I

Según Cementos Pacasmayo (2023), el cemento Portland Tipo I es de uso general por lo que se convierte en el cemento más usado hoy en día en ámbito de la construcción, dentro de sus atributos es que desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra; además, con un diseño correcto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

Tabla 11*Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C 150*

REQUISITOS QUÍMICOS				
Ensayos	Tipo	Valor	Unidad	Normas técnicas
MgO	Máximo	6	%	NTP 334.086
SO3	Máximo	3	%	NTP 334.086
Álcalis equivalentes	-	-	%	NTP 334.086
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086
REQUISITOS FÍSICOS				
Ensayos	Tipo	Valor	Unidad	Normas técnicas
Finura				
Superficie específica	Mínimo	2600	cm ² /g	NTP 334.002
Expansión en autoclave	Máximo	0.8	%	NTP 334.004
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048
Resistencia a la compresión				
3 días	Mínimo	12	Mpa	NTP 334.051
7 días	Mínimo	19	Mpa	NTP 334.051
28 días	Mínimo	28	Mpa	NTP 334.051
Tiempo de fraguado vicat				
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006

Fuente. Cementos Pacasmayo 2023.

2.2.17. Estabilización de suelos

El proceso de estabilización es mejorar las propiedades de los suelos, esto se logra de forma mecánica; es decir, mezclando suelos de dos o más gradaciones y, mediante el uso de diferentes tipos de mezcladores como la cal, el cemento, cenizas volantes, cenizas de cáscara de arroz, uso de Geo-textil y tejidos, uso de productos reciclados, también estabilización química, bituminosa, térmica, eléctrica (Afrin, 2019).

El objetivo principal de la estabilización de suelos es procurar facilitar un espacio de trabajo apto, reduciendo el contenido de agua, disminuyendo la plasticidad, aumentando la densidad (reducción de microporos de las arcillas), aumentando la resistencia y disminuyendo la sensibilidad al agua de los suelos que van a soportar el pavimento o afirmado y el peso al que están expuestos. Esto conlleva a mejorar

la subrasante y reducir espesores del pavimento que se va a asentar sobre la subrasante estabilizada (Pandey y Rabani, 2017).

El MTC (2014), destaca diversidad de métodos para estabilizar o mejorar los suelos cuyo espesor mínimo por debajo del nivel de subrasante se clasifique como subrasante pobre o inadecuada (CBR<6%).

Tabla 12

Métodos de estabilización de suelos

Métodos de estabilización o mejoramiento de suelos	Descripción
Mecánica	Proceso de compactación para reducir vacíos
Combinación de suelos	Mezcla de material existente con material de préstamo.
Sustitución de suelos	Eliminar el material inadecuado existente para rellenar y compactar por capas el material de préstamo.
Estabilización con cal	Mezcla del suelo existente con cal y agua. Principalmente mejora la plasticidad de los suelos.
Estabilización con cemento	Mezcla del suelo existente con cemento y agua.
Estabilización con escoria	Mezcla del suelo existente con escoria de acería u otros hornos de fundición existentes.
Estabilización con cloruro de sodio	Mezcla del suelo existente con sal.
Estabilización con cloruro de calcio	Mezcla del suelo existente con cloruro de calcio. Previene el desmoronamiento de la superficie y es paliativo del polvo.
Estabilización con cloruro de magnesio	Mezcla del suelo existente con cloruro en forma de cristales de color blanco. Incrementa la tensión superficial.
Estabilización con productos asfálticos	Mezcla del suelo existente con ligantes asfálticos.
Estabilización con geosintéticos	Uso de geomalla, geomembrana, geodren, etc. Permite el drenaje del agua; asimismo proporcionan resistencia a la tracción y mejora significativa en construcción de obras viales.

Fuente. MTC 2014: 94.

2.2.18. Mezclas de suelo - cemento

MTC (2014), mezcla de suelo desmenuzado o disgregado con cemento y agua que, compactada, curada y endurecida, es capaz de formar capas estables en los caminos. Las propiedades del suelo – cemento dependen de la cantidad de suelo, cemento y agua, de la ejecución y de la edad de la mezcla compactada y tipo de curado (MTC, 2014).

Yepes (2021), el cemento Portland actúa de tal manera que, al fraguar e hidratarse los silicatos y aluminatos cálcicos, envuelve partículas de suelo, esto permite reducir la sensibilidad de las partículas finas al agua, reduce los cambios volumétricos, reduce la capacidad de retención del agua, mejora la compactabilidad del suelo y, aumenta la capacidad de soporte, esto significando el incremento de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.

Por otra parte, el MTC (2013) recomienda que, el material para estabilizar con cemento esté libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración o fraguado de la mezcla. Además brinda las siguientes consideraciones:

Tabla 13

Consideraciones para la estabilización de suelos con cemento

Característica o propiedad del suelo	Recomendación
Granulometría	Que corresponda a suelos de tipo A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.
Plasticidad	Material pasante al tamiz No. 40 (límite líquido < 40 e índice de plasticidad < 18).
Composición química	La proporción de sulfatos (SO ₄), no exceder de 0.2% en peso.
Abrasión	Para capas estructurales, el desgaste a la abrasión del agregado grueso no mayor a 50%.
Solidez	Para capas estructurales y a una altura de trabajo ≥3000m.s.n.m. los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de magnesio superiores al 18% y en materiales finos superiores al 15%.

Fuente. MTC 2013: 247.

MTC (2013) considera que, los suelos tratados con cemento con fines viales, deben tener el límite líquido inferior a 40 e índice de plasticidad menor a 18 para obtener una estabilización económica, valores de índice de plasticidad superiores a 40, significan que el suelo tiene un elevado contenido de arcilla en su composición, reduciendo el efecto del cemento o necesitando mayores cantidades de cemento para reducir su plasticidad.

2.2.18.1. Cantidades para una mezcla suelo cemento

La cantidad de cemento para obtener una mezcla suelo - cemento está entre los 3% - 7% sobre la masa seca del suelo (Quintanilla 2007, citado por Velásquez, 2018).

El MTC (2014) muestra los rangos requeridos para una estabilización de suelo con cemento de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 14

Rango de cemento requerido en estabilización suelo cemento

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente. Federal Highway Administration (FHWA), citado por el MTC 2014:99.

2.2.18.2. Estructura y reacciones en las mezclas de suelo con cemento

La estructura de una mezcla de suelo con cemento, está formada por las aglomeraciones de las micropartículas de suelo representadas en un esqueleto reticular continuo que están interconectados producto de la distribución interna en forma de enrejado o esqueleto ramificado del material cementante y, la unión de estas aglomeraciones da lugar a formar un nuevo material estructural con

mejores propiedades de resistencia del suelo (Laguros 1962, citado por Velásquez 2018).

Reacción primaria, que consiste en la hidrólisis y la hidratación del cemento que se genera a partir de la mezcla cemento con la arcilla y que a partir de ello, aumenta el PH del agua intersticial y liberan cal; luego, se da una reacción secundaria, que consiste en la descomposición de la sílice amorfa y alúmina a partir del alto contenido de PH y por la cal liberada y que, al mezclarse con el calcio forma un material cementante secundario que permitirá aglomerar las partículas de arcilla floculada “que se genera al mezclarse la cal liberada con minerales de arcilla” (Mitchell y Herzog 1963, citado por Velásquez, 2018).

2.2.19. Cálculo de las cantidades de los materiales por m3 de mezcla

Tabla 15

Materiales por m3 de mezcla en suelo mejorado con cemento

Parámetros	Descripción
<i>Datos iniciales</i>	- Humedad natural del suelo ω_n .
	- Humedad óptima de la mezcla del suelo con el cemento ω_{op} .
	- Máxima densidad seca de la mezcla del suelo con el cemento MDS
	- Porcentaje de cemento del peso seco del suelo P_c .
<i>Agua adicional a la mezcla (A_{ad})</i>	$A_{ad} \left(\frac{lbs}{m^3} \right) = MDS \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \left(\omega_{op} - \frac{\omega_n}{1 + P_c} \right)$
<i>Cantidad de cemento (C_c)</i>	$C_c \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{MDS \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * P_c}{1 + P_c}$
<i>Cantidad de suelo seco (P_s)</i>	$P_s \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{MDS \left(\frac{Kg}{m^3} \right)}{1 + P_c}$
<i>$\omega_{op}, \omega_n, P_c$ en decimales</i>	

Fuente. Velásquez 2018: 60 - 61

2.2.20. Proceso de ejecución en campo de una mezcla de suelo y cemento

Yepes (2021) proporciona información precisa sobre las mezclas de suelo y cemento aplicadas en campo.

- Preparación del terreno donde se va a aplicar la mezcla del suelo con el cemento.
- Determinar las cantidades de cemento a utilizar.
- Escarificar el material de subrasante existente hasta una profundidad mínima de 20cm, para que después de compactado se obtenga un aproximado de 15 cm.
- Humedecer el suelo para aumentar su contenido de humedad o batir el suelo para reducir su contenido de humedad con agua hasta alcanzar una humedad de 4% o 5% por debajo de la humedad óptima del suelo obtenida en laboratorio.
- Mezclar el cemento con el suelo hasta alcanzar un material homogéneo.
- Continuar con la colocación del agua hasta alcanzar la humedad óptima.
- Nivelar con motoniveladora la superficie de la mezcla realizada y proceder con la compactación, hasta una densidad del 95 % respecto a la máxima densidad seca.

2.3. Definición de términos básicos

- **Cemento Portland Tipo I.** Tipo de cemento que se usa en construcción de obras de ingeniería en donde no se requieran propiedades especiales (Cementos Pacasmayo, 2023).
- **Suelo arcilloso.** Suelos que contienen en su composición gran porcentaje de partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a los 0.005mm (MTC 2014).
- **Propiedades físicas.** Son características medibles que describen al suelo por su estado físico y la proporción de sus componentes (Rodríguez, 2021).
- **Propiedades mecánicas del suelo.** Son aquellas que identifican a los suelos según el comportamiento que tienen ante las fuerzas aplicadas (Rodríguez, 2021).
- **Índice de plasticidad.** Es de la diferencia existente entre el límite líquido y el límite plástico del suelo (Hidalgo, 2016).
- **CBR.** Es la relación entre la carga que se necesita para penetrar 0.1" y 0.2" del material a prueba y la carga requerida para penetrar un material estándar de triturado bien clasificado (ASTM D 1883, 2021).

- **Máxima densidad seca:** Es el valor máximo de peso por unidad de volumen definido por la curva de compactación para una prueba de compactación que utiliza esfuerzo modificado (ASTM D 1557, 2021).
- **Óptimo contenido de humedad:** Contenido de agua al que se puede compactar el suelo al peso unitario seco máximo utilizando un esfuerzo de compactación modificado (ASTM D 1557, 2021).
- **Subrasante.** Terreno o fundación donde se apoya toda la estructura del pavimento o afirmado (Arboleda 2020).
- **Carretera.** Vía de transporte con un mínimo de dos ejes para la circulación; principalmente, de vehículos en pequeñas cantidades (DG 2018).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación política y geográfica

3.1.1. Ubicación política

La presente investigación se realizó en el año 2023, en la carretera que une al centro poblado de Shumbana con el caserío El Diamante y está ubicada:

País : **Perú**
Departamento : **Cajamarca**
Provincia : **Jaén**
Distrito : **Santa Rosa**

3.1.2. Ubicación geográfica

Tabla 16

Coordenadas UTM y geográficas de la investigación realizada.

Punto	Coordenadas UTM		Coordenadas geográficas		Cota (m.s.n.m)
	X: Este (m)	Y: Norte (m)	Latitud	Longitud	
Inicial	769411.648	9406520.560	5°21'51.84" S	78°34'08.43" W	1733.605
Final	768260.681	9405589.426	5°22'22.29" S	78°34'45.67" W	1675.446

3.2. Tipo, nivel y método de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

Aplicada, mediante la aplicación de conocimientos y llevando a cabo diferentes procedimientos, busca la solución a un problema existente.

3.2.2. Nivel de investigación

Correlacional, evalúa la relación cuantitativa que existe entre la variable independiente y las variables dependientes.

3.2.3. Método de investigación

- **Lógico.** Hipotético deductivo, infiere que la adición de cemento Portland Tipo I mejora las propiedades físico mecánicas del suelo.
- **Empírico.** Experimental, pues se presentan resultados a partir de recolectar y analizar datos de experimentos realizados en la investigación.

3.3. Diseño de investigación

Experimental, pues se analizan los cambios que genera la adición de 3, 4 y 5% de cemento Portland Tipo I en el índice de plasticidad, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad e índice de CBR del suelo en estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

- Estudios experimentales.

3.4.2. Instrumentos

- Formatos para los resultados de los ensayos realizados.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Excavación de calicatas y muestreo de suelos

El número de calicatas se determinó de acuerdo al Manual de Carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos, 2014.

Tabla 17

Número de calicatas para exploración de suelos

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Nº. mínimo de calicatas	Observaciones
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante	1 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y alternada

Fuente: Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos, MTC 2014:28.

La carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, cuenta con un IMDA de 94 veh/día (carretera de bajo volumen de tránsito según la Tabla 17); por ello, el número mínimo de calicatas para exploración de suelos es de una (01) calicata por kilómetro. Tratándose de una carretera con longitud de 3339m, el número mínimo de calicatas a realizar es igual a $[(3339/1000) + 1 = 4.3 \cong 5$ calicatas], en esta investigación se han realizado 06 calicatas y se muestran a continuación.

Tabla 18*Progresivas y coordenadas UTM de las 06 calicatas realizadas*

Calicata	Progresiva	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
CA-1	0+150.00	769332.022	9406643.250
CA-2	1+150.00	768884.981	94063.61.964
CA-3	2+150.00	768538.838	9405953.187
CA-4	3+150.00	768245.199	9405661.349
CA-5	0+000.00	769410.553	9406519.718
CA-6	3+339.00	768261.977	9405589.660

3.5.2. Ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados en esta investigación son los siguientes:

Tabla 19*Normas técnicas para los ensayos realizados en esta investigación*

Ensayo	Norma técnica
Contenido de humedad	ASTM D 2216 - 19
Análisis granulométrico	ASTM D 422 - 07
Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	ASTM D 4318 - 17
Proctor modificado	ASTM D 1557 - 21
CBR	ASTM D 1883 - 21

3.6. Población de estudio, muestra y unidad de análisis**3.6.1. Población de estudio**

Suelos arcillosos que conforman la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca.

3.6.2. Muestra

Suelos arcillosos que conforman la subrasante de la carretera entre el Centro Poblado Shumbana y el caserío El Diamante, Santa Rosa, Jaén, Cajamarca, obtenidos de seis (06) calicatas realizadas.

3.6.3. Unidad de análisis

Influencia del cemento Portland Tipo I en las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera en estudio.

Tabla 20

Tratamiento del suelo con la adición de cemento Portland Tipo I

Calicata / Muestra	ENSAYOS REALIZADOS																	
	Análisis granulométrico	Contenido de humedad	Límite líquido (LL)				Límite líquido (LP)				Proctor modificado (PM)				California Bearing Ratio (CBR)			
	Porcentajes de cemento Portland Tipo I																	
	0%	0%	0%	3%	4%	5%	0%	3%	4%	5%	0%	3%	4%	5%	0%	3%	4%	5%
CA-1 / M-1	AG1	AG1	LL1	LL7	LL13	LL19	LP1	LP7	LP13	LP19	PM1	PM7	PM13	PM19	CBR1	CBR7	CBR13	CBR19
CA-2 / M-2	AG2	AG2	LL2	LL8	LL14	LL20	LP2	LP8	LP14	LP20	PM2	PM8	PM14	PM20	CBR2	CBR8	CBR14	CBR20
CA-3 / M-3	AG3	AG3	LL3	LL9	LL15	LL21	LP3	LP9	LP15	LP21	PM3	PM9	PM15	PM21	CBR3	CBR9	CBR15	CBR21
CA-4 / M-4	AG4	AG4	LL4	LL10	LL16	LL22	LP4	LP10	LP16	LP22	PM4	PM10	PM16	PM22	CBR4	CBR10	CBR16	CBR22
CA-5 / M-5	AG5	AG5	LL5	LL11	LL17	LL23	LP5	LP11	LP17	LP23	PM5	PM11	PM17	PM23	CBR5	CBR11	CBR17	CBR23
CA-6 / M-6	AG6	AG6	LL6	LL12	LL18	LL24	LP6	LP12	LP18	LP24	PM6	PM12	PM18	PM24	CBR6	CBR12	CBR18	CBR24
Total de ensayos							108											

- *Nota.* La adición de los porcentajes de cemento Portland Tipo I es con respecto al peso seco de la muestra de suelo.

3.7. Descripción del proceso de la investigación

3.7.1. Etapa 1: Levantamiento topográfico, estudio de tráfico

- Se hizo el reconocimiento en campo a lo largo de la carretera.
- Se realizó el levantamiento topográfico de la carretera, iniciando desde el caserío El Diamante (km: 0+000.00), en dirección hacia el centro poblado Shumbana (km: 3+339.00).
- Se realizó el conteo de los vehículos y se determinó el índice medio diario anual (IMDA) de los vehículos que transitan por la carretera.
- Se determinó la cantidad de puntos de investigación (calicatas) y la distancia máxima en la que deben ubicarse entre ellas.

3.7.2. Etapa 2: Obtención de muestras de suelo

- Identificadas las calicatas en campo, se procedió a realizar la excavación hasta una profundidad mínima de 1.50m a partir del nivel de subrasante.
- Se identificó *in situ* las principales características como espesor, color, entre otras, en cada estrato de las 6 calicatas realizadas.
- Se extrajeron las muestras de cada calicata para realizar los ensayos de laboratorio que se detallan en la etapa 3.
- El transporte de las muestras se realizó de acuerdo a la Norma Técnica ASTM D 4220 (Conservación y transporte de muestras de suelo).

3.7.3. Etapa 3: Ensayos de laboratorio

- Se preparó las muestras para realizar los ensayos considerando las Normas Técnicas MTC E 105 (Obtención en laboratorio de muestras representativas – cuarteo) y ASTM D 421 (Preparación seca de muestras de suelo para el análisis del tamaño de partícula y determinación de constantes de suelo).
- Se determinó el contenido de humedad natural de las muestras de cada calicata, muestras que se transportaron en bolsas herméticas y de esa manera evitar la pérdida de humedad en el transcurso del transporte.
- Luego, se procedió a realizar el ensayo de análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y ensayo de CBR sin la adición y con la adición del 3%, 4% y 5% de cemento Portland Tipo I, analizando y presentando los resultados en tablas y gráficos.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Clasificación del suelo de subrasante en estudio

Tabla 21

Clasificación de las seis muestras de suelo

Clasificación de suelos						
Calicata	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	CA-5	CA-6
Progresiva	0+150.00	1+150.00	2+150.00	3+150.00	0+000.00	3+339.00
Estrato	E-2	E-2	E-1	E-1	E-2	E-1
Profundidad de estrato	1.50 m	1.50 m	1.50 m	1.50 m	1.50 m	1.50 m
Muestra	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Contenido de humedad natural (%)	24.09	24.38	31.09	23.00	30.75	30.83
% que pasa el tamiz No.40 (0.425mm)	89.20	94.06	93.65	88.86	92.10	90.07
% que pasa el tamiz No.200 (0.075mm)	75.63	81.09	82.57	76.78	75.49	76.25
Límite líquido (%)	42.00	56.00	57.00	48.00	40.00	46.00
Límite plástico (%)	22.00	17.00	16.00	20.00	23.00	21.00
Índice de plasticidad (%)	20.00	39.00	41.00	28.00	17.00	25.00
Índice de grupo (IG)	15.00	32.00	35.00	21.00	12.00	19.00
Clasificación AASHTO (AASHTO M 145 - 91)	A-7-6(15)	A-7-6(32)	A-7-6(35)	A-7-6(21)	A-6(12)	A-7-6(19)
Clasificación SUCS (ASTM D 2487 - 17)	CL (Arcilla fina con arena)	CH (Arcilla gruesa con arena)	CH (Arcilla gruesa con arena)	CL (Arcilla fina con arena)	CL (Arcilla fina con arena)	CL (Arcilla fina con arena)

Según la Tabla 21, la clasificación SUCS del suelo es de tipo CL (arcilla inorgánica de plasticidad baja a media) y de tipo CH (arcilla inorgánica de plasticidad elevada) y, la clasificación AASHTO del suelo es de tipo A-7-6 (suelo con alto índice de plasticidad y con cambios de volumen extremadamente altos) y de tipo A-6 (suelo arcilloso plástico con cambios volumétricos elevados entre el estado húmedo y el estado seco).

Por otra parte, el sistema de clasificación AASHTO desarrolla un índice de grupo el cual indica la calidad del suelo. Según la Tabla 6, el suelo es inadecuado como para formar parte de una subrasante sin antes mejorar sus propiedades ya que presenta valores de índice de grupo superiores a 9.

4.2. Influencia del cemento Portland Tipo I en el índice de plasticidad del suelo.

Tabla 22

Influencia del cemento Portland tipo I en el índice de plasticidad del suelo

Calicata 1/ Muestra 1 – “A-7-6(15) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Límite líquido (%)	42	38	35	34
Límite plástico (%)	22	26	28	29
Índice de plasticidad (%)	20	12	7	5
Calicata 2/ Muestra 2 – “A-7-6(32) / CH”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Límite líquido (%)	56	52	51	50
Límite plástico (%)	17	20	22	23
Índice de plasticidad (%)	39	32	29	27
Calicata 3/ Muestra 3 – “A-7-6(35) / CH”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Límite líquido (%)	57	53	52	51
Límite plástico (%)	16	19	21	22
Índice de plasticidad (%)	41	34	31	29
Calicata 4/ Muestra 4 – “A-7-6(21) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Límite líquido (%)	48	44	43	42
Límite plástico (%)	20	23	25	26
Índice de plasticidad (%)	28	21	18	16
Calicata 5/ Muestra 5 – “A-6(12) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Límite líquido (%)	40	35	33	32
Límite plástico (%)	23	27	29	31
Índice de plasticidad (%)	17	8	4	1
Calicata 6/ Muestra 6 – “A-7-6(19) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Límite líquido (%)	46	41	39	38
Límite plástico (%)	21	24	26	27
Índice de plasticidad (%)	25	17	13	11

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 22 y según la Tabla 2, los suelos de tipo A-7-6(15) y A-6(12) son de plasticidad media y, los suelos de tipo A-7-6(32), A-7-6(35), A-7-6(21) y A-7-6(19) son de plasticidad alta.

El suelo de las seis calicatas corresponden a arcillas expansivas porque su límite líquido e índice de plasticidad superan a 40% y 15%; respectivamente; por lo que, no son adecuados para formar parte de una subrasante sin antes mejorar sus propiedades porque tienen la capacidad de encogerse o hincharse bajo cambios de humedad, esto permite que la estructura de afirmado construido sobre este suelo sufra grandes fuerzas de levantamiento ocasionadas por la expansión, produciendo agrietamientos y, rompimientos de la estructura.

Según la Tabla 22, la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 3, 4 y 5% respecto al peso seco de la muestra, reduce el índice de plasticidad y límite líquido e incrementa el límite plástico del suelo en estudio. Las mayores reducciones de plasticidad se presentan en las muestras de suelo de tipo “A-7-6 (15)” y “A-6(12)”, al reducir su índice de plasticidad de 20 a 5% y de 17 a 1%; respectivamente, con la adición de 5% de cemento “suelo de plasticidad baja”.

Mientras que, las menores reducciones de plasticidad se presentan en las muestras de suelo de tipo “A-7-6(32)” y “A-7-6(35)”, al reducir su índice de plasticidad de 39 a 27% y 41 a 29%; respectivamente, con la adición de 5% de cemento “suelo de plasticidad alta”.

El cemento actúa de tal manera que al mezclarse con el agua se convierte en una pasta fluida y a la vez aglutinante y, al combinarse con el suelo va agrupando micropartículas internas de arcilla, y cuando endurece reduce la exposición del material fino al agua, reduciendo de esa manera la plasticidad del suelo. En base a este análisis, los suelos con plasticidad elevada contienen mayores cantidades de micropartículas internas de arcilla en su composición por lo que necesitan mayores cantidades de cemento para ser envueltas.

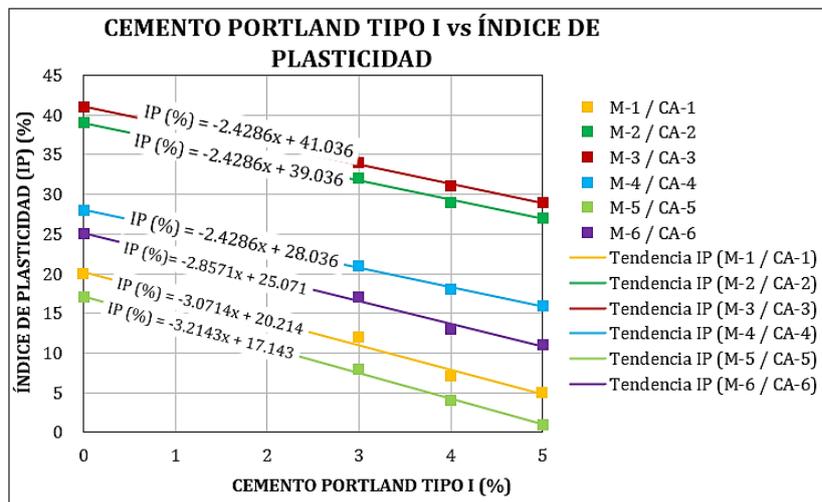
Analizando los resultados mostrados en la Tabla 22, solamente dos muestras de suelo llegan a reducir su índice de plasticidad a valores menores a 7% (plasticidad baja), esto se debe a que contienen menores cantidades de material fino (arcilla) en su composición respecto a las demás muestras de suelo y porque además, los valores de índice de plasticidad.

El suelo que no redujo su índice de plasticidad a valores menores a 7% (plasticidad baja), es porque los valores iniciales de límite líquido e índice de plasticidad superan considerablemente a 40 y 18; respectivamente, de esta manera, estos resultados concuerdan con lo que menciona el MTC (2013); pues indica que, suelos que superan estos valores no son recomendables para mejorar sus propiedades con cemento.

En contraste con los antecedentes; específicamente, Celi et al. (2023) concuerdan con que el cemento reduce la plasticidad del suelo. Celi et al., para un suelo de tipo “CL”, obtuvieron que la adición de 3% de cemento reduce el índice de plasticidad de 17 a 13%. Comparando de manera específica con el suelo de tipo “A-6(12) / CL”, la adición del 3% de cemento Portland Tipo I reduce su índice de plasticidad de 17 a 8%. La razón lógica que puede sustentar estas diferencias es que el suelo estudiado por Celi et al., tal vez estuvo afectado por una alta composición química que no permitió que el cemento reduzca en mayor cantidad su plasticidad, tal y como lo menciona el MTC (2013).

Figura 1

Variación del índice de plasticidad del suelo producto del tratamiento con cemento



En la Figura 1, se observa que la representación gráfica del índice de plasticidad de los suelos de las seis calicatas muestra tendencia que va decreciendo con la adición de cemento. La adición de 5% de cemento es el porcentaje que mayor efecto genera en la reducción de la plasticidad del suelo, presentando la máxima reducción en la muestra de suelo de tipo “A-6(12) / CL” al reducir su índice de plasticidad de 17 a 1% (plasticidad baja).

4.3. Influencia del cemento Portland Tipo I en la máxima densidad seca del suelo.

Tabla 23

Influencia del cemento Portland Tipo I en la máxima densidad seca del suelo

Calicata 1/ Muestra 1 – “A-7-6(15) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.690	1.800	1.830	1.850
Óptimo contenido de humedad (%)	17.00	14.96	14.32	13.88

Calicata 2/ Muestra 2 – “A-7-6(32) / CH”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.610	1.704	1.726	1.743
Óptimo contenido de humedad (%)	18.30	16.42	16.00	15.65

Calicata 3/ Muestra 3 – “A-7-6(35) / CH”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.595	1.688	1.708	1.724
Óptimo contenido de humedad (%)	18.50	16.64	16.20	15.90

Calicata 4/ Muestra 4 – “A-7-6(21) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.655	1.758	1.785	1.804
Óptimo contenido de humedad (%)	17.50	15.55	15.00	14.60

Calicata 5/ Muestra 5 – “A-6(12) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.712	1.827	1.861	1.884
Óptimo contenido de humedad (%)	16.60	14.52	13.87	13.45

Calicata 6/ Muestra 6 – “A-7-6(19) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.668	1.775	1.804	1.823
Óptimo contenido de humedad (%)	17.30	15.32	14.72	14.35

Según la Tabla 23, la adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 3%, 4% y 5% respecto al peso seco de la muestra de suelo, incrementa la máxima densidad seca y reduce el óptimo contenido de humedad de las seis muestras de suelo.

La muestra de suelo de tipo "A-6 / CL" y las muestras de suelo de tipo "A-7-6 / CL" presentan los mayores incrementos de máxima densidad seca; específicamente, la muestra de suelo de tipo "A-6(12) / CL" incrementa su máxima densidad seca de 1.712 a 1.884 gr/cm³ con la adición de 5% de cemento respecto al peso seco de la muestra de suelo.

Mientras que, las muestras de suelo de tipo "A-7-6/ CH", presentan los menores incrementos de máxima densidad seca; específicamente, la muestra de suelo de tipo "A-7-6(35) / CH" al incrementar su máxima densidad seca de 1.595 a 1.724 gr/cm³ con la adición de 5% de cemento Portland Tipo I respecto al peso seco de la muestra.

El cemento actúa de tal manera que al mezclarse con el agua se convierte en una pasta fluida que, al combinarse con el suelo va llenando y reduciendo los microporos de las arcillas envolviéndolas entre sí, para formar suelo con una composición más estructurada y con partículas mejor acomodadas. Analizando, el incremento de la máxima densidad seca con la adición de cemento Portland Tipo I en esta investigación, va de acorde con los valores iniciales para cada muestra de suelo; a mayor valor inicial de máxima densidad seca, menor cantidad de espacios vacíos tiene el suelo, existe mejor acomodo entre sus partículas internas; por lo tanto, se va a requerir de menores cantidades de cemento para obtener mayores resultados de máxima densidad seca en el suelo.

Comparando con los antecedentes; específicamente, Becerra y Calderón (2022), concuerdan con que el cemento incrementa la máxima densidad del suelo. Becerra y Calderón, para un suelo con índice de plasticidad de 15%, de tipo "A-7-5(10) / CL", obtuvieron que la adición del 4% de cemento incrementó su máxima densidad seca de 1.851 a 1.805gr/cm³. Si comparamos de manera específica, el mayor incremento de la máxima densidad seca según la Tabla 23 con la adición del 4% de cemento se da en la muestra de suelo de tipo "A-6(12) / CL" al incrementar su máxima densidad seca de 1.712 a 1.884gr/cm³. La razón lógica que puede sustentar estas diferencias es que, el suelo estudiado por Becerra y Calderón con

un índice de grupo de 10 e índice de plasticidad de 15% es de mejor calidad que el suelo de tipo “A-6(12) / CL” con índice de grupo 12 e índice de plasticidad de 17%; pues, a menor índice de grupo y menor cantidad de arcilla en su composición, el suelo es de mejor calidad; por lo que, se necesita menores cantidades de cemento para mejorar su compactibilidad.

Figura 2

Variación de la máxima densidad seca del suelo producto del tratamiento con cemento

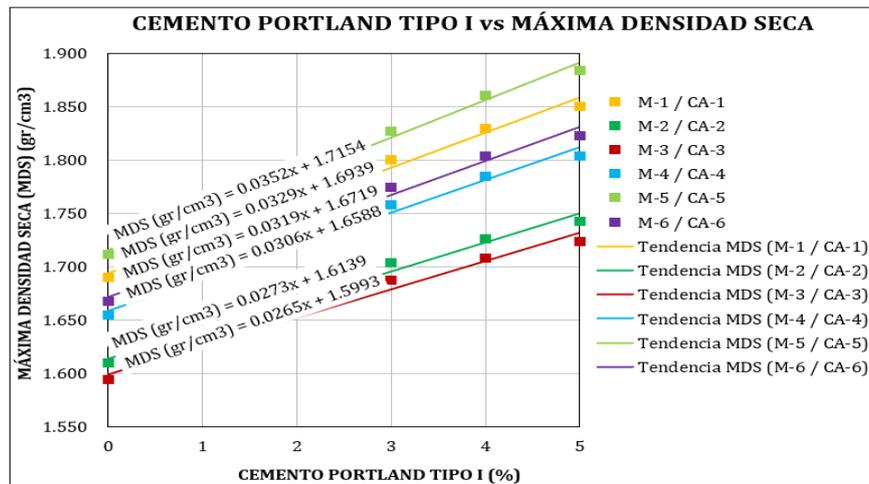
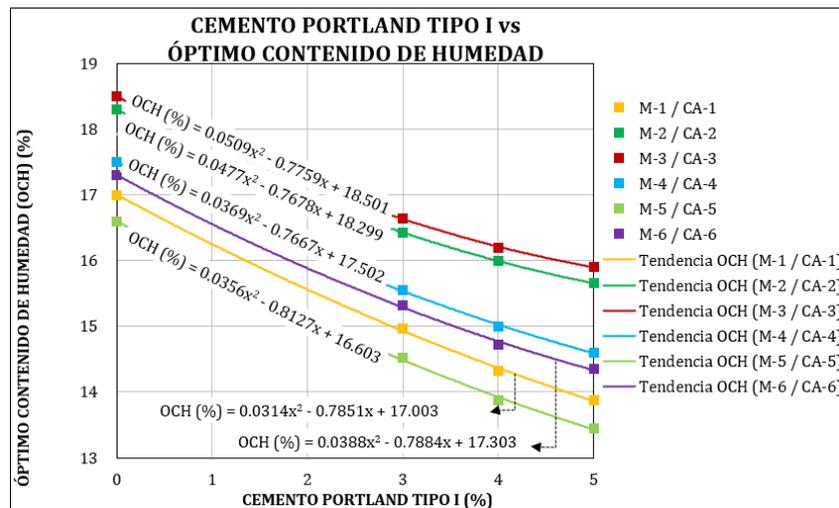


Figura 3

Variación del óptimo contenido de humedad del suelo producto del tratamiento con cemento



En la Figura 2, se observa que la máxima densidad seca incrementa con la adición de cemento, obteniendo el mayor incremento en la muestra de suelo d tipo “A-6(12) / CL”; mientras que, en la Figura 3, se observa que el óptimo contenido de humedad reduce con la adición de cemento.

4.4. Influencia del cemento Portland Tipo I en el índice de CBR de las seis muestras de suelo.

Tabla 24

Influencia del cemento Portland Tipo I en el índice de CBR del suelo

Calicata CA-1/ Muestra M-1 – “A-7-6(15) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
CBR (95% MDS y 0.1" penetración) (%)	4.40	15.70	21.80	28.20
Hinchamiento promedio (%)	4.64	3.17	2.58	2.02

Calicata CA-2/ Muestra M-2 – “A-7-6(32) / CH”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
CBR (95% MDS y 0.1" penetración) (%)	2.10	6.00	8.80	11.35
Hinchamiento promedio (%)	6.38	4.52	3.72	3.08

Calicata CA-3/ Muestra M-3 – “A-7-6(35) / CH”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
CBR (95% MDS y 0.1" penetración) (%)	1.96	5.30	7.82	10.05
Hinchamiento promedio (%)	6.63	4.86	3.96	3.47

Calicata CA-4/ Muestra M-4 – “A-7-6(21) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
CBR (95% MDS y 0.1" penetración) (%)	3.04	10.00	14.40	18.45
Hinchamiento promedio (%)	5.02	3.70	3.00	2.55

Calicata CA-5/ Muestra M-5 – “A-6(12) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
CBR (95% MDS y 0.1" penetración) (%)	5.07	18.83	25.50	33.70
Hinchamiento promedio (%)	4.31	2.99	2.43	1.82

Calicata CA-6/ Muestra M-6 – “A-7-6(19) / CL”				
	Cemento Portland Tipo I (%)			
	0	3	4	5
CBR (95% MDS y 0.1" penetración) (%)	3.73	13.07	18.10	23.14
Hinchamiento promedio (%)	4.78	3.43	2.82	2.35

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 24 y según la Tabla 3, los suelos de tipo A-7-6(32) y A-7-6(35) clasifican a la subrasante como “inadecuada” y, los suelos de tipo A-7-6(15), A-7-6(21), A-6(12) y A-7-6(19) clasifican a la subrasante como “pobre”.

El MTC (2014), considera que los suelos con un espesor mínimo de 0.60m por debajo del nivel superior de subrasante deben ser suelos con un índice de CBR mínimo de 6%. Los resultados del CBR de las seis calicatas no cumplen con esta recomendación; por lo que, el suelo que conforma la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante no debe utilizarse como suelo de subrasante sin antes proceder a mejorar sus propiedades.

Las muestras de suelo de las seis calicatas muestran incrementos considerables de índice de CBR; específicamente, el mayor incremento se da en la muestra de suelo de tipo “A-6” al pasar de un CBR de 5.07 a 33.70% (incrementó en 28.63%) con la adición de 5% de cemento “subrasante excelente”.

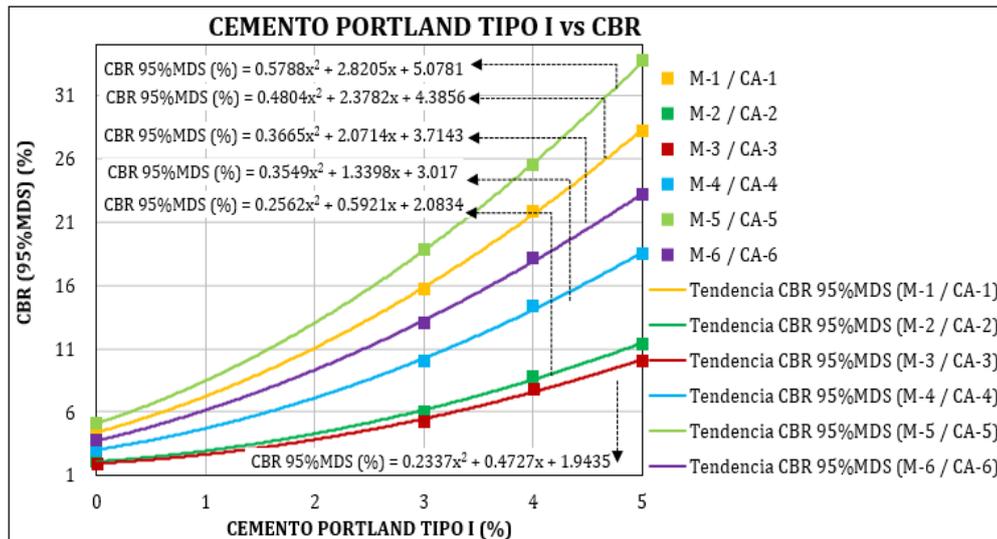
El cemento actúa de tal manera que al mezclarse con el agua se convierte en una pasta fluida que, al combinarse con el suelo va penetrando y formando una estructura ramificada con partículas de arcilla internas, aumentando la resistencia del suelo a los esfuerzos cortantes. Analizando, el incremento del índice de CBR con la adición de cemento en esta investigación, va de acorde con los valores iniciales para cada muestra de suelo, mientras el suelo tiene mejor acomodo de partículas o mayor resistencia al esfuerzo cortante interno, requiere de menor cantidad de cemento para mejorar su estructura interna y poder aumentar sus propiedades de resistencia.

Velásquez (2018), concuerda con que el cemento incrementa el índice de CBR del suelo. Velásquez, para un suelo de tipo “OH”, determinó que la adición de 5% de cemento portland Tipo I incrementó el índice de CBR de 1.30 a 13.75%. Los resultados encontrados por Velásquez son elevados para CBR; pero, son menores a los encontrados en esta investigación; de manera específica, la adición de 5% de cemento al suelo de tipo “A-6(12) / CL”, aumenta su índice de CBR de 5.07 a 33.70%. La razón lógica para esta diferencia puede ser que, el efecto que ha generado el cemento en el CBR del suelo estudiado por Velásquez si bien es cierto es bastante bueno; pero, no es tan elevado porque recordemos que el suelo es de

tipo OH (arcilla orgánica) y, el MTC (2013) señala que el cemento genera menor efecto para suelo con contenidos de material orgánico en su composición.

Figura 4

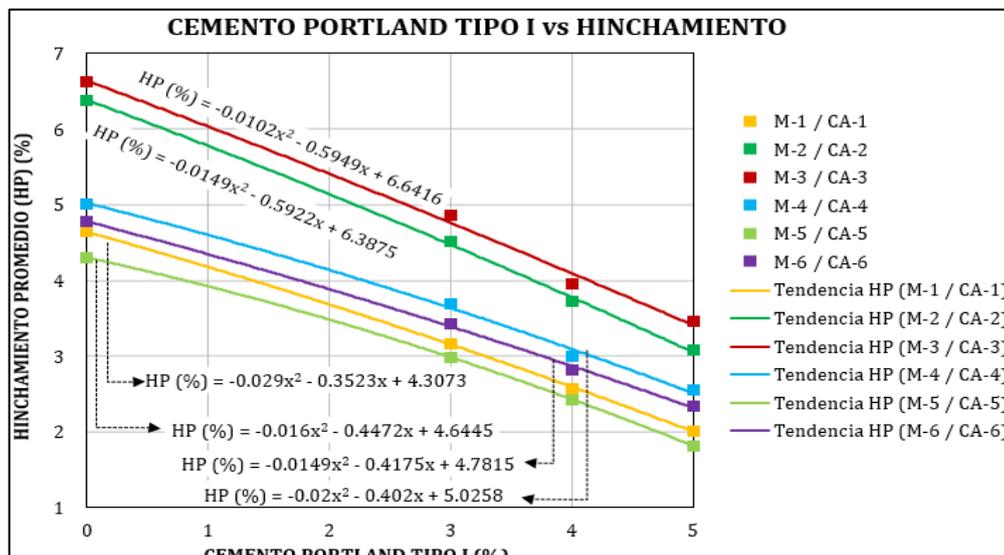
Variación del índice de CBR del suelo producto del tratamiento con cemento



En la Figura 4, se observa que el índice de CBR al 95%MDS de los suelos de las seis calicatas va incrementando con la adición de cemento Portland Tipo I. La gráfica muestra que el 5% de cemento es suficiente para obtener subrasante buena en el suelo de las seis calicatas.

Figura 5

Variación del hinchamiento del suelo producto del tratamiento con cemento



En la Figura 5, se observa que hinchamiento promedio de las seis muestras de suelo va decreciendo con la adición de cemento Portland Tipo I. Crespo (2004), recomienda que el hinchamiento no debe superar el 3% para suelo de subrasante; según la Figura 5, la adición del 5% de cemento reduce el hinchamiento promedio a valores menores a 3% solamente en las muestras de suelo de tipo A-7-6(15), A-7-6(21), A-6(12) y A-7-6(19).

4.5. Contrastación de hipótesis

4.5.1. La adición de cemento Portland Tipo I en porcentajes de 3, 4 y 5% respecto al peso de la muestra, mejora las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, reduciendo su índice de plasticidad e incrementando su índice de CBR y máxima densidad seca

4.5.2. Los suelos que conforman la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, son arcillosos según la clasificación SUCS y AASHTO.

4.5.3. La adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I al suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, redujo el índice de plasticidad a valores menores a 7% solo en las muestras de suelo de las calicatas 1 y 5.

4.5.4. La adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I al suelo arcilloso de la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, incrementó la máxima densidad seca de todas las muestras de suelo e incrementó el índice de CBR a valores mayores o iguales a 10% en las muestras de suelo de las seis calicatas.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

5.1.1. La adición del cemento Portland Tipo I en porcentajes de 3, 4 y 5% respecto al peso seco de la muestra de suelo, redujo el índice de plasticidad e incrementó el índice de CBR y máxima densidad seca en las seis muestras de suelo, mostrando el mayor incremento en el suelo de tipo “A-6(12) / CL”, y el menor incremento en la muestra de suelo de tipo “A-7-6(35) / CH”.

5.1.2. El suelo que conforma la subrasante de la carretera entre el centro poblado Shumbana y el caserío El Diamante, es arcilloso de tipo A-7-6 y A-6 según la clasificación AASHTO y de tipo CL y CH según la clasificación SUCS.

5.1.3. El suelo en estudio sin la adición de cemento es de plasticidad “media y alta”. La adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I, reduce la plasticidad del suelo a valores menores a 7% “plasticidad baja”, en las muestras de suelo de tipo “A-7-6(15)” y “A-6(12)”; mientras que, no se logró esta reducción en las muestras de suelo de tipo “A-7-6(32)”, “A-7-6(35)”, “A-7-6(21)” y “A-7-6(19)”.

5.1.4. El índice de CBR del suelo en estudio sin la adición de cemento, clasifica a la subrasante como “pobre e inadecuada”. La adición de hasta 5% de cemento Portland Tipo I, incrementa la máxima densidad seca e índice de CBR a valores mayores a 10% en las seis muestras de suelo, clasificando al suelo de subrasante como “buena, muy buena y excelente”.

5.2. Recomendaciones

5.2.1. Realizar estudios con la adición de porcentajes mayores a 5% de cemento Portland Tipo I, para evaluar si la plasticidad del suelo reduce a valores menores a 7%.

5.2.2. Realizar estudios para determinar la composición química y orgánica en el suelo que no permite que el cemento actúe de manera efectiva en la reducción de la plasticidad.

5.2.3. Evaluar si la propuesta de aplicar porcentajes de cemento al suelo es mejor económicamente en comparación a una propuesta de reemplazo de material propio por material de préstamo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, Estados Unidos de América). 1991. Standard Specification for Classification of Soils and Soil – Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. Designation M 145 – 91.
- Afrin, H. 2019. A Review on Different Types Soil Stabilization Techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology* 3(2):19.
- Arboleda Vélez, G. 2020. *Vías Urbanas: una ciudad para todos*. 1 ed. Bogotá, Colombia. Alfaomega Colombiana S.A. 435p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, Estados Unidos de América). 2007. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Designation D 422 - 07.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, Estados Unidos de América). 2017. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Designation D 2487 – 17.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2021. Standard Test Method for California Bearing Ratio of Laboratory - Compacted Soils. Designation D 1883 - 21.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2021. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). Designation D 1557 - 21.
- Becerra Agurto, CA; Calderón Banda, CE. 2022. Influencia del cemento Portland Tipo I en la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante de la avenida Arana Vidal, sector La Colina, Jaén 2021. Tesis Tit. Jaén, Perú. Universidad Nacional de Jaén. 56p.
- Borselli, L. 2023. Clasificación ingenieril de los suelos y de los macizos rocosos. Geotencia I. s.l. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78p.
- Castro Gonzales, MA; Navarro Pereyra, JD. 2020. Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland en la Av. Padre salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco. Tesis Tit. Lima, Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 73p.
- Celi Macías, AA; Mendoza Alcívar, JP; Tejeda Piusseaut, E. 2023. Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo. *Ciencias Técnicas y Aplicadas. Dominio de las ciencias*. 9(2): 55-69.
- Cementos Pacasmayo, Perú. 2023. Cemento Portland Tipo I (en línea, sitio web). Consultado 13 nov. 2023. Disponible en https://storage.googleapis.com/pacasmayo_web/assets/FICHA%20%20INFORMATIVA_TIPO_I.pdf.

- Crespo Villalaz, C. 2004. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5 ed. Ciudad de México, México. Limusa. 650p.
- Cuzco Zavaleta, SM. 2019. Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019. Tesis Tit. Lima, Perú. Universidad César Vallejo. 99p.
- Das, BM. 2012. Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. 7 ed. León Cárdenas, J (trad.). Ciudad de México, México, Cengage Learning. 794 p.
- Estrada Arana, FJ; Pintado Estrada, JF. 2019. Capacidad portante (cbr) del suelo del sector 9 de Cajamarca, incorporando 2%, 4% y 6% de cal hidratada, 4%, 6% y 8% de cemento Portland tipo i y 4%, 8% y 12% de cloruro de sodio. Tesis Tit. Cajamarca, Perú. Universidad Privada del Norte. 95p.
- García Toro, JR. 2019. Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín. Tesis Tit. Bogotá, Colombia, Universidad Católica de Colombia. 77p.
- Gavilanes Bayas, EG. 2015. Estabilización y mejoramiento de sub-rasante con cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur. Tesis Tit. Quito, Ecuador. Universidad Internacional del Ecuador Escuela de Ingeniería. 134p.
- Hidalgo Benavides, DI. 2016. Análisis comparativo de los proceso de estabilización de suelo con suelo-cemento, aplicado a suelos arcillosos de sub-rasante. Tesis Tit. Ambato, Ecuador. Universidad Técnicas de Ambato. 181p.
- Irasaar, EF; Bonavetti, VL; Menéndez, G; Carrasco, MF. 2015. Hidratación y propiedades de cemento ternarios con filler calcáreo y scoria. ALCONPAT 5(2): 84-96.
- Mendez Salas, A; Pineda Nuñez, C. 2012. Comportamientos de cimentaciones en suelos expansivos. s.l. 24p.
- Minvu (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). 2018. Código de normas y especificaciones técnicas de obras de pavimentación. Santiago, Chile. MAVAL S.P.A. 3(1): 1-340.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2018. Manual de carreteras: Diseño Geométrico – DG 2018. Lima, Perú, MTC. Ene. 2018. 284 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2013. Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013. Lima, Perú, MTC. Jun. 2013. 1274 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú). 2014. Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. R.D. No. 10 – 2014 – MTC/14. Lima, Perú, MTC. 09 abr. 301p.

- Pandey, A; Rabbani, A. 2017. Stabilisation of Pavement Subgrade Soil Using Lime and Cement. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 5733–5735.
- Quijano Otarola, YA; Melo Herrera JS. 2020. Análisis de la variación de la densidad seca máxima y humedad óptima de afirmados provenientes de diferentes canteras de la Sabana de Bogotá. Tesis Tit. Bogotá, Colombia. Universidad de la Salle. 188p.
- Ramirez Triviño, V; Hincapié Olano, JC. 2018. Evaluación CBR de sub-base granular mezclada con tereftalato de polietileno (PET); para uso en vías terciarias. Tesis Tit. Pereira, Colombia. Universidad Libre. 112p.
- Ramirez Pinchi, P; Guerra Sánchez, EF. 2021. Estabilización de la subrasante con cemento Portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales – Polvoraico, en el distrito de Morales, provincia y región San Martín – 2020. Tesis Tit. San Martín, Perú. Universidad Científica Del Perú. 157p.
- Rivera, J; Guerrero, A; Mejía, R; Orobio, A. 2020. Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente. *SENA (Informador Técnico)* 84(2):202–226.
- Rodríguez Serquén, W. 2019. Fundamentos de INGENIERÍA GEOTÉCNICA Suelos y Cimentaciones. Lima, civilgeeks.com. 298p.
- Rodríguez Ticona, DK. 2021. Incorporación de caucho granulado para mejorar el comportamiento físico y mecánico en la subrasante de suelos arcillosos, Puno 2021. Tesis Tit. Lima, Perú. Universidad César Vallejo. 253p.
- Sanjuán Barbudo, MA; Chinchón Yepes, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland. s.e. Alicante, España. Universidad de Alicante. 181p.
- Vega, J. 2021. Hidratación del cemento (en línea). Scribd. 2p. Consultado 01 nov. 203. Disponible en <https://es.scribd.com/document/545852522/Que-Es-La-Hidratacion-Del-Cemento>.
- Velásquez Pereyra, C. 2018. Influencia del cemento Portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina. Tesis Tit. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 140p.
- Yepes Piqueras, V. 2021. Estabilización de suelos con cemento (en línea). *Poli blogs*. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/estabilizacion-de-suelos/>.
- Zapata, R. 2018. Tipos de suelos: caracterización de suelos arcillosos y limosos. Rosario, Argentina. Universidad Nacional de Rosario. 27p.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de perfiles estratigráficos de las seis calicatas

Figura 6

Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 1

Ubicación		Cordenadas UTM		CALICATA		
: Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante		Este : 769332.022		CA-1		
Profundidad : 1.50 m		Norte: 9406643.25				
Fecha : 08/07/2023						
Estrato	Prof. (m)	Cota (m.s.n.m.)	Clasificación AASHTO	Símbolo gráfico	Descipción del suelo	Muestra
		0.00	1734.10	NIVEL DE TERRENO ACTUAL		
E-1	0.17	1733.93	Material contaminado		Mezcla de hierba con material orgánico	-
				NIVEL DE SUBRASANTE		
E-2			A-7-6 (15)		Arcilla inorgánica ligera con arena, de color marrón claro, plasticidad media (IP=20%), contenido de humedad natural (24.09%). Su composición es de 75.79% de material fino (limos y arcillas), 22.04% entre arena fina y gruesa y, 2.17% de grava: con un tamaño máximo de 3/4".	M-1
		1.67	1732.43			

Figura 7

Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 2

Ubicación		Cordenadas UTM		CALICATA		
: Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante		Este : 768884.981		CA-2		
Profundidad : 1.50 m		Norte: 9406361.964				
Fecha : 08/07/2023						
Estrato	Prof. (m)	Cota (m.s.n.m.)	Clasificación AASHTO	Símbolo gráfico	Descipción del suelo	Muestra
		0.00	1668.02	NIVEL DE TERRENO ACTUAL		
E-1	0.18	1667.84	Material inadecuado		Material suelto (inadecuado)	-
				NIVEL DE SUBRASANTE		
E-2			A-7-6 (32)		Arcilla inorgánica gruesa con arena, de color pardo claro, plasticidad alta (IP=39%), contenido de humedad natural (24.38%). Su composición es de 81.09% de material fino (limos y arcillas), 17.79% entre arena fina y gruesa y, 1.13% de grava: con un tamaño máximo de 1/2".	M-2
		1.68	1666.34			

Figura 8

Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 3

Ubicación		Cordenadas UTM		CALICATA		
: Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante		Este : 768538.838		CA-3		
Profundidad : 1.50 m		Norte: 9405953.187				
Fecha : 08/07/2023						
Estrato	Prof. (m)	Cota (m.s.n.m.)	Clasificación AASHTO	Símbolo gráfico	Descipción del suelo	Muestra
		0.00	1641.97	NIVEL DE TERRENO ACTUAL		
E-1			A-7-6 (35)		Arcilla inorgánica gruesa con arena, de color pardo claro, plasticidad alta (IP=41%), contenido de humedad natural (31.09%). Su composición es de 82.57% de material fino (limos y arcillas), 16.24% entre arena fina y gruesa y, 1.19% de grava; con un tamaño máximo de 3/8".	M-3
		1.50	1640.47	NIVEL DE SUBRASANTE		

Figura 9

Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 4

Ubicación : Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante					Cordenadas UTM		CALICATA CA-4
Profundidad : 1.50 m					Este : 768245.199		
Fecha : 08/07/2023					Norte : 9405661.349		
Estrato	Prof. (m)	Cota (m.s.n.m.)	Clasificación AASHTO	Símbolo gráfico	Descripción del suelo	Muestra	
0.00		1659.01	NIVEL DE TERRENO ACTUAL		NIVEL DE SUBRASANTE		
E-1			A-7-6 (21)	CL	Arcilla inorgánica ligera con arena, de color marrón claro, plasticidad alta (IP=28%), contenido de humedad natural (23.00%). Su composición es de 76.78% de material fino (limos y arcillas), 20.17% entre arena fina y gruesa y, 3.05% de grava; con un tamaño máximo de 3/4".	M-4	
1.50		1657.51					

Figura 10

Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 5

Ubicación : Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante					Cordenadas UTM		CALICATA CA-5
Profundidad : 1.50 m					Este : 769410.553		
Fecha : 08/07/2023					Norte : 9406519.719		
Estrato	Prof. (m)	Cota (m.s.n.m.)	Clasificación AASHTO	Símbolo gráfico	Descripción del suelo	Muestra	
0.00		1733.61	Afirmado		NIVEL DE TERRENO ACTUAL		
E-1			Afirmado	o o o o o	Afirmado		
0.12		1733.49	NIVEL DE SUBRASANTE				
E-2			A-6 (12)	CL	Arcilla inorgánica ligera con arena, de color amarillo oscuro, plasticidad media (IP=17%), contenido de humedad natural (30.75%). Su composición es de 75.49% de material fino (limos y arcillas), 23.41% entre arena fina y gruesa y, 1.10% de grava; con un tamaño máximo de 3/8".	M-5	
1.62		1731.99					

Figura 11

Descripción del perfil estratigráfico de la calicata 6

Ubicación : Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante					Cordenadas UTM		CALICATA CA-6
Profundidad : 1.50 m					Este : 768261.977		
Fecha : 08/07/2023					Norte : 9405589.66		
Estrato	Prof.(m)	Cota (m.s.n.m.)	Clasificación AASHTO	Símbolo gráfico	Descripción del suelo	Muestra	
0.00		1675.41	NIVEL DE TERRENO ACTUAL		NIVEL DE SUBRASANTE		
E-1			A-7-6 (19)	CL	Arcilla inorgánica ligera con arena, de color marrón claro, plasticidad alta (IP=25%), contenido de humedad natural (30.83%). Su composición es de 76.25% de material fino (limos y arcillas), 21.91% entre arena fina y gruesa y, 1.84% de grava; con un tamaño máximo de 3/4".	M-6	
1.50		1673.91					

Anexo 2. Ensayos de laboratorio

Tabla 25

Contenido de humedad del suelo de la calicata 1

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023	
Ensayo	1	2			
W (tara + M. Húmeda) gr	290.20	287.10			
W (tara + M. Seca) gr	240.40	239.00			
W agua (gr)	49.80	48.10			
W tara (gr)	36.50	36.50			
W Muestra Seca (gr)	203.90	202.50			
Contenido de humedad (%)	24.42	23.75			
Contenido de humedad (%):	24.09				

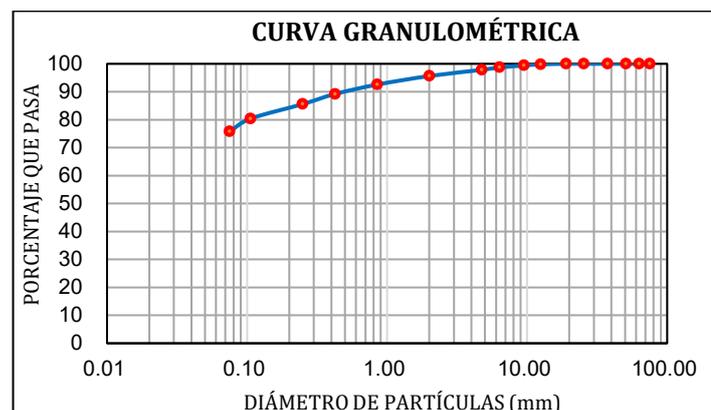
Tabla 26

Análisis granulométrico del suelo de la calicata 1

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023	
Peso total muestra seca (gr)					1020.00
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Ret. Parcial	Peso Ret. Acumulado	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	2.00	2.00	0.20	99.80
3/8"	9.525	4.00	6.00	0.59	99.41
1/4"	6.350	7.30	13.30	1.30	98.70
No. 4	4.750	8.80	22.10	2.17	97.83
No. 10	2.000	22.50	44.60	4.37	95.63
No. 20	0.850	16.00	75.81	7.43	92.57
No. 40	0.425	17.60	110.15	10.80	89.20
No. 60	0.250	18.90	147.02	14.41	85.59
No. 140	0.106	27.20	200.08	19.62	80.38
No. 200	0.075	24.00	246.90	24.21	75.79
Pérdida por lavado		396.30	1020.00	100.0	0.00
Grava (4.75mm - 75mm)		Arena (0.075mm - 4.75mm)		Limo y arcilla (<0.075mm)	
2.17 %		22.04 %		75.79 %	

Figura 12

Curva granulométrica del suelo de la calicata 1



Procedimiento del análisis granulométrico de la calicata 1 (ASTM D 422 – 07)

- Se determinó el peso seco de la muestra de prueba.

$$Ps = 1020\text{ gr}$$

- Se separó la muestra de prueba mediante proceso de tamizado por el tamiz N° 10.

Fracción retenida en el tamiz N° 10

- La porción retenida en el tamiz N° 10 se somete a proceso de lavado y se seca en el horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Se pesa el material seco y se tamiza.

$$Ps_{(\text{retenido tamiz N}^{\circ} 10)} = 44.60\text{ gr}$$

Tabla 27

Tamizado porción retenida en el tamiz No. 10 de la calicata 1

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.050	0.00	0.00	$(0.00 / 1020) * 100 = 0.00$	$100 - 0.00 = 0.00$
1/2"	12.70	2.00	2.00	$(2.00 / 1020) * 100 = 0.20$	$100 - 0.20 = 99.80$
3/8"	9.525	4.00	6.00	$(6.00 / 1020) * 100 = 0.59$	$100 - 0.59 = 99.41$
1/4"	6.350	7.30	13.30	$(13.30 / 1020) * 100 = 1.30$	$100 - 1.30 = 98.70$
No. 4	4.750	8.80	22.10	$(22.10 / 1020) * 100 = 2.17$	$100 - 2.17 = 97.83$
No. 10	2.000	22.50	44.60	$(44.60 / 1020) * 100 = 4.37$	$100 - 4.37 = 95.63$

Fracción pasante en el tamiz N° 10

- Se determinó el material pasante a la malla N° 10, restando la muestra total de prueba menos el peso del material retenido en la malla N° 10.

$$Ps_{(\text{pasante tamiz N}^{\circ} 10)} = 1020 - 44.60 = 975.40\text{ gr}$$

- De los (975.40 gr), se extrae "500 gr" y se somete a proceso de lavado por la malla N° 200, después se seca en el horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Se pesa el material seco y se tamiza.

$$Ps_{(\text{retenido tamiz N}^{\circ} 200)} = 103.70\text{ gr}$$

Tabla 28

Tamizado porción pasante el tamiz No. 10 y retenido en la No. 200 de la calicata 1

Tamiz	Peso retenido (gr)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
No. 20	16.00	44.60 + $16 * (975.40 / 500) = 75.81$	$(75.81 / 1020) * 100 = 7.43$	$100 - 7.43 = 92.57$
No. 40	17.60	75.81 + $17.60 * (975.40 / 500) = 110.14$	$(110.14 / 1020) * 100 = 10.80$	$100 - 10.80 = 89.20$
No. 60	18.90	110.14 + $18.90 * (975.40 / 500) = 147.02$	$(147.02 / 1020) * 100 = 14.41$	$100 - 14.41 = 85.59$
No. 140	27.20	147.02 + $27.20 * (975.40 / 500) = 200.08$	$(200.08 / 1020) * 100 = 19.62$	$100 - 19.62 = 80.38$
No. 200	24.00	200.08 + $24.00 * (975.40 / 500) = 246.90$	$(200.08 / 1020) * 100 = 24.21$	$100 - 24.21 = 75.79$
Lavado	396.30	246.90 + $396.30 * (975.40 / 500) = 1020.00$	$(1020 / 1020) * 100 = 100.00$	$100 - 100 = 0.00$

Tabla 29

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Julio 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	50.60	51.00	50.80	47.10	46.80	
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.40	43.30	43.60	43.10	42.70	
Peso agua (gr)	8.20	7.70	7.20	4.00	4.10	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	18.10	18.30	17.80	18.40	18.70	
Contenido de humedad (W%)	45.30	42.08	40.45	21.74	21.93	22
Número de golpes (N)	18	26	30	-		
Límite líquido (%): 42		Límite plástico (%): 22		Índice de plasticidad (%): 20		Índice de grupo: 15

Figura 13

Límite líquido del suelo de la calicata 1

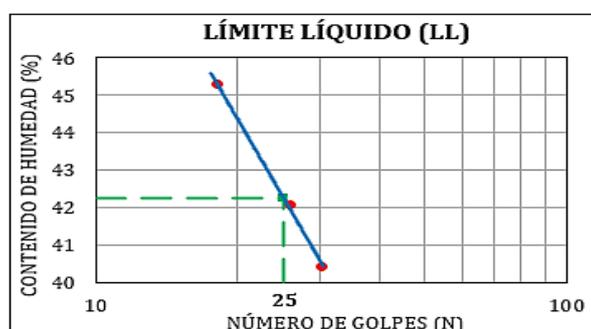


Tabla 30

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	50.00	50.30	49.80	46.60	46.30	
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.50	43.30	43.50	42.10	41.70	
Peso agua (gr)	7.50	7.00	6.30	4.50	4.60	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	18.20	18.30	17.70	17.40	17.70	
Contenido de humedad (W%)	41.21	38.25	35.59	25.86	25.99	26
Número de golpes (N)	18	24	32	-		
Límite líquido (%): 38		Límite plástico (%): 26		Índice de plasticidad (%): 12		

Figura 14

Límite líquido del suelo de la calicata 1 con adición de 3% de cemento

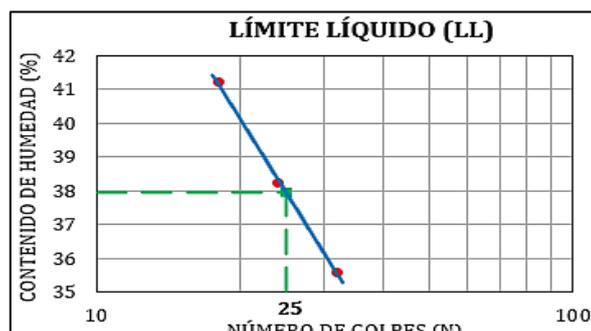


Tabla 31

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	51.20	51.00	50.60	48.00	47.40		
Peso Tara + M. Seca (gr)	43.70	44.20	44.60	42.90	42.20		
Peso agua (gr)	7.50	6.80	6.00	5.10	5.20		
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00		
Peso M. Seca (gr)	19.40	19.20	18.80	18.20	18.20		
Contenido de humedad (W%)	38.66	35.42	31.91	28.02	28.57	28	
Número de golpes (N)	17	24	34				
Límite líquido (%): 35		Límite plástico (%): 28			Índice de plasticidad (%): 7		

Figura 15

Límite líquido del suelo de la calicata 1 con adición de 4% de cemento

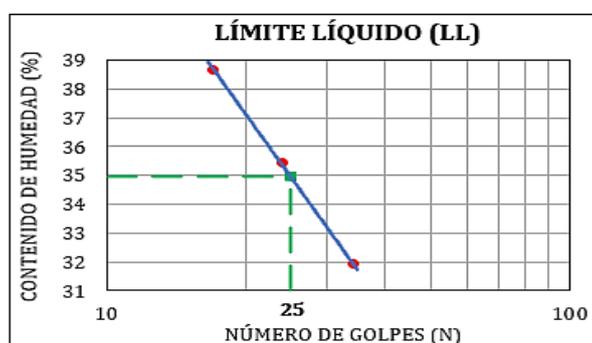


Tabla 32

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 1 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	48.90	50.00	49.40	46.00	45.80		
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.40	43.70	43.60	41.20	40.90		
Peso agua (gr)	6.50	6.30	5.80	4.80	4.90		
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00		
Peso M. Seca (gr)	18.10	18.70	17.80	16.50	16.90		
Contenido de humedad (W%)	35.91	33.69	32.58	29.09	28.99	29	
Número de golpes (N)	17	26	35				
Límite líquido (%): 34		Límite plástico (%): 29			Índice de plasticidad (%): 5		

Figura 16

Límite líquido del suelo de la calicata 1 con adición de 5% de cemento

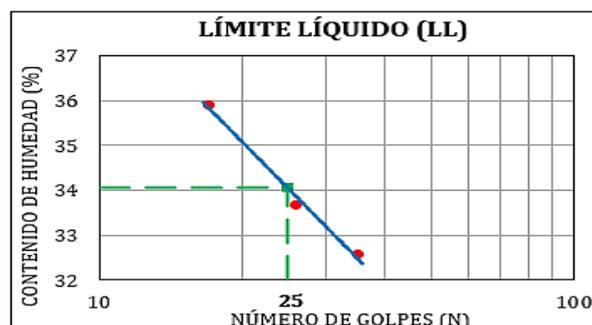


Tabla 33

Proctor modificado del suelo de la calicata 1

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m ³					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5621.00	5684.00	5715.00	5712.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1754.00	1817.00	1848.00	1845.00				
	Volumen del Molde (cm ³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)		1.884	1.952	1.985	1.982				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	206.20	200.00	182.50	214.70	155.50	152.50	214.10	213.80
	Peso Seco + Tara (gr)	184.00	178.90	160.90	189.00	135.70	133.60	182.90	183.10
	Peso Agua (gr)	22.20	21.10	21.60	25.70	19.80	18.90	31.20	30.70
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	159.70	153.90	135.10	164.30	111.70	108.50	158.00	157.60
	Contenido de Humedad (%)	13.90	13.71	15.99	15.64	17.73	17.42	19.75	19.48
	C. Humedad (%) promedio	13.81		15.82		17.57		19.61	
	DENSIDAD SECA (cm ³)	1.655		1.685		1.688		1.657	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³): 1.690		C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 17.00						

Figura 17

Curva de compactación del suelo de la calicata 1

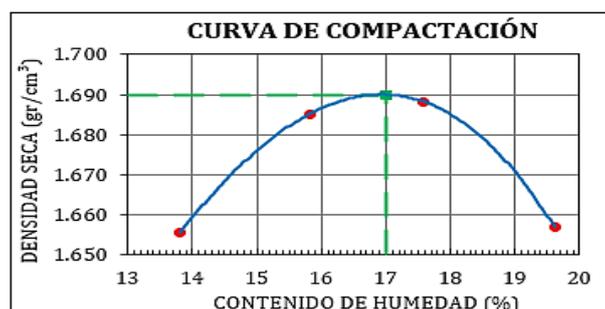


Tabla 34

Proctor modificado del suelo de la calicata 1 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m ³					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5709.00	5769.00	5803.00	5809.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1842.00	1902.00	1936.00	1942.00				
	Volumen del Molde (cm ³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)		1.979	2.043	2.079	2.086				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	208.30	220.60	185.30	191.90	159.80	152.60	222.40	221.30
	Peso Seco + Tara (gr)	188.40	200.00	165.90	171.70	141.30	135.50	192.20	192.00
	Peso Agua (gr)	19.90	20.60	19.40	20.20	18.50	17.10	30.20	29.30
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	164.10	175.00	140.10	147.00	117.30	110.40	167.30	166.50
	Contenido de Humedad (%)	12.13	11.77	13.85	13.74	15.77	15.49	18.05	17.60
	C. Humedad (%) promedio	11.95		13.79		15.63		17.82	
	DENSIDAD SECA (cm ³)	1.767		1.795		1.798		1.770	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³): 1.800		C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 14.96						

Figura 18

Curva de compactación del suelo de la calicata 1 con adición de 3% de cemento

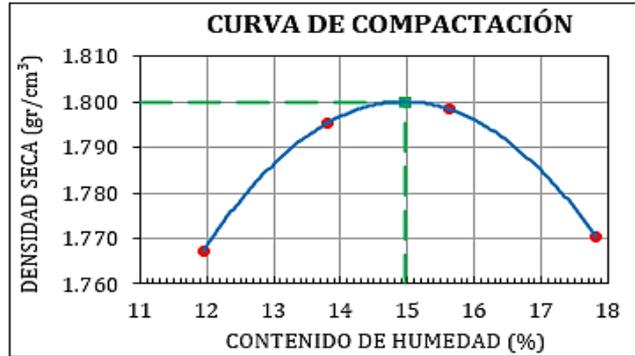


Tabla 35

Proctor modificado del suelo de la calicata 1 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5744.00	5805.00	5832.00	5841.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1877.00	1938.00	1965.00	1974.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)	2.016	2.082	2.111	2.120					
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	222.80	217.90	169.80	180.40	163.10	150.20	210.70	225.60
	Peso Seco + Tara (gr)	201.70	197.80	152.10	161.80	144.30	133.10	182.50	195.90
	Peso Agua (gr)	21.10	20.10	17.70	18.60	18.80	17.10	28.20	29.70
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	177.40	172.80	126.30	137.10	120.30	108.00	157.60	170.40
	Contenido de Humedad (%)	11.89	11.63	14.01	13.57	15.63	15.83	17.89	17.43
	C. Humedad (%) promedio	11.76		13.79		15.73		17.66	
DENSIDAD SECA (cm³)	1.804		1.829		1.824		1.802		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.830				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 14.32					

Figura 19

Curva de compactación del suelo de la calicata 1 con adición de 4% de cemento

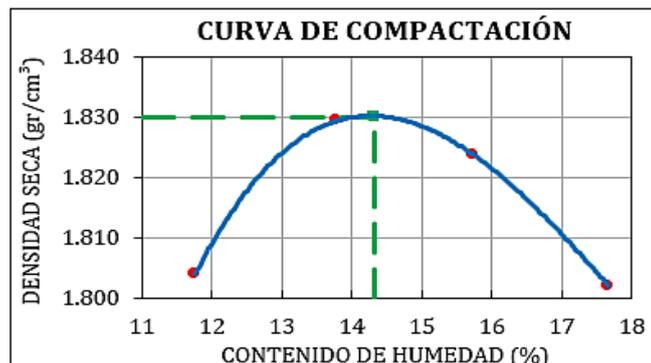


Tabla 36

Proctor modificado del suelo de la calicata 1 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5716.00	5776.00	5832.00	5833.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1849.00	1909.00	1965.00	1966.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.986	2.050	2.111	2.112				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	130.00	213.90	129.80	119.60	125.00	135.70	137.60	125.10
	Peso Seco + Tara (gr)	120.50	197.60	118.60	109.80	112.50	122.00	122.00	111.50
	Peso Agua (gr)	9.50	16.30	11.20	9.80	12.50	13.70	15.60	13.60
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	96.20	172.60	92.80	85.10	88.50	96.90	97.10	86.00
	Contenido de Humedad (%)	9.88	9.44	12.07	11.52	14.12	14.14	16.07	15.81
C. Humedad (%) promedio		9.66		11.79		14.13		15.94	
DENSIDAD SECA (cm³)		1.811		1.834		1.849		1.821	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.850				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 13.88					

Figura 20

Curva de compactación del suelo de la calicata 1 con adición de 5% de cemento

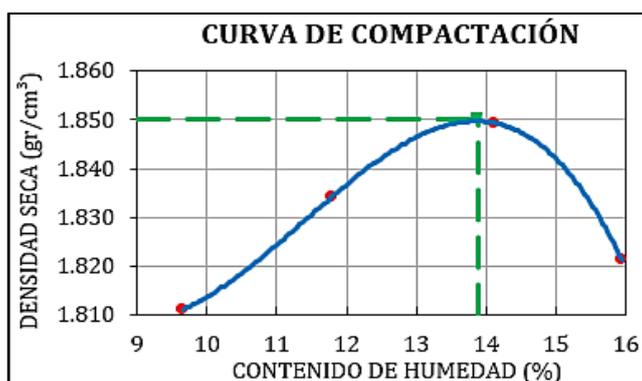


Tabla 37

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023									
COMPACTACIÓN (CBR)													
Molde	01		02		03								
Altura Molde (mm)	126		126		126								
N° Capas	5		5		5								
N° Golpes x Capa	13		27		56								
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS							
P. Húmedo + Molde (gr)	11645.0	11983.0	13265.0	13652.0	11402.0	11547.0							
Peso Molde (gr)	8036.0	8036.0	7097.0	7097.0	7096.0	7096.0							
Peso Húmedo (gr)	3609.0	3947.0	6168.0	6555.0	4306.0	4451.0							
Volumen del Molde (cm ³)	2105.82	2105.82	3191.02	3191.02	2098.51	2098.51							
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.714	1.874	1.933	2.054	2.052	2.121							
CONTENIDO DE HUMEDAD													
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9				
P. Húmedo + Tara (gr)	151.10	149.70	151.20	148.60	149.80	148.50	151.80	151.00	150.30				
Peso Seco + Tara (gr)	132.70	131.60	125.10	130.70	131.70	125.60	133.50	133.00	130.00				
Peso Agua (gr)	18.40	18.10	26.10	17.90	18.10	22.90	18.30	18.00	20.30				
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20				
P. Muestra Seca	108.40	106.60	99.30	106.00	107.70	100.50	108.60	107.50	104.80				
Contenido de Humedad %	16.97%	16.98%	26.28%	16.89%	16.81%	22.79%	16.85%	16.74%	19.37%				
C. Humedad Promedio	16.98%		26.28%	16.85%		22.79%	16.80%		19.37%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.465		1.484	1.654		1.673	1.757		1.777				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO													
Tiempo		Número de MOLDE N.º 01			Número de MOLDE N.º 02			Número de MOLDE N.º 03					
Acumulado		Lectura		Hinchamiento		Lectura		Hinchamiento		Lectura		Hinchamiento	
(Hs)	(Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.187	4.750	3.77	0.158	4.013	3.19	0.140	3.556	2.82	0.140	3.556	2.82
48	2	0.235	5.969	4.74	0.199	5.055	4.01	0.177	4.496	3.57	0.177	4.496	3.57
72	3	0.260	6.604	5.24	0.217	5.512	4.37	0.192	4.877	3.87	0.192	4.877	3.87
96	4	0.266	6.756	5.36	0.226	5.740	4.56	0.199	5.055	4.01	0.199	5.055	4.01
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN													
Penetración		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03					
(mm)	(pulg)	Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo				
		(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)			
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
0.64	0.025	12.21	0.63	9.01	14.52	0.75	10.72	15.76	0.81	11.64			
1.27	0.050	24.55	1.27	18.12	32.02	1.65	23.64	35.32	1.83	26.08			
1.91	0.075	38.01	1.96	28.06	48.10	2.49	35.51	54.67	2.83	40.36			
2.54	0.100	48.28	2.50	35.64	59.40	3.07	43.85	71.28	3.68	52.62			
3.18	0.125	55.33	2.86	40.85	68.89	3.56	50.86	83.03	4.45	63.51			
3.81	0.150	60.81	3.14	44.89	77.42	4.00	57.16	92.87	5.01	71.52			
4.45	0.175	65.16	3.37	48.11	84.43	4.36	62.33	101.46	5.45	77.86			
5.08	0.200	68.59	3.54	50.64	90.14	4.66	66.55	107.65	5.82	83.17			
7.62	0.300	76.98	3.98	56.83	106.48	5.50	78.61	131.43	7.00	99.99			
10.16	0.400	81.85	4.23	60.43	117.96	6.10	87.09	149.29	7.82	111.69			
12.70	0.500	85.03	4.39	62.78	124.00	6.41	91.55	161.33	8.39	119.84			
VALORES DE CBR CORREGIDOS													
Molde	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)				Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca				
N°	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"		(gr/cm ³)				
MOLDE 01	37.00	51.00		1000	1500	3.70	3.40	1.465					
MOLDE 02	45.00	67.00		1000	1500	4.50	4.47	1.654					
MOLDE 03	55.00	80.00		1000	1500	5.50	5.33	1.757					
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)								
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):					1.690		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		4.40 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):					17.00		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		4.20 %				

Figura 21

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1

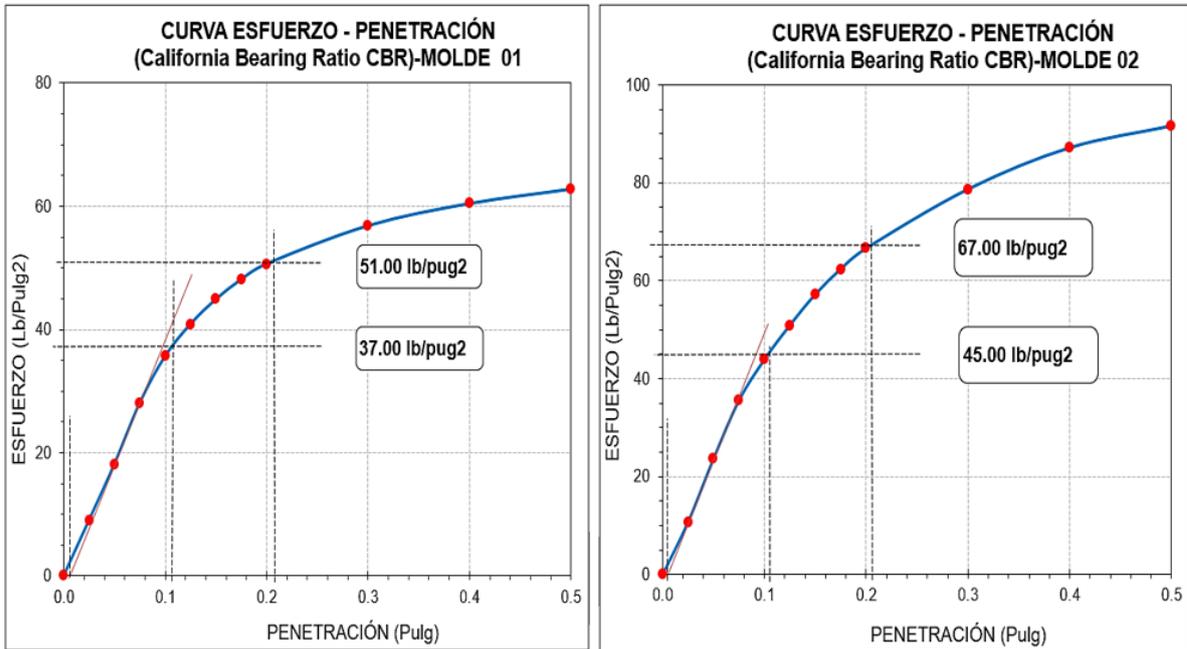


Figura 22

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 1

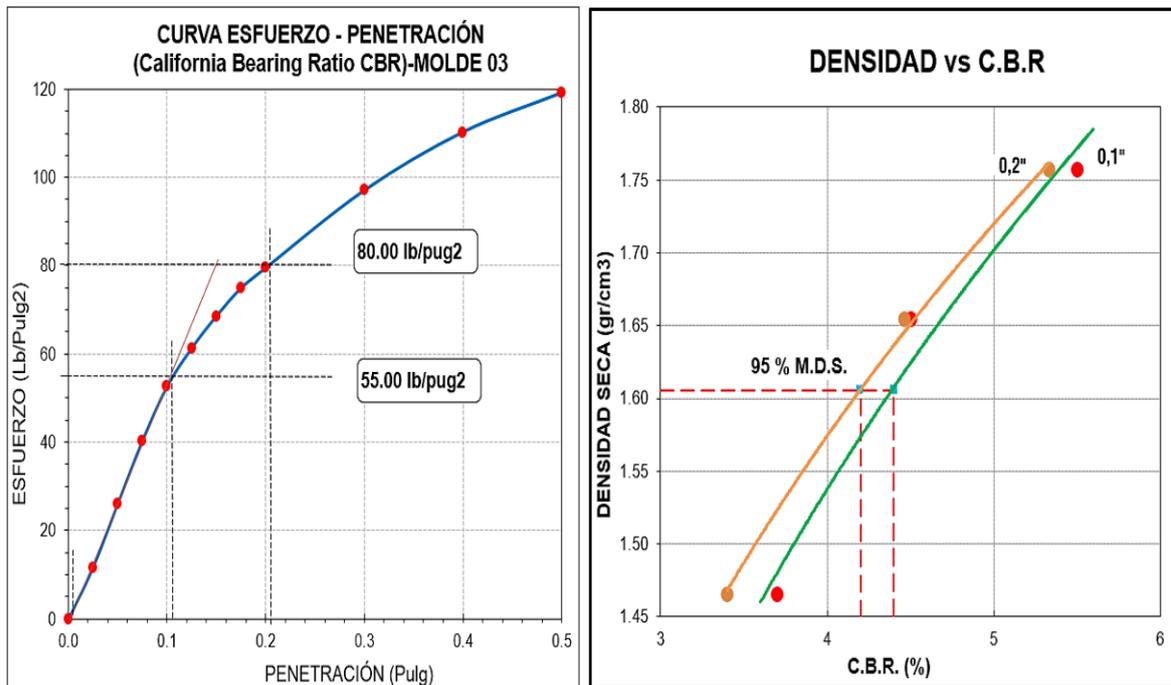


Tabla 38

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	1	2	3							
Altura Molde (mm)	126	126	126							
N° Capas	5	5	5							
N° Golpes x Capa	13	27	56							
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11754.0	12203.0	11189.0	11618.0	11380.0	11635.0				
Peso Molde (gr)	8036.0	8036.0	7097.0	7097.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3718.0	4167.0	4092.0	4521.0	4284.0	4539.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2098.51	2098.51	2124.63	2124.63	2105.82	2105.82				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.772	1.986	1.926	2.128	2.034	2.155				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	148.90	149.10	148.40	151.00	151.00	148.20	147.20	149.30	149.50	
Peso Seco + Tara (gr)	133.30	133.60	122.20	135.40	135.30	123.50	132.40	133.80	127.80	
Peso Agua (gr)	15.60	15.50	26.20	15.60	15.70	24.70	14.80	15.50	21.70	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	109.00	108.60	96.40	110.70	111.30	98.40	107.50	108.30	102.60	
Contenido de Humedad %	14.31%	14.27%	27.18%	14.09%	14.11%	25.10%	13.77%	14.31%	21.15%	
C. Humedad Promedio	14.29%	27.18%	14.10%	25.10%	14.04%	21.15%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.550	1.561	1.688	1.701	1.784	1.779				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo	Número de MOLDE N° 01			Número de MOLDE N° 02			Número de MOLDE N° 03			
Acumulado	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	
(Hs) (Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.129	3.277	2.60	0.108	2.743	2.18	0.091	2.311	1.83
48	2	0.162	4.115	3.27	0.135	3.429	2.72	0.113	2.870	2.28
72	3	0.180	4.572	3.63	0.149	3.785	3.00	0.125	3.175	2.52
96	4	0.191	4.851	3.85	0.153	3.886	3.08	0.128	3.251	2.58
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
(mm)	(pulg)	Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
		(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	38.43	1.99	28.37	24.27	1.25	17.92	34.47	1.78	25.45
1.27	0.050	80.84	4.18	59.68	67.34	3.48	49.72	84.33	4.36	62.26
1.91	0.075	125.57	6.49	92.71	116.59	6.03	86.08	142.65	7.37	105.32
2.54	0.100	171.09	8.84	126.31	169.51	8.76	125.15	199.75	10.32	147.47
3.18	0.125	209.20	10.81	154.45	221.46	11.44	163.50	258.10	13.34	190.55
3.81	0.150	240.92	12.45	177.87	262.67	13.57	193.92	308.22	15.93	227.55
4.45	0.175	266.44	13.77	196.71	297.63	15.38	219.73	351.17	18.15	259.26
5.08	0.200	286.97	14.83	211.86	325.00	16.80	239.94	389.86	20.15	287.83
7.62	0.300	357.59	18.48	264.00	406.23	20.99	299.91	503.48	26.02	371.71
10.16	0.400	407.23	21.05	300.65	454.87	23.51	335.82	544.55	28.14	402.03
12.70	0.500	442.61	22.87	326.77	472.00	24.39	348.47	563.62	29.13	416.11
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)			C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)	
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		
MOLDE 01	134.00	215.00		1000	1500		13.40	14.33	1.550	
MOLDE 02	151.00	252.00		1000	1500		15.10	16.80	1.688	
MOLDE 03	171.00	303.00		1000	1500		17.10	20.20	1.784	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.800	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			15.70 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			14.96	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			17.90 %			

Figura 23

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1 (3% cemento)

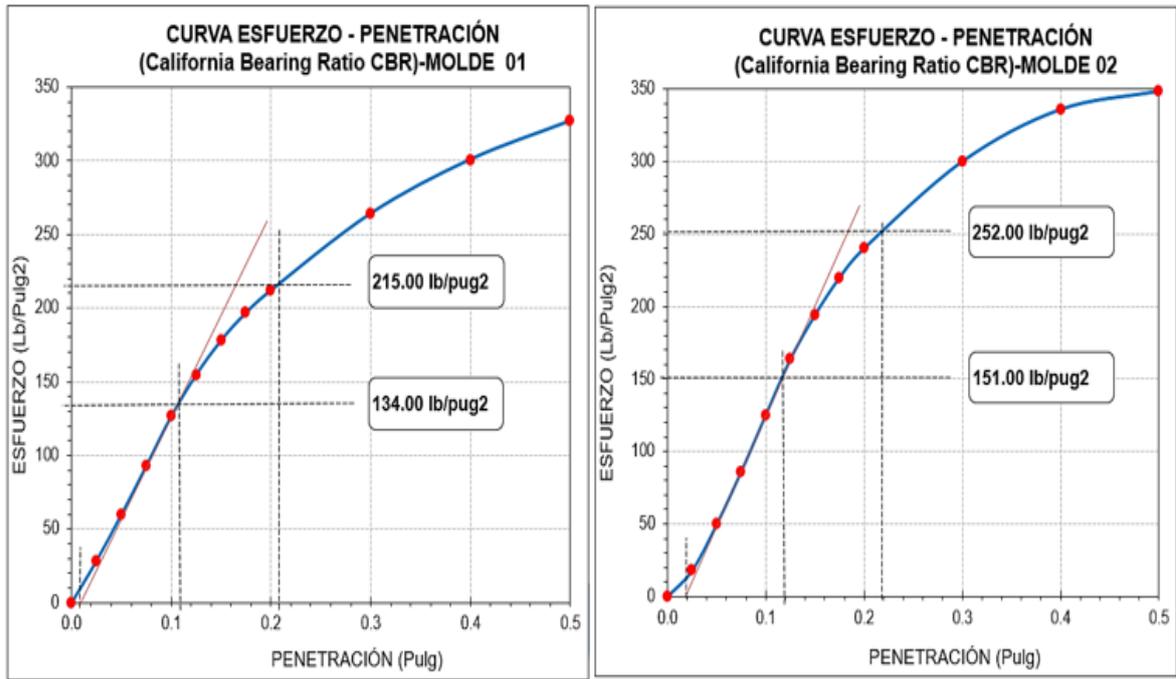


Figura 24

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR-densidad seca del suelo de la calicata 1 (3% cemento)

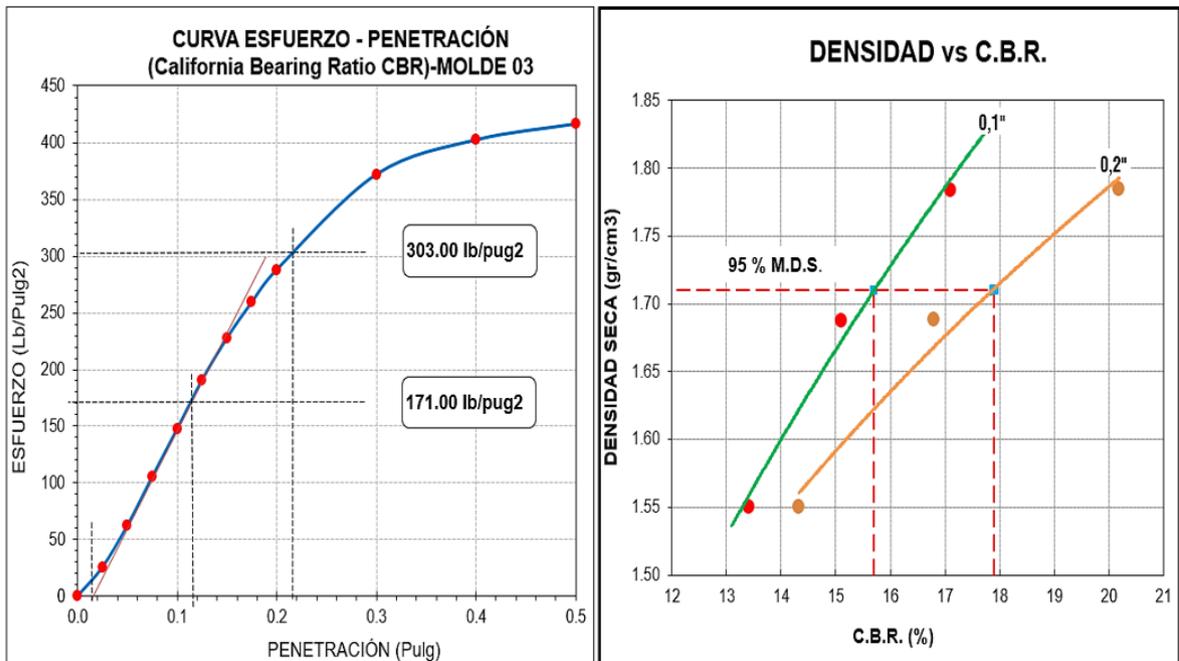


Tabla 39

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	1	2	3							
Altura Molde (mm)	126	126	126							
N° Capas	5	5	5							
N° Golpes x Capa	13	27	56							
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11811.0	12307.0	11205.0	11597.0	11485.0	11741.0				
Peso Molde (gr)	8036.0	8036.0	7097.0	7097.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3775.0	4271.0	4108.0	4500.0	4389.0	4645.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2120.15	2120.15	2124.63	2124.63	2123.55	2123.55				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.781	2.014	1.934	2.118	2.067	2.187				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	152.50	150.90	149.90	151.30	151.80	150.60	150.40	151.30	148.00	
Peso Seco + Tara (gr)	136.40	135.00	121.60	135.20	135.90	126.30	134.60	135.50	128.30	
Peso Agua (gr)	16.10	15.90	28.30	16.10	15.90	24.30	15.80	15.80	19.70	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	112.10	110.00	95.80	110.50	111.90	101.20	109.70	110.00	103.10	
Contenido de Humedad %	14.36%	14.45%	29.54%	14.57%	14.21%	24.01%	14.40%	14.36%	19.11%	
C. Humedad Promedio	14.41%	29.54%	14.39%	24.01%	14.38%	19.11%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.556	1.555	1.690	1.708	1.807	1.836				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 01		Número de MOLDE N.º 02			Número de MOLDE N.º 03				
	Lectura	Hinchamiento	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento			
	Deform.	(mm) (%)	Deform.	(mm) (%)	(mm) (%)	Deform.	(mm) (%)	(mm) (%)		
0	0	0.000 0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.00	0.000	0.000 0.00	0.00		
24	1	0.109 2.769 2.20	0.090	2.286 1.81	1.81	0.069	1.753 1.39	1.39		
48	2	0.135 3.429 2.72	0.113	2.870 2.28	2.28	0.088	2.235 1.77	1.77		
72	3	0.149 3.785 3.00	0.126	3.200 2.54	2.54	0.098	2.489 1.98	1.98		
96	4	0.155 3.937 3.12	0.128	3.251 2.58	2.58	0.101	2.565 2.04	2.04		
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N°03		
(mm)	(pulg)	Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo	
			(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)		(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)		(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	36.18	1.87	26.71	43.68	2.26	32.25	45.81	2.37	33.82
1.27	0.050	94.26	4.87	69.59	106.80	5.52	78.85	116.14	6.00	85.74
1.91	0.075	158.76	8.20	117.21	180.09	9.31	132.96	192.16	9.93	141.87
2.54	0.100	225.30	11.64	166.33	254.97	13.18	188.24	267.83	13.84	197.73
3.18	0.125	284.98	14.73	210.39	324.48	16.77	239.56	344.24	17.79	254.15
3.81	0.150	337.66	17.45	249.29	393.99	20.36	290.87	419.28	21.67	309.55
4.45	0.175	382.81	19.78	282.62	450.96	23.31	332.93	486.52	25.14	359.19
5.08	0.200	420.79	21.75	310.66	495.41	25.60	365.75	546.16	28.23	403.22
7.62	0.300	529.94	27.39	391.24	613.37	31.70	452.84	720.64	37.24	532.03
10.16	0.400	590.90	30.54	436.25	659.33	34.07	486.77	772.65	39.93	570.43
12.70	0.500	628.98	32.51	464.36	683.80	35.34	504.84	766.27	39.60	565.72
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 01	189.00	325.00		1000	1500	18.90	21.67	1.556		
MOLDE 02	207.00	379.00		1000	1500	20.70	25.27	1.690		
MOLDE 03	232.00	425.00		1000	1500	23.20	28.33	1.807		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)							VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)			
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.830	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			21.80 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			14.32	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			26.40 %			

Figura 25

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1 (4% cemento)

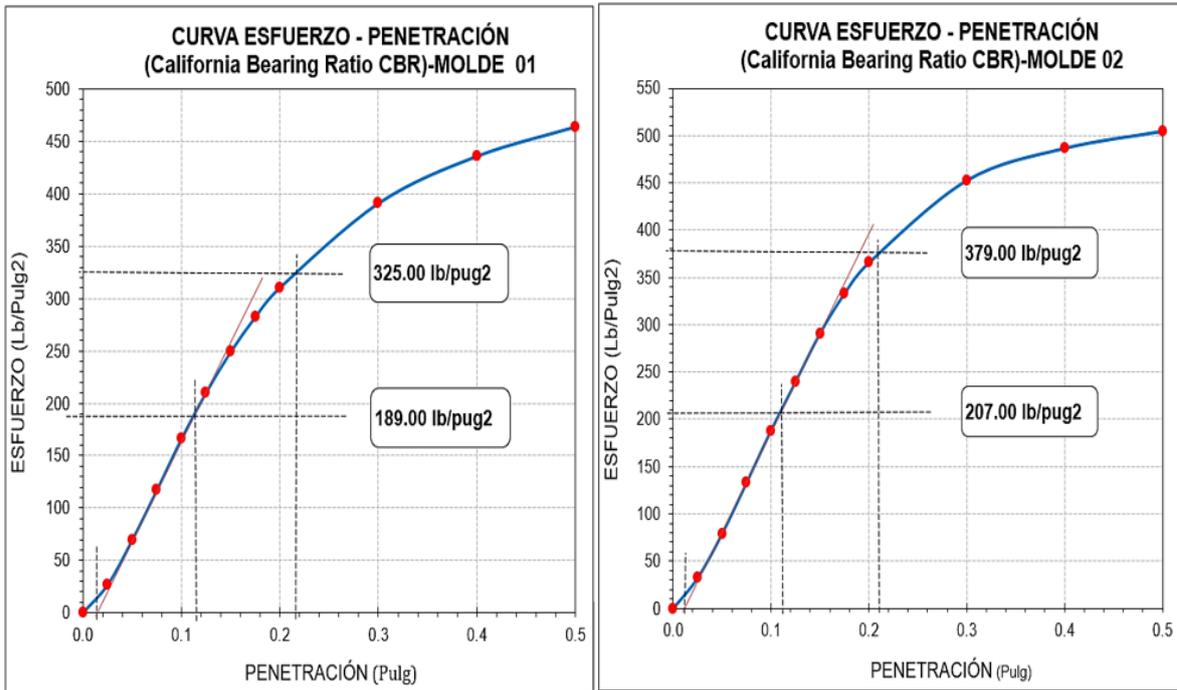


Figura 26

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 1 (4% cemento)

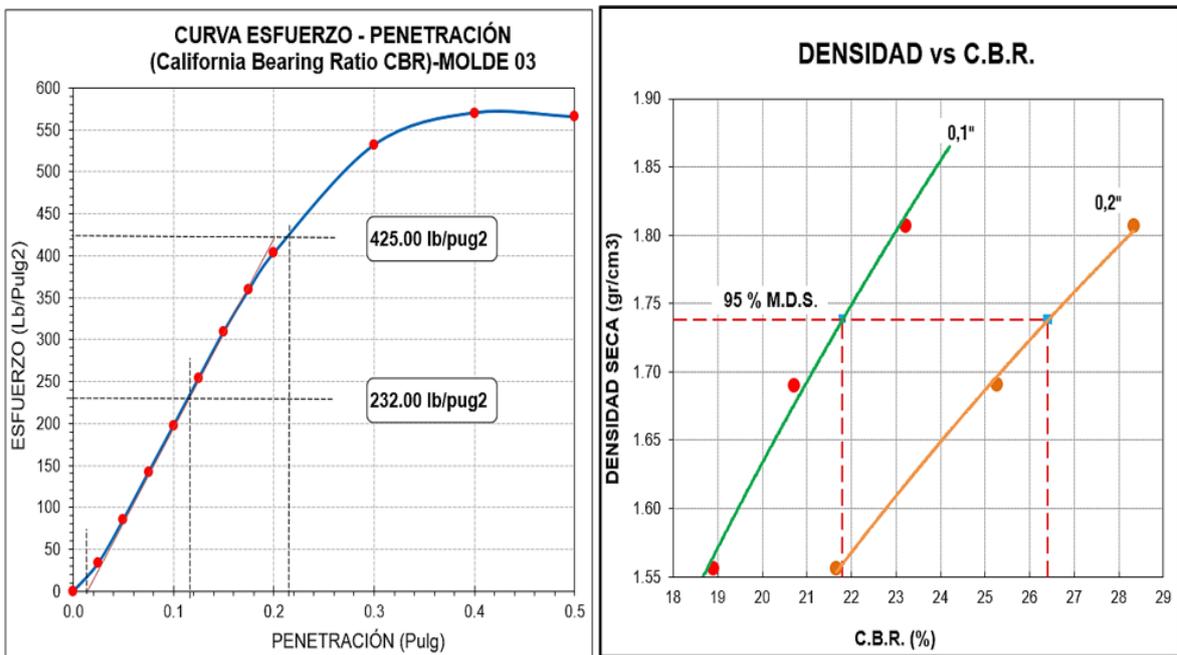


Tabla 40

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 1 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(15) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	1	2	3							
Altura Molde (mm)	126	126	126							
N° Capas	5	5	5							
N° Golpes x Capa	13	27	56							
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11730.0	12164.0	11175.0	11521.0	11412.0	11649.0				
Peso Molde (gr)	8036.0	8036.0	7097.0	7097.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3694.0	4128.0	4078.0	4424.0	4316.0	4553.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2105.82	2105.82	2124.63	2124.63	2098.51	2098.51				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.754	1.960	1.919	2.082	2.057	2.170				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	154.30	152.30	151.40	149.30	148.90	148.80	151.30	150.40	151.30	
Peso Seco + Tara (gr)	138.50	136.80	125.60	134.30	133.90	125.80	136.00	135.50	131.00	
Peso Agua (gr)	15.80	15.50	25.80	15.00	15.00	23.00	15.30	14.90	20.30	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	114.20	111.80	99.80	109.60	109.90	100.70	111.10	110.00	105.80	
Contenido de Humedad %	13.84%	13.86%	25.85%	13.69%	13.65%	22.84%	13.77%	13.55%	19.19%	
C. Humedad Promedio	13.85%	25.85%	13.67%	22.84%	13.66%	19.19%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.541	1.558	1.689	1.695	1.810	1.820				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 01			Número de MOLDE N.º 02			Número de MOLDE N.º 03			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.085	2.159	1.71	0.072	1.829	1.45	0.053	1.346	1.07
48	2	0.106	2.692	2.14	0.092	2.337	1.85	0.067	1.702	1.35
72	3	0.119	3.023	2.40	0.101	2.565	2.04	0.075	1.905	1.51
96	4	0.121	3.073	2.44	0.103	2.616	2.08	0.076	1.930	1.53
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN (mm) (pulg)		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	60.71	3.14	44.82	67.00	3.46	49.46	84.72	4.38	62.55
1.27	0.050	137.51	7.11	101.52	141.35	7.30	104.36	178.05	9.20	131.45
1.91	0.075	215.84	11.15	159.35	232.35	12.01	171.54	274.49	14.19	202.65
2.54	0.100	295.55	15.27	218.20	322.09	16.65	237.79	372.65	19.26	275.12
3.18	0.125	363.94	18.81	268.69	413.23	21.36	305.08	473.98	24.50	349.93
3.81	0.150	430.11	22.23	317.54	500.75	25.88	369.69	575.42	29.74	424.82
4.45	0.175	485.63	25.10	358.53	583.14	30.14	430.52	671.90	34.72	496.05
5.08	0.200	533.65	27.58	393.98	652.77	33.73	481.93	765.11	39.54	564.87
7.62	0.300	662.27	34.23	488.94	849.59	43.91	627.24	1060.54	54.81	782.98
10.16	0.400	716.37	37.02	528.88	839.47	43.38	619.76	1048.02	54.16	773.73
12.70	0.500	727.10	37.58	536.80	825.83	42.68	609.69	1018.04	52.61	751.60
VALORES DE CABR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 01	229.00	404.00		1000	1500	22.90	26.93	1.541		
MOLDE 02	262.00	498.00		1000	1500	26.20	33.20	1.689		
MOLDE 03	298.00	585.00		1000	1500	29.80	39.00	1.810		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.850		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			28.20 %		
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			13.88		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			36.40 %		

Figura 27

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 1 (5% cemento)

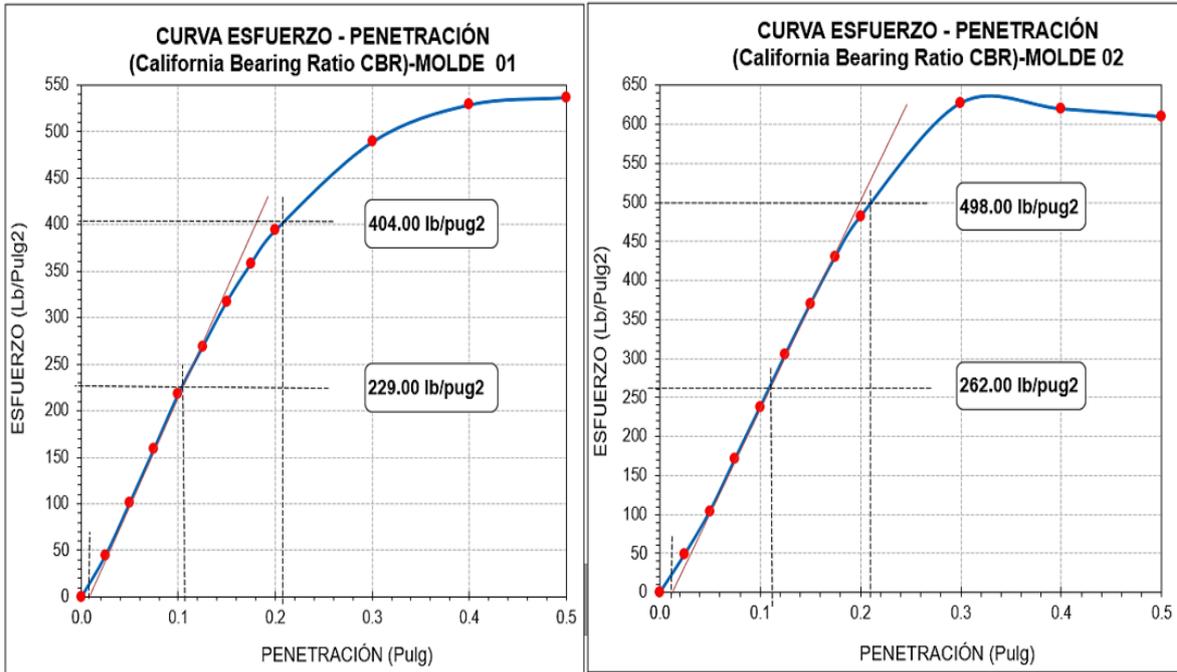


Figura 28

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 1 (5% cemento)

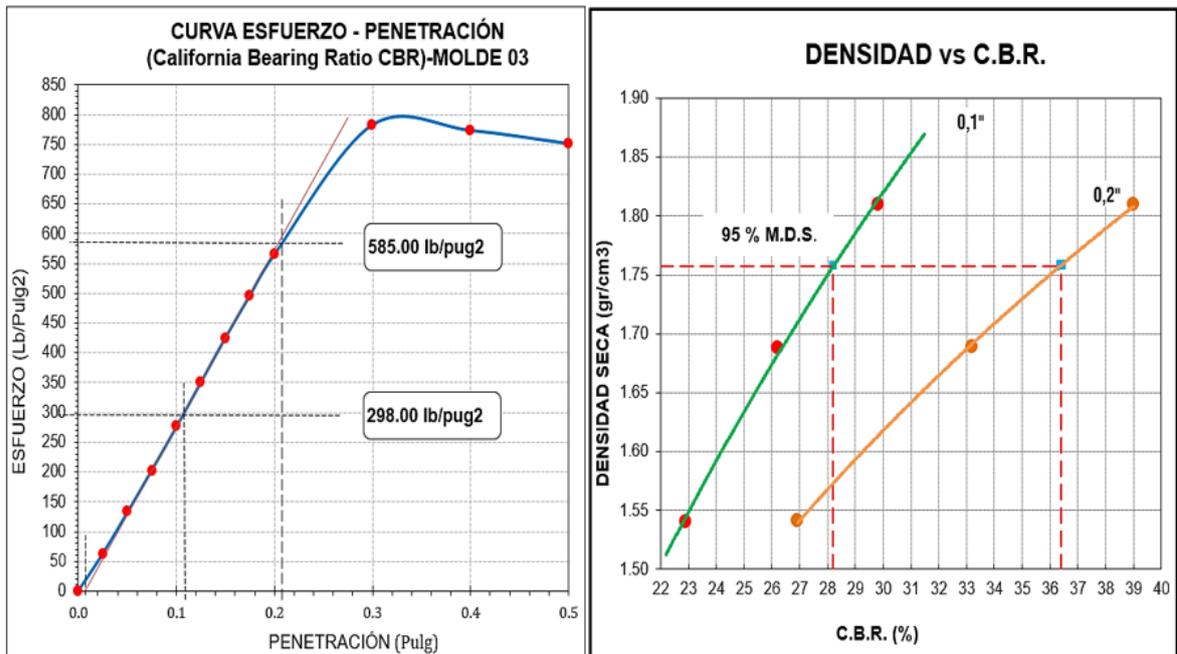


Tabla 41

Contenido de humedad del suelo de la calicata 2

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023	
Ensayo:		1	2		
W (tara + M. Húmeda) gr		126.70	150.30		
W (tara + M. Seca) gr		106.30	126.10		
W agua (gr)		20.40	24.20		
W tara (gr)		24.50	24.50		
W Muestra Seca (gr)		81.80	101.60		
Contenido de humedad (%)		24.94	23.82		
Contenido de humedad (%):		24.38			

Tabla 42

Análisis granulométrico del suelo de la calicata 2

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023	
Peso total muestra seca (gr)				1195.00	
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Ret. Parcial	Peso Ret. Acumulado	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	2.50	2.50	0.21	99.79
1/4"	6.350	4.60	7.10	0.59	99.41
No. 4	4.750	6.40	13.50	1.13	98.87
No. 10	2.000	10.40	23.90	2.00	98.00
No. 20	0.850	9.20	45.45	3.80	96.20
No. 40	0.425	10.90	70.98	5.94	94.06
No. 60	0.250	19.50	116.65	9.76	90.24
No. 140	0.106	26.30	178.25	14.92	85.08
No. 200	0.075	20.40	226.03	18.91	81.09
Pérdida por lavado		413.70	1195.0	100.0	0.0
Grava (4.75mm - 75mm)		Arena (0.075mm - 4.75mm)		Limo y arcilla (<0.075mm)	
1.13 %		17.79 %		81.09 %	

Figura 29

Curva granulométrica del suelo de la calicata 2

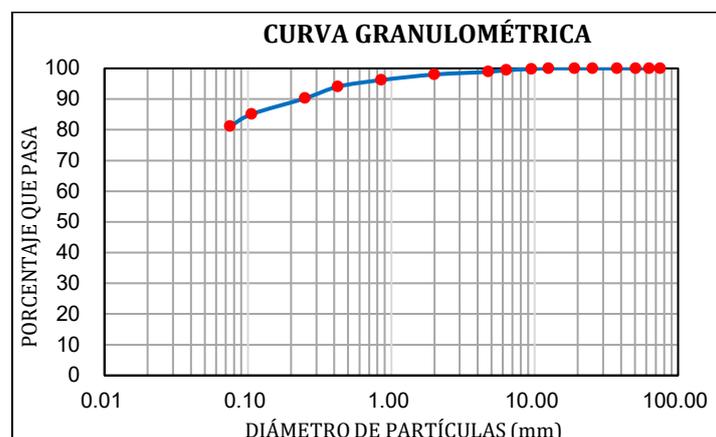


Tabla 43

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2			Fecha: Julio 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	51.30	50.40	51.10	46.90	45.70	
Peso Tara+ M. Seca (gr)	41.60	41.30	42.20	43.70	42.60	
Peso agua (gr)	9.70	9.10	8.90	3.20	3.10	
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40	
Peso M. Seca (gr)	16.50	16.40	16.70	18.50	18.20	
Contenido de humedad (W%)	58.79	55.49	53.29	17.30	17.03	17
Número de golpes (N)	16	27	36			
Límite líquido (%): 56		Límite plástico (%): 17		Índice de plasticidad (%): 39		Índice de grupo: 32

Figura 30

Límite líquido del suelo de la calicata 2

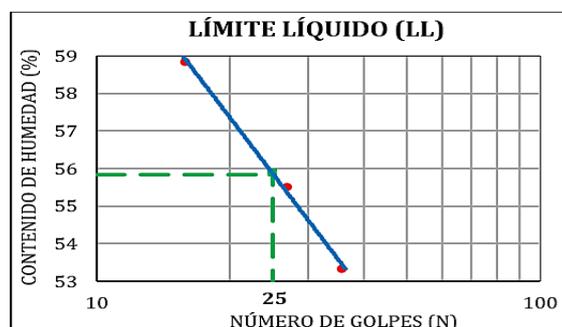


Tabla 44

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	51.90	52.20	51.50	47.10	47.70	
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.50	42.90	42.80	43.50	43.80	
Peso agua (gr)	9.40	9.30	8.70	3.60	3.90	
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40	
Peso M. Seca (gr)	17.40	18.00	17.30	18.30	19.40	
Contenido de humedad (W%)	54.02	51.67	50.29	19.67	20.10	20
Número de golpes (N)	15	26	34			
Límite líquido (%): 52		Límite plástico (%): 20		Índice de plasticidad (%): 32		

Figura 31

Límite líquido del suelo de la calicata 2 con adición de 3% de cemento

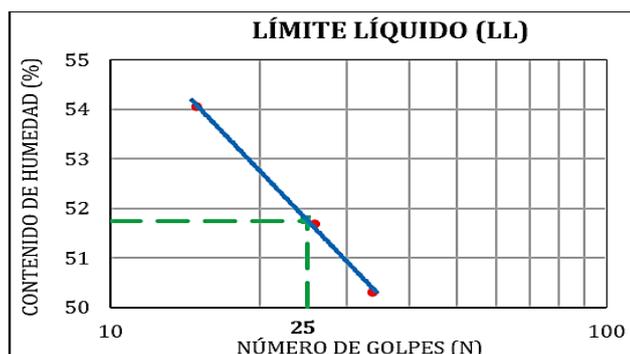


Tabla 45

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	47.50	47.90	48.20	45.80	46.10		
Peso Tara + M. Seca (gr)	39.70	40.10	40.70	42.10	42.20		
Peso agua (gr)	7.80	7.80	7.50	3.70	3.90		
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40		
Peso M. Seca (gr)	14.60	15.20	15.20	16.90	17.80		
Contenido de humedad (W%)	53.42	51.32	49.34	21.89	21.91	22	
Número de golpes (N)	16	22	34				
Límite líquido (%): 51		Límite plástico (%): 22			Índice de plasticidad (%): 29		

Figura 32

Límite líquido del suelo de la calicata 2 con adición de 4% de cemento

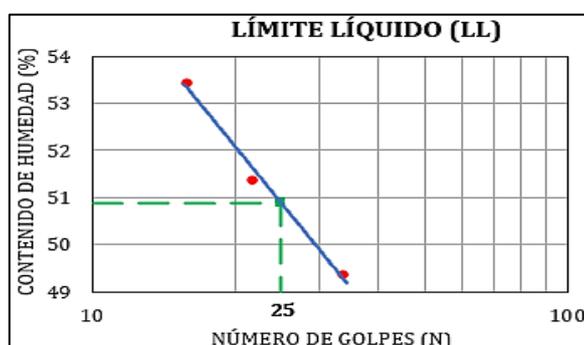


Tabla 46

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 2 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	52.40	51.70	52.00	46.10	46.90		
Peso Tara + M. Seca (gr)	43.00	42.70	43.30	42.20	42.70		
Peso agua (gr)	9.40	9.00	8.70	3.90	4.20		
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40		
Peso M. Seca (gr)	17.90	17.80	17.80	17.00	18.30		
Contenido de humedad (W%)	52.51	50.56	48.88	22.94	22.95	23	
Número de golpes (N)	15	24	32				
Límite líquido (%): 50		Límite plástico (%): 23			Índice de plasticidad (%): 27		

Figura 33

Límite líquido del suelo de la calicata 2 con adición de 5% de cemento

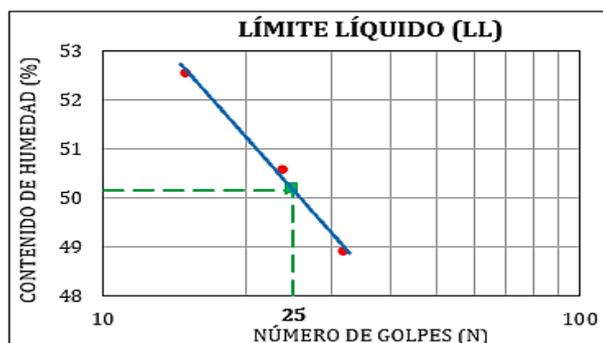


Tabla 47

Proctor modificado del suelo de la calicata 2

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2				Fecha: Julio 2023			
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1		2		3		4	
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5562.00		5636.00		5651.00		5637.00	
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00	
	Peso Húmedo (gr)	1695.00		1769.00		1784.00		1770.00	
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00	
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.821		1.900		1.916		1.901	
HUMEDAD	Tara	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)	160.60	125.50	145.00	160.40	150.10	146.70	151.40	155.30
	Peso Seco + Tara (gr)	141.80	111.90	126.90	139.70	129.50	126.70	128.50	132.10
	Peso Agua (gr)	18.80	13.60	18.10	20.70	20.60	20.00	22.90	23.20
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	116.60	87.50	100.90	113.80	103.40	101.30	103.70	106.50
	Contenido de Humedad (%)	16.12	15.54	17.94	18.19	19.92	19.74	22.08	21.78
	C. Humedad (%) promedio	15.83		18.06		19.83		21.93	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.572		1.609		1.599		1.559	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.610		C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 18.30						

Figura 34

Curva de compactación del suelo de la calicata 2

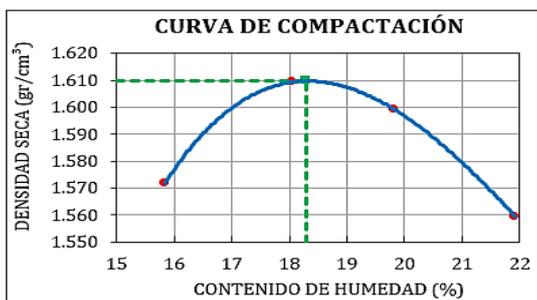


Tabla 48

Proctor modificado del suelo de la calicata 2 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2				Fecha: Agosto 2023			
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1		2		3		4	
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5627.00		5694.00		5725.00		5721.00	
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00	
	Peso Húmedo (gr)	1760.00		1827.00		1858.00		1854.00	
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00	
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.890		1.962		1.996		1.991	
HUMEDAD	Tara	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)	165.20	167.20	149.70	150.30	151.40	152.60	155.00	155.90
	Peso Seco + Tara (gr)	148.00	149.80	132.90	133.80	132.50	133.60	133.40	134.30
	Peso Agua (gr)	17.20	17.40	16.80	16.50	18.90	19.00	21.60	21.60
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	122.80	125.40	106.90	107.90	106.40	108.20	108.60	108.70
	Contenido de Humedad (%)	14.01	13.88	15.72	15.29	17.76	17.56	19.89	19.87
	C. Humedad (%) promedio	13.94		15.50		17.66		19.88	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.659		1.699		1.696		1.661	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.704		C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 16.42						

Figura 35

Curva de compactación del suelo de la calicata 2 con adición de 3% de cemento

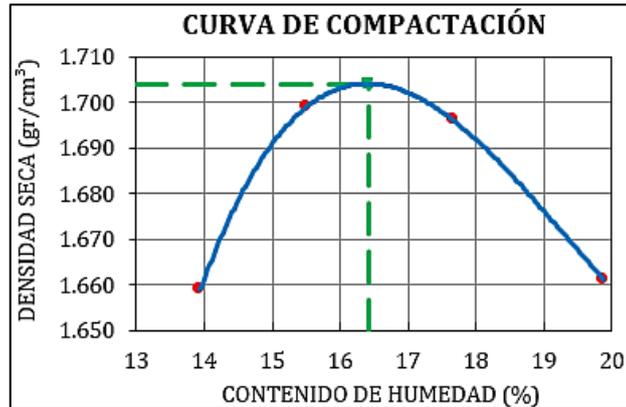


Tabla 49

Proctor modificado del suelo de la calicata 2 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2				Fecha: Agosto 2023			
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1		2		3		4	
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5659.00		5726.00		5740.00		5734.00	
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00	
	Peso Húmedo (gr)	1792.00		1859.00		1873.00		1867.00	
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.925		1.997		2.012		2.005	
HUMEDAD	Tara	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)	165.00	166.70	152.50	154.80	156.30	155.30	158.40	158.60
	Peso Seco + Tara (gr)	148.10	149.00	135.20	137.40	136.40	135.70	135.80	136.90
	Peso Agua (gr)	16.90	17.70	17.30	17.40	19.90	19.60	22.60	21.70
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	122.90	124.60	109.20	111.50	110.30	110.30	111.00	111.30
	Contenido de Humedad (%)	13.75	14.21	15.84	15.61	18.04	17.77	20.36	19.50
	C. Humedad (%) promedio	13.98		15.72		17.91		19.93	
DENSIDAD SECA (cm³)	1.689		1.725		1.706		1.672		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.726				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 16.00					

Figura 36

Curva de compactación del suelo de la calicata 2 con adición de 4% de cemento

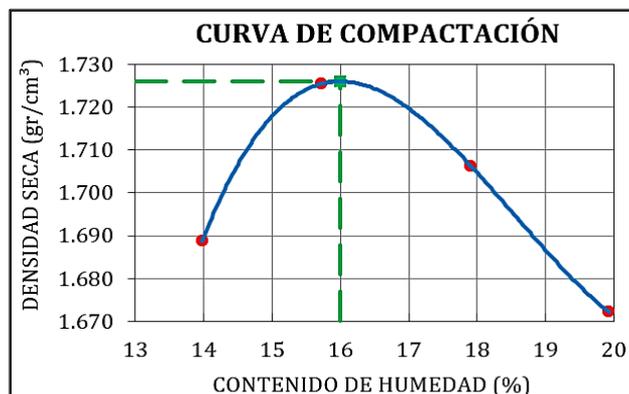


Tabla 50

Proctor modificado del suelo de la calicata 2 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m ³					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5635.00	5701.00	5748.00	5741.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1768.00	1834.00	1881.00	1874.00				
	Volumen del Molde (cm ³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)		1.899	1.970	2.020	2.013				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	163.40	164.70	151.10	154.00	155.10	153.60	156.00	157.30
	Peso Seco + Tara (gr)	148.70	149.90	135.80	138.40	137.20	136.10	136.10	137.30
	Peso Agua (gr)	14.70	14.80	15.30	15.60	17.90	17.50	19.90	20.00
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	123.50	125.50	109.80	112.50	111.10	110.70	111.30	111.70
	Contenido de Humedad (%)	11.90	11.79	13.93	13.87	16.11	15.81	17.88	17.91
	C. Humedad (%) promedio	11.85		13.90		15.96		17.89	
DENSIDAD SECA (cm ³)		1.698		1.730		1.742		1.707	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³): 1.743				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 15.65					

Figura 37

Curva de compactación del suelo de la calicata 2 con adición de 5% de cemento

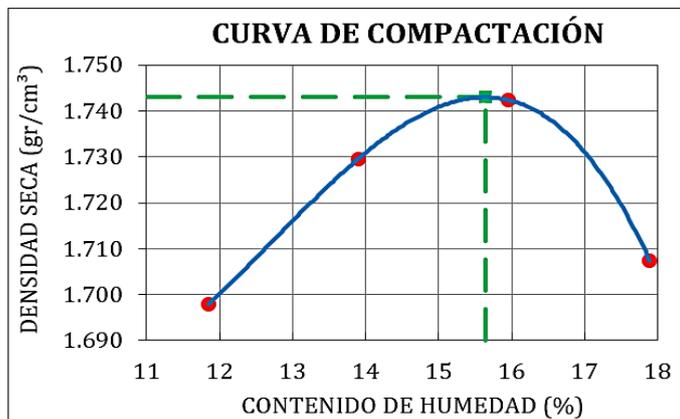


Tabla 51

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH			Estrato: E-2			Fecha: Julio 2023				
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	04		05		06					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11182.0	11574.0	11331.0	11588.0	12232.0	12401.0				
Peso Molde (gr)	7489.0	7489.0	7316.0	7316.0	8035.0	8035.0				
Peso Húmedo (gr)	3693.0	4085.0	4015.0	4272.0	4197.0	4366.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2129.58	2129.58	2123.72	2123.72	2105.82	2105.82				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.734	1.918	1.891	2.012	1.993	2.073				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	141.20	143.40	142.40	142.10	142.90	143.90	144.00	143.30	143.00	
Peso Seco + Tara (gr)	123.10	125.30	115.50	124.20	124.90	119.90	125.80	125.00	121.50	
Peso Agua (gr)	18.10	18.10	26.90	17.90	18.00	24.00	18.20	18.30	21.50	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	98.70	99.30	89.60	98.10	99.50	95.10	100.20	101.10	95.80	
Contenido de Humedad %	18.34%	18.23%	30.02%	18.25%	18.09%	25.24%	18.16%	18.10%	22.44%	
C. Humedad Promedio	18.28%		30.02%		18.17%		25.24%		18.13%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.466		1.475		1.600		1.606		1.687	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N° 04			Número de MOLDE N° 05			Número de MOLDE N° 06			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.235	5.969	4.74	0.198	5.029	3.99	0.176	4.470	3.55
48	2	0.297	7.544	5.99	0.253	6.426	5.10	0.226	5.740	4.56
72	3	0.327	8.306	6.59	0.275	6.985	5.54	0.247	6.274	4.98
96	4	0.366	9.296	7.38	0.309	7.849	6.23	0.275	6.985	5.54
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 04			MOLDE N° 05			MOLDE N°06		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	4.65	0.24	3.43	7.81	0.40	5.77	11.12	0.57	8.21
1.27	0.050	11.75	0.61	8.67	18.06	0.93	13.33	25.21	1.30	18.61
1.91	0.075	18.54	0.96	13.69	25.74	1.33	19.00	36.13	1.87	26.67
2.54	0.100	23.01	1.19	16.99	31.52	1.63	23.27	44.98	2.32	33.21
3.18	0.125	26.08	1.35	19.25	35.54	1.84	26.24	50.41	2.61	37.22
3.81	0.150	28.04	1.45	20.70	37.80	1.95	27.91	54.38	2.81	40.15
4.45	0.175	29.90	1.55	22.07	39.89	2.06	29.45	57.31	2.96	42.31
5.08	0.200	31.06	1.61	22.93	42.08	2.17	31.07	59.99	3.10	44.29
7.62	0.300	34.25	1.77	25.29	48.37	2.50	35.71	69.51	3.59	51.32
10.16	0.400	35.99	1.86	26.57	53.31	2.76	39.36	76.86	3.97	56.74
12.70	0.500	37.72	1.95	27.85	56.50	2.92	41.71	82.06	4.24	60.58
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)				Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)	
	0.1"	0.2"			0.1"	0.2"	0.1"	0.2"		
MOLDE 04	18.00	21.00			1000	1500	1.80	1.40	1.466	
MOLDE 05	24.00	31.00			1000	1500	2.40	2.07	1.600	
MOLDE 06	34.00	44.00			1000	1500	3.40	2.93	1.687	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)										
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.610		VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			18.30		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			2.10 %		
					C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			1.70 %		

Figura 38

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2

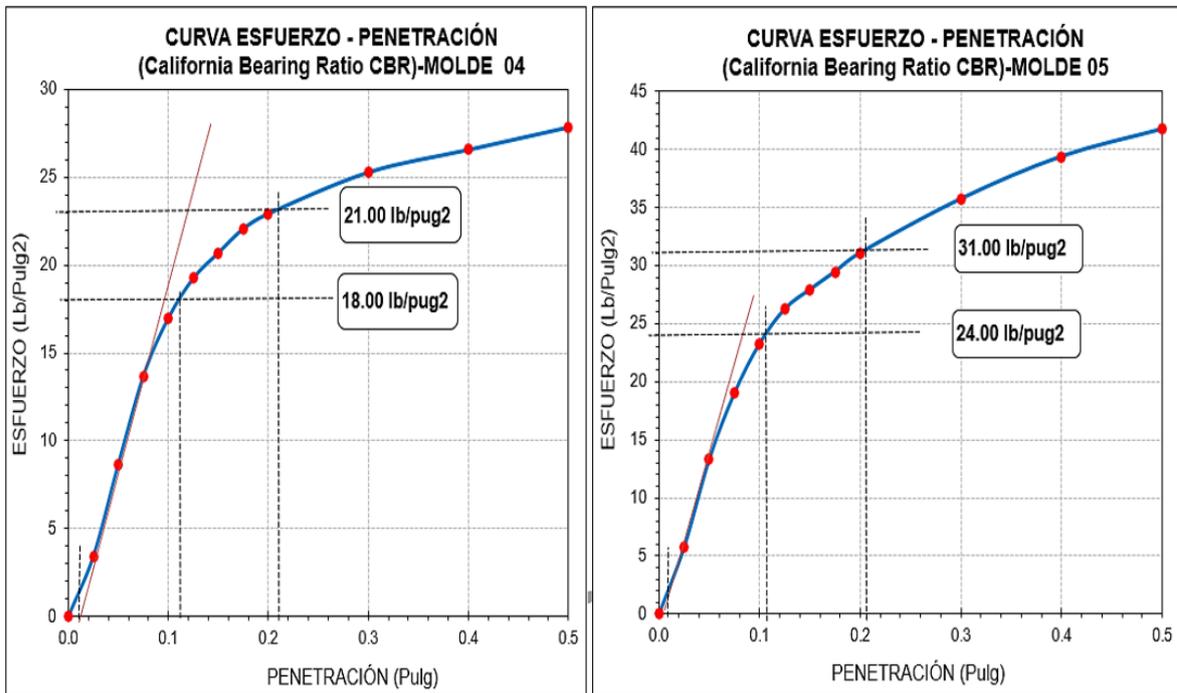


Figura 39

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2

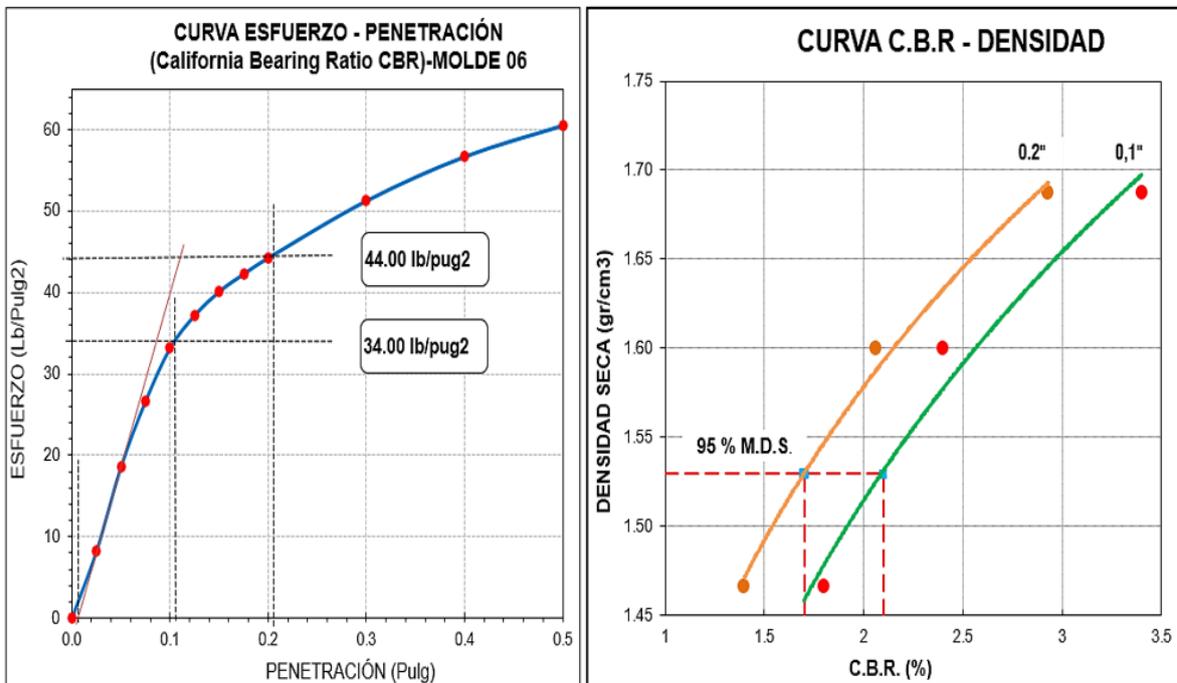


Tabla 52

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	04		05		06					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11020.0	11547.0	11253.0	11742.0	12210.0	12585.0				
Peso Molde (gr)	7489.0	7489.0	7316.0	7316.0	8035.0	8035.0				
Peso Húmedo (gr)	3531.0	4058.0	3937.0	4426.0	4175.0	4550.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2105.82	2105.82	2123.72	2123.72	2129.58	2129.58				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.677	1.927	1.854	2.084	1.960	2.137				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	148.30	149.20	148.70	147.10	147.80	149.00	147.40	146.50	146.70	
Peso Seco + Tara (gr)	131.10	132.20	117.90	130.40	131.00	120.40	130.70	129.80	121.20	
Peso Agua (gr)	17.20	17.00	30.80	16.70	16.80	28.60	16.70	16.70	25.50	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	106.70	106.20	92.00	104.30	105.60	95.60	105.10	105.90	95.50	
Contenido de Humedad %	16.12%	16.01%	33.48%	16.01%	15.91%	29.92%	15.89%	15.77%	26.70%	
C. Humedad Promedio	16.06%	16.01%	33.48%	15.96%	15.91%	29.92%	15.83%	15.77%	26.70%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.445	1.444	1.444	1.599	1.599	1.604	1.693	1.693	1.686	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 04			Número de MOLDE N.º 05			Número de MOLDE N.º 06			
	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		
	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.163	4.140	3.29	0.145	3.683	2.92	0.127	3.226	2.56
48	2	0.207	5.258	4.17	0.181	4.597	3.65	0.161	4.089	3.25
72	3	0.226	5.740	4.56	0.198	5.029	3.99	0.177	4.496	3.57
96	4	0.253	6.426	5.10	0.222	5.639	4.48	0.197	5.004	3.97
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N° 04			MOLDE N° 05			MOLDE N°06		
(mm)	(pulg)	Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo	
			(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)		(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)		(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	11.40	0.59	8.42	12.99	0.67	9.59	22.40	1.16	16.54
1.27	0.050	23.31	1.20	17.21	31.00	1.60	22.89	46.40	2.40	34.26
1.91	0.075	35.39	1.83	26.13	48.96	2.53	36.15	71.23	3.68	52.59
2.54	0.100	47.20	2.44	34.85	67.58	3.49	49.89	96.72	5.00	71.41
3.18	0.125	57.87	2.99	42.72	84.77	4.38	62.58	120.52	6.23	88.98
3.81	0.150	67.78	3.50	50.04	101.05	5.22	74.60	141.55	7.32	104.50
4.45	0.175	75.91	3.92	56.04	114.40	5.91	84.46	160.45	8.29	118.46
5.08	0.200	82.52	4.26	60.92	125.35	6.48	92.54	176.48	9.12	130.29
7.62	0.300	100.96	5.22	74.54	159.63	8.25	117.85	220.16	11.38	162.54
10.16	0.400	111.15	5.74	82.06	177.11	9.15	130.76	240.40	12.42	177.48
12.70	0.500	120.44	6.22	88.92	186.15	9.62	137.43	251.43	12.99	185.63
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)			C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)	
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		
MOLDE 04	36.00	62.00		1000	1500		3.60	4.13	1.445	
MOLDE 05	54.00	95.00		1000	1500		5.40	6.33	1.599	
MOLDE 06	76.00	133.00		1000	1500		7.60	8.87	1.693	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.704	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			6.00 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			16.42	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			6.95 %			

Figura 40

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2 (3% cemento)

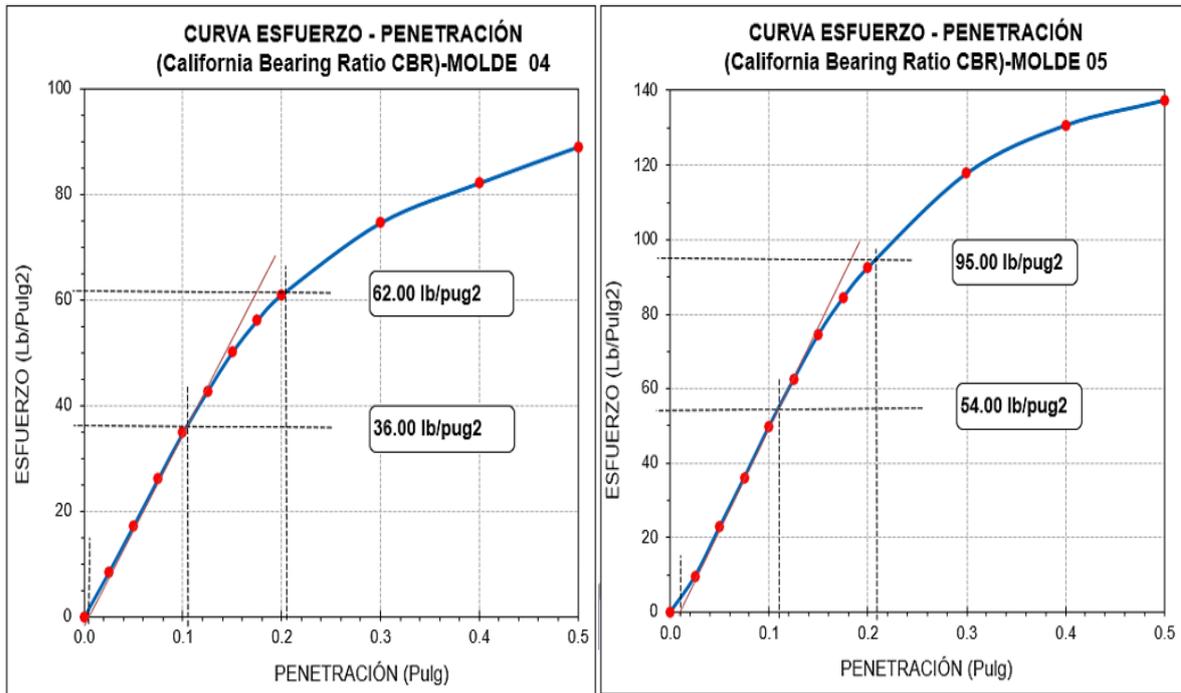


Figura 41

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2 (3% cemento)

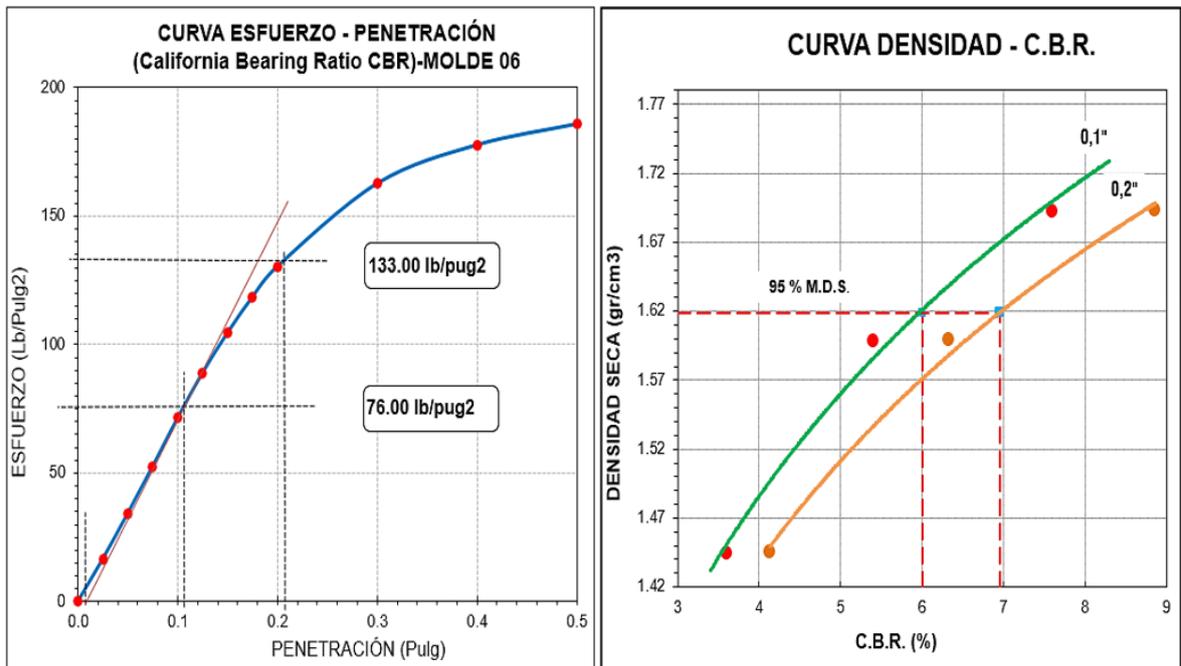


Tabla 53

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	04		05		06					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11047.0	11675.0	11262.0	11653.0	14366.0	14809.0				
Peso Molde (gr)	7489.0	7489.0	7316.0	7316.0	8035.0	8035.0				
Peso Húmedo (gr)	3558.0	4186.0	3946.0	4337.0	6331.0	6774.0				
Volumen del Molde (cm3)	2099.95	2099.95	2124.63	2124.63	3197.04	3197.04				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.694	1.993	1.857	2.041	1.980	2.119				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	150.50	149.70	151.40	149.40	150.20	150.20	147.10	147.80	149.80	
Peso Seco + Tara (gr)	133.10	132.80	118.70	132.50	133.50	124.00	130.60	131.20	125.00	
Peso Agua (gr)	17.40	16.90	32.70	16.90	16.70	26.20	16.50	16.60	24.80	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	108.70	106.80	92.80	106.40	108.10	99.20	105.00	107.30	99.30	
Contenido de Humedad %	16.01%	15.82%	35.24%	15.88%	15.45%	26.41%	15.71%	15.47%	24.97%	
C. Humedad Promedio	15.92%	35.24%	15.67%	26.41%	15.59%	24.97%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.462	1.474	1.606	1.615	1.713	1.695				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo	Número de MOLDE N.º 04			Número de MOLDE N.º 05			Número de MOLDE N.º 06			
Acumulado	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	
(Hs) (Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.135	3.429	2.72	0.119	3.023	2.40	0.098	2.489	1.98
48	2	0.172	4.369	3.47	0.153	3.886	3.08	0.126	3.200	2.54
72	3	0.191	4.851	3.85	0.169	4.293	3.41	0.139	3.531	2.80
96	4	0.208	5.283	4.19	0.189	4.801	3.81	0.157	3.988	3.16
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N.º 04			MOLDE N.º 05			MOLDE N.º 06		
(mm)	(pulg)	Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
		(KG)	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	(KG)	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)	(KG)	(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	15.37	0.79	11.35	24.22	1.25	17.88	24.37	1.26	17.99
1.27	0.050	33.56	1.73	24.78	48.97	2.53	36.15	58.32	3.01	43.06
1.91	0.075	54.27	2.80	40.07	75.99	3.93	56.10	94.61	4.89	69.85
2.54	0.100	74.22	3.84	54.80	103.75	5.36	76.60	129.84	6.71	95.86
3.18	0.125	94.25	4.87	69.58	131.94	6.82	97.41	164.61	8.51	121.53
3.81	0.150	113.79	5.88	84.01	160.17	8.28	118.25	200.93	10.38	148.34
4.45	0.175	130.88	6.76	96.63	188.32	9.73	139.03	236.23	12.21	174.40
5.08	0.200	147.67	7.63	109.02	214.70	11.10	158.51	272.27	14.07	201.01
7.62	0.300	200.93	10.38	148.34	298.46	15.42	220.35	379.38	19.61	280.09
10.16	0.400	231.45	11.96	170.87	304.11	15.72	224.52	372.23	19.24	274.81
12.70	0.500	248.82	12.86	183.70	300.68	15.54	221.99	362.96	18.76	267.97
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 04	60.00	114.00		1000	1500	6.00	7.60	1.462		
MOLDE 05	80.00	152.00		1000	1500	8.00	10.13	1.606		
MOLDE 06	105.00	209.00		1000	1500	10.50	13.93	1.713		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):		1.726			C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		8.80 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		16.00			C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		11.45 %			

Figura 42

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2 (4% cemento)

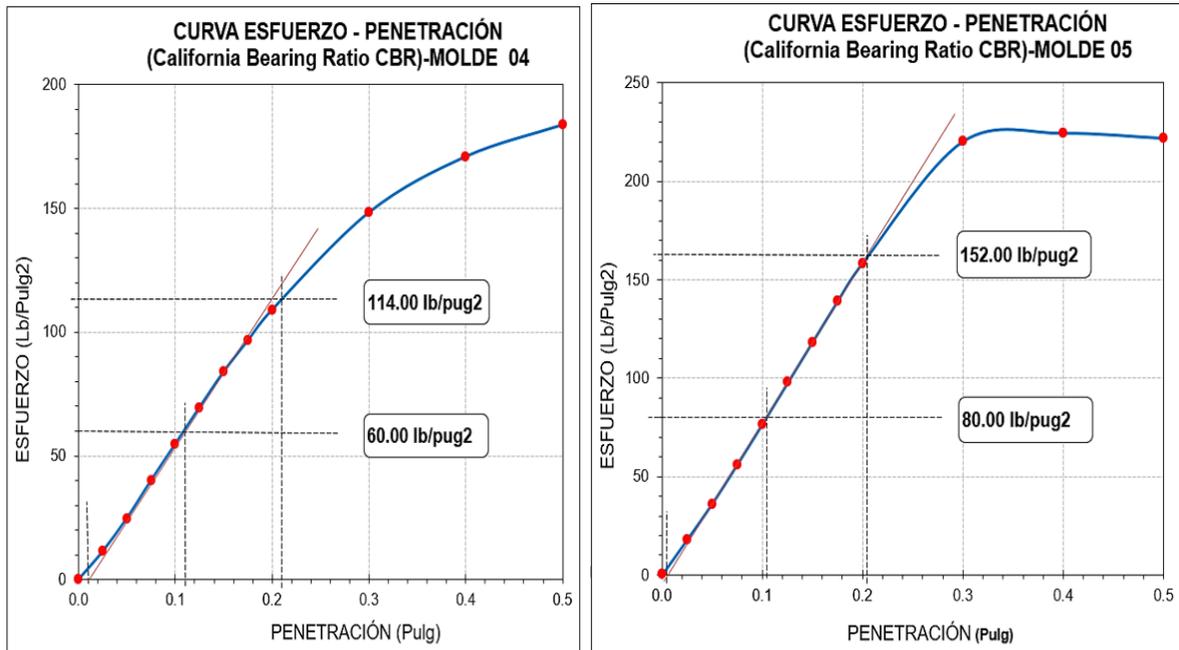


Figura 43

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2 (4% cemento)

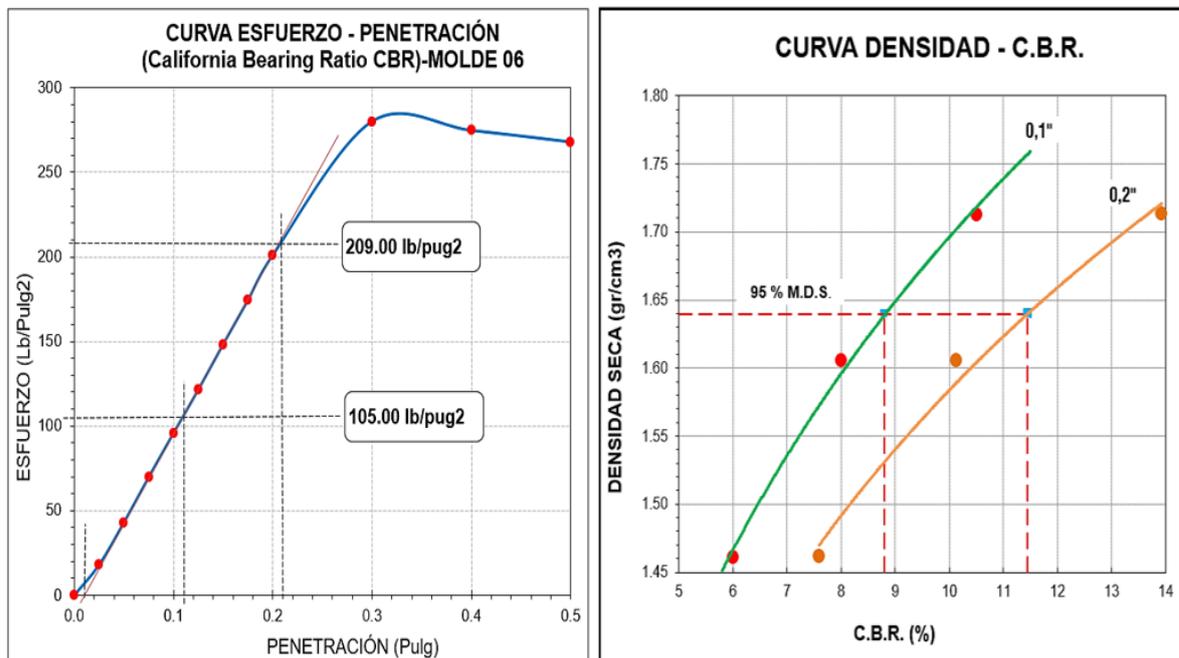


Tabla 54

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 2 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(32) / CH			Estrato: E-2			Fecha: Setiembre 2023				
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	04		05		06					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11075.0	11575.0	11243.0	11701.0	12220.0	12486.0				
Peso Molde (gr)	7489.0	7489.0	7316.0	7316.0	8035.0	8035.0				
Peso Húmedo (gr)	3586.0	4086.0	3927.0	4385.0	4185.0	4451.0				
Volumen del Molde (cm3)	2129.58	2129.58	2123.72	2123.72	2105.82	2105.82				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.684	1.919	1.849	2.065	1.987	2.114				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	143.90	144.90	146.00	145.30	144.00	147.10	145.70	144.30	145.80	
Peso Seco + Tara (gr)	127.90	129.00	118.20	129.40	128.30	119.50	129.70	128.50	123.50	
Peso Agua (gr)	16.00	15.90	27.80	15.90	15.70	27.60	16.00	15.80	22.30	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	103.50	103.00	92.30	103.30	102.90	94.70	104.10	104.60	97.80	
Contenido de Humedad %	15.46%	15.44%	30.12%	15.39%	15.26%	29.14%	15.37%	15.11%	22.80%	
C. Humedad Promedio	15.45%		30.12%	15.32%		29.14%	15.24%		22.80%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.459		1.475	1.603		1.599	1.725		1.721	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 04			Número de MOLDE N.º 05			Número de MOLDE N.º 06			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.113	2.870	2.28	0.101	2.565	2.04	0.079	2.007	1.59
48	2	0.144	3.658	2.90	0.130	3.302	2.62	0.100	2.540	2.02
72	3	0.158	4.013	3.19	0.143	3.632	2.88	0.110	2.794	2.22
96	4	0.176	4.470	3.55	0.159	4.039	3.21	0.123	3.124	2.48
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN (mm) (pulg)		MOLDE N° 04			MOLDE N° 05			MOLDE N°06		
		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	20.70	1.07	15.28	28.92	1.49	21.35	35.38	1.83	26.12
1.27	0.050	42.04	2.17	31.04	61.07	3.16	45.09	75.46	3.90	55.71
1.91	0.075	66.42	3.43	49.04	95.52	4.94	70.52	118.98	6.15	87.84
2.54	0.100	93.21	4.82	68.82	126.74	6.55	93.57	160.51	8.30	118.50
3.18	0.125	120.60	6.23	89.04	160.06	8.27	118.17	207.92	10.75	153.50
3.81	0.150	145.84	7.54	107.67	194.90	10.07	143.89	251.70	13.01	185.83
4.45	0.175	167.14	8.64	123.40	229.20	11.84	169.21	296.42	15.32	218.84
5.08	0.200	182.98	9.46	135.09	263.88	13.64	194.82	342.05	17.68	252.53
7.62	0.300	229.94	11.88	169.76	380.89	19.68	281.20	499.41	25.81	368.70
10.16	0.400	250.65	12.95	185.05	379.15	19.59	279.92	495.77	25.62	366.02
12.70	0.500	257.88	13.33	190.39	377.66	19.52	278.82	485.42	25.09	358.38
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 04	78.00	140.00		1000	1500	7.80	9.33	1.459		
MOLDE 05	100.00	200.00		1000	1500	10.00	13.33	1.603		
MOLDE 06	131.00	265.00		1000	1500	13.10	17.67	1.725		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)										
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.743	VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)						
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			15.65	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		11.35 %				
				C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		15.05 %				

Figura 44

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 2 (5% cemento).

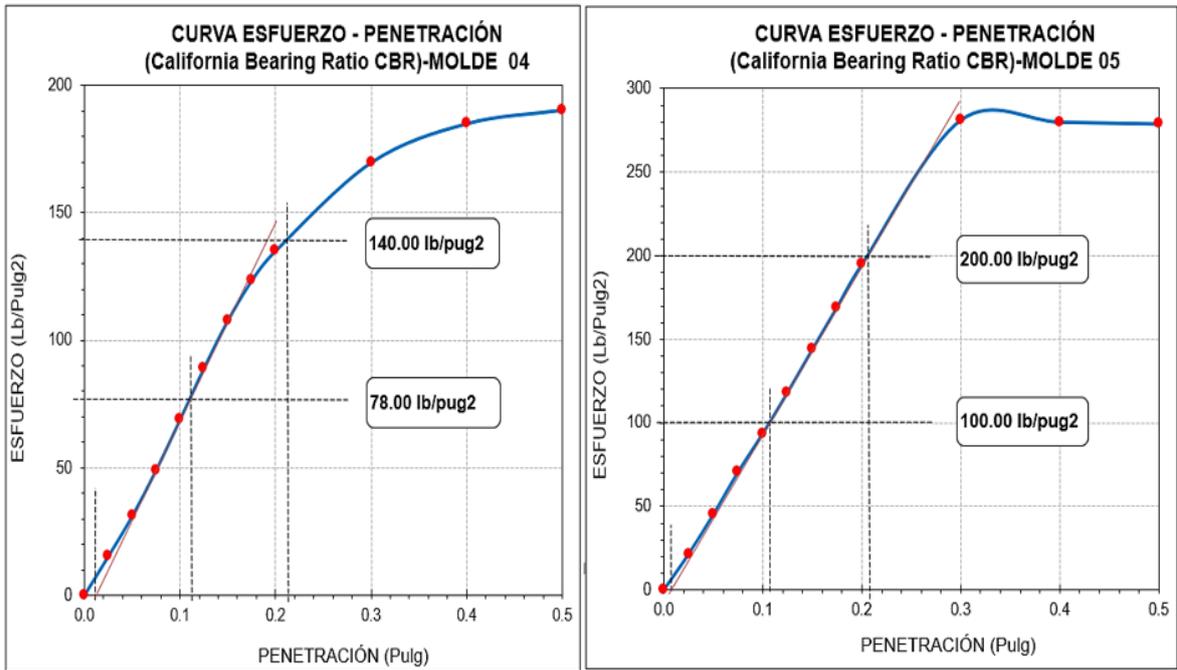


Figura 45

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 2 (5% cemento)

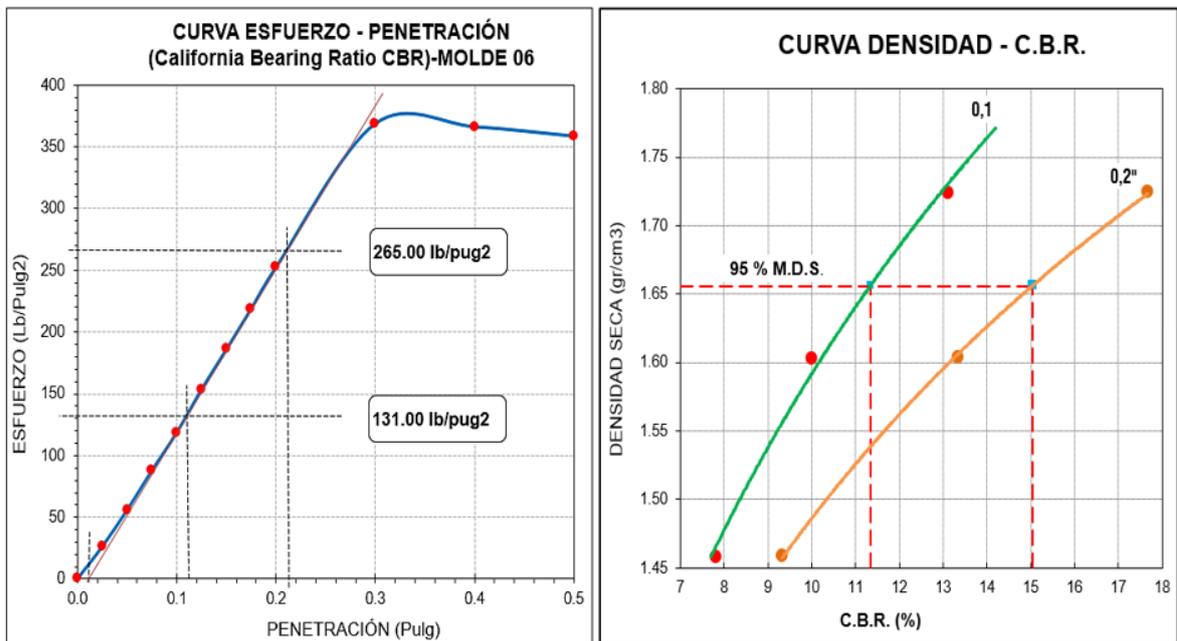


Tabla 55

Contenido de humedad del suelo de la calicata 3

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1	Fecha: Julio 2023
Ensayo	1	2	
W (tara + M. Húmeda) gr	125.20	109.00	
W (tara + M. Seca) gr	101.60	89.20	
W agua (gr)	23.60	19.80	
W tara (gr)	25.60	25.60	
W Muestra Seca (gr)	76.00	63.60	
Contenido de humedad (%)	31.05	31.13	
Contenido de humedad (%):	31.09		

Tabla 56

Análisis granulométrico del suelo de la calicata 3

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1	Fecha: Julio 2023			
Peso total muestra seca (gr)			1053.00			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Ret. Parcial	Peso Ret. Acumulado	% Ret. Acumulado	% Que Pasa	
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	5.20	5.20	0.49	99.51	
No. 4	4.750	7.30	12.50	1.19	98.81	
No. 10	2.000	10.10	22.60	2.15	97.85	
No. 20	0.850	8.60	40.32	3.83	96.17	
No. 40	0.425	12.90	66.91	6.35	93.65	
No. 60	0.250	15.10	98.03	9.31	90.69	
No. 140	0.106	20.90	141.10	13.40	86.60	
No. 200	0.075	20.60	183.55	17.43	82.57	
Pérdida por lavado		421.90	1053.0	100.0	0.0	
Grava: (4.75mm - 75mm)		1.19 %	Arena: (0.075mm - 4.75mm)	16.24 %	Limo y arcilla: (<0.075mm)	82.57 %

Figura 46

Curva granulométrica del suelo de la calicata 3

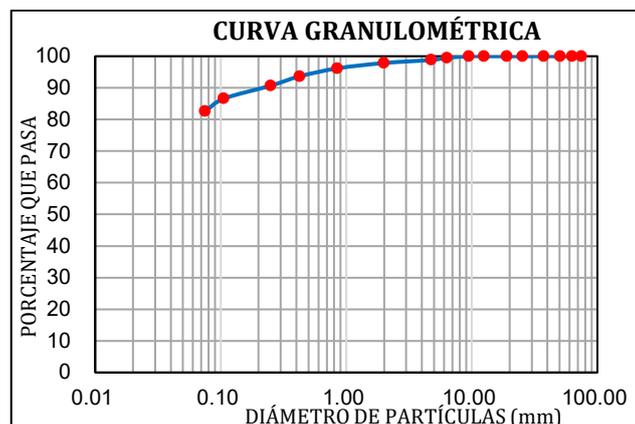


Tabla 57

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1			Fecha: Julio 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		Prom.
	T1	T2	T3	T4	T5	
Peso Tara+ M. Húmeda (gr)	49.70	50.90	51.40	47.20	46.00	
Peso Tara+ M. Seca (gr)	40.30	41.50	42.30	44.10	42.90	
Peso agua (gr)	9.40	9.40	9.10	3.10	3.10	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	16.00	16.50	16.50	19.40	18.90	
Contenido de humedad (W%)	58.75	56.97	55.15	15.98	16.40	16
Número de golpes (N)	16	24	34			
Límite líquido (%): 57		Límite plástico (%): 16		Índice de plasticidad (%): 41		Índice de grupo: 35

Figura 47

Límite líquido del suelo de la calicata 3

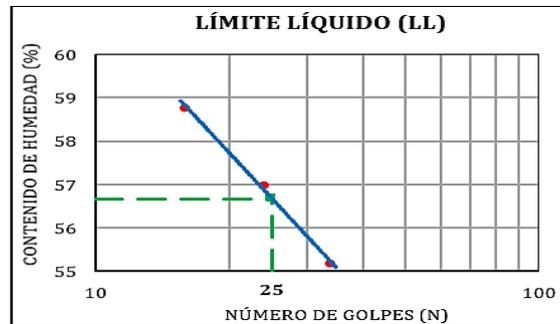


Tabla 58

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		Prom.
	T1	T2	T3	T4	T5	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	53.10	52.60	52.90	45.90	46.50	
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.80	43.00	43.70	42.50	42.80	
Peso agua (gr)	10.30	9.60	9.20	3.40	3.70	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	18.50	18.00	17.90	17.80	18.80	
Contenido de humedad (W%)	55.68	53.33	51.40	19.10	19.68	19
Número de golpes (N)	15	22	33			
Límite líquido (%): 53		Límite plástico (%): 19		Índice de plasticidad (%): 34		

Figura 48

Límite líquido del suelo de la calicata 3 con adición de 3% de cemento.

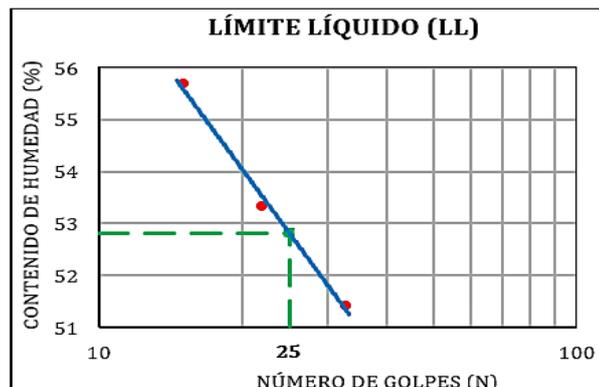


Tabla 59

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	52.60	52.10	53.00	49.30	48.60		
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.50	42.80	43.90	45.00	44.40		
Peso agua (gr)	10.10	9.30	9.10	4.30	4.20		
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00		
Peso M. Seca (gr)	18.20	17.80	18.10	20.30	20.40		
Contenido de humedad (W%)	55.49	52.25	50.28	21.18	20.59	21	
Número de golpes (N)	17	23	30				
Límite líquido (%): 52		Límite plástico (%): 21			Índice de plasticidad (%): 31		

Figura 49

Límite líquido del suelo de la calicata 3 con adición de 4% de cemento

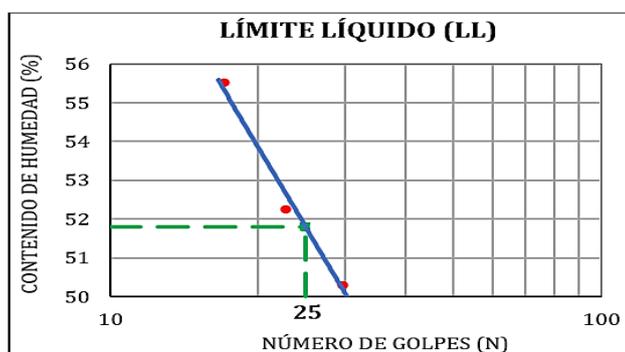


Tabla 60

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 3 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	50.00	49.70	50.80	46.00	46.20		
Peso Tara + M. Seca (gr)	41.00	41.30	42.60	42.10	42.20		
Peso agua (gr)	9.00	8.40	8.20	3.90	4.00		
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00		
Peso M. Seca (gr)	16.70	16.30	16.80	17.40	18.20		
Contenido de humedad (W%)	53.89	51.53	48.81	22.41	21.98	22	
Número de golpes (N)	18	23	32				
Límite líquido (%): 51		Límite plástico (%): 22			Índice de plasticidad (%): 29		

Figura 50

Límite líquido del suelo de la calicata 3 con adición de 5% de cemento

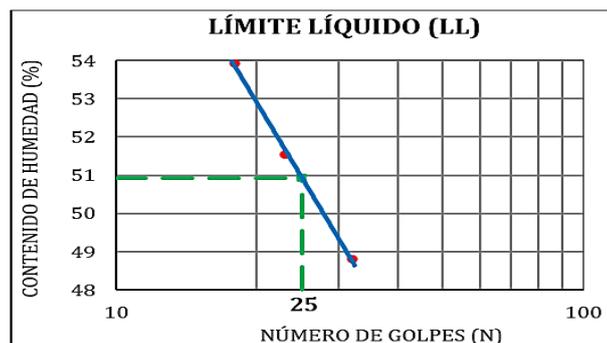


Tabla 61

Proctor modificado del suelo de la calicata 3

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1		Fecha: Julio 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5541.00	5616.00	5636.00	5614.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1674.00	1749.00	1769.00	1747.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.798	1.879	1.900	1.876				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	156.10	162.40	137.40	152.00	119.40	117.70	159.00	123.50
	Peso Seco + Tara (gr)	137.80	143.90	120.40	132.70	103.50	102.40	134.80	105.90
	Peso Agua (gr)	18.30	18.50	17.00	19.30	15.90	15.30	24.20	17.60
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	113.50	118.90	94.60	108.00	79.50	77.30	109.90	80.40
	Contenido de Humedad (%)	16.12	15.56	17.97	17.87	20.00	19.79	22.02	21.89
	C. Humedad (%) promedio	15.84		17.92		19.90		21.96	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.552		1.593		1.585		1.539	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.595					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 18.50			

Figura 51

Curva de compactación del suelo de la calicata 3

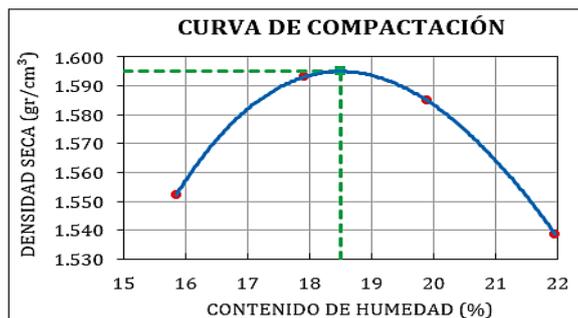


Tabla 62

Proctor modificado del suelo de la calicata 3 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5616.00	5686.00	5710.00	5696.00				
	Peso Molde (gr)	3866.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1750.00	1819.00	1843.00	1829.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.880	1.954	1.980	1.965				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	157.80	164.40	137.80	142.80	128.00	132.80	157.90	132.90
	Peso Seco + Tara (gr)	141.30	147.30	122.40	126.60	112.20	116.60	135.80	115.40
	Peso Agua (gr)	16.50	17.10	15.40	16.20	15.80	16.20	22.10	17.50
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	117.00	122.30	96.60	101.90	88.20	91.50	110.90	89.90
	Contenido de Humedad (%)	14.10	13.98	15.94	15.90	17.91	17.70	19.93	19.47
	C. Humedad (%) promedio	14.04		15.92		17.81		19.70	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.648		1.685		1.680		1.641	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.688					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 16.64			

Figura 52

Curva de compactación del suelo de la calicata 3 con adición de 3% de cemento.

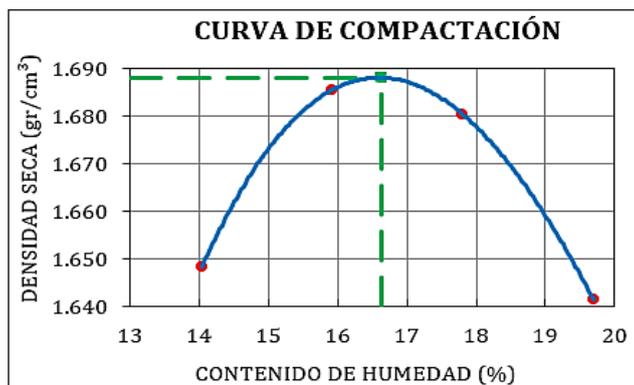


Tabla 63

Proctor modificado del suelo de la calicata 3 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5637.00	5710.00	5725.00	5715.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1770.00	1843.00	1858.00	1848.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.901	1.980	1.996	1.985				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	177.40	182.00	147.80	167.20	142.80	152.80	170.50	146.10
	Peso Seco + Tara (gr)	158.60	162.80	130.90	147.80	124.70	133.50	146.30	126.20
	Peso Agua (gr)	18.80	19.20	16.90	19.40	18.10	19.30	24.20	19.90
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	134.30	137.80	105.10	123.10	100.70	108.40	121.40	100.70
	Contenido de Humedad (%)	14.00	13.93	16.08	15.76	17.97	17.80	19.93	19.76
	C. Humedad (%) promedio	13.97		15.92		17.89		19.85	
DENSIDAD SECA (cm³)	1.668		1.708		1.693		1.656		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.708				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 16.20					

Figura 53

Curva de compactación del suelo de la calicata 3 con adición de 4% de cemento

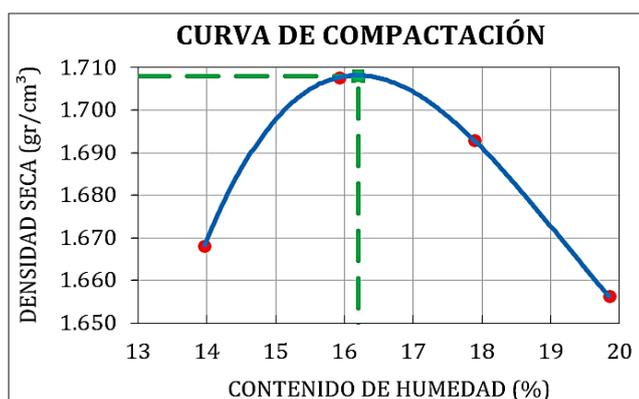


Tabla 64

Proctor modificado del suelo de la calicata 3 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1				Fecha: Agosto 2023			
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C				Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5602.00	5672.00	5731.00	5719.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1735.00	1805.00	1864.00	1852.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.864	1.939	2.002	1.989				
Tara		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
HUMEDAD	Peso Húmedo + Tara (gr)	176.10	180.50	146.80	169.90	145.80	158.70	169.80	163.50
	Peso Seco + Tara (gr)	159.90	164.10	132.00	152.20	128.80	140.10	147.80	142.60
	Peso Agua (gr)	16.20	16.40	14.80	17.70	17.00	18.60	22.00	20.90
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	135.60	139.10	106.20	127.50	104.80	115.00	122.90	117.10
	Contenido de Humedad (%)	11.95	11.79	13.94	13.88	16.22	16.17	17.90	17.85
	C. Humedad (%) promedio	11.87		13.91		16.20		17.87	
DENSIDAD SECA (cm³)	1.666		1.702		1.723		1.688		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.724				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 15.90					

Figura 54

Curva de compactación del suelo de la calicata 3 con adición de 5% de cemento

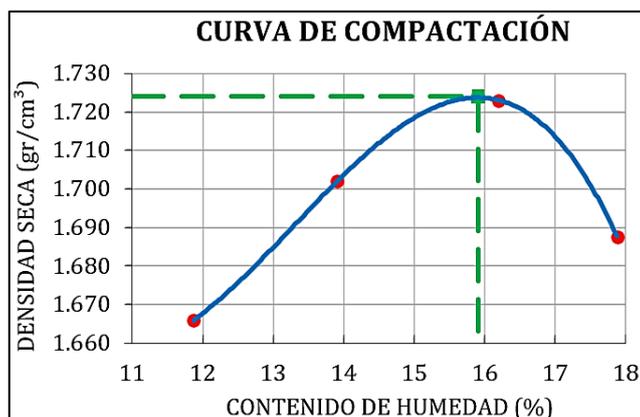


Tabla 65

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH				Estrato: E-1		Fecha: Julio 2023				
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	07		08		09					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	12462.0	13044.0	12857.0	13235.0	14410.0	14694.0				
Peso Molde (gr)	7099.0	7099.0	6949.0	6949.0	8103.0	8103.0				
Peso Húmedo (gr)	5363.0	5945.0	5908.0	6286.0	6307.0	6591.0				
Volumen del Molde (cm3)	3191.02	3191.02	3197.04	3197.04	3215.77	3215.77				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.681	1.863	1.848	1.966	1.961	2.050				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	146.50	146.10	145.70	147.70	147.10	148.10	146.90	146.50	147.10	
Peso Seco + Tara (gr)	127.40	127.20	118.00	128.60	128.00	123.00	128.30	128.20	124.60	
Peso Agua (gr)	19.10	18.90	27.70	19.10	19.10	25.10	18.60	18.30	22.50	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	103.10	102.20	92.20	103.90	104.00	97.90	103.40	102.70	99.40	
Contenido de Humedad %	18.53%	18.49%	30.04%	18.38%	18.37%	25.64%	17.99%	17.82%	22.64%	
C. Humedad Promedio	18.51%	30.04%	18.37%	25.64%	17.90%	22.64%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.418	1.433	1.561	1.565	1.663	1.671				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 07			Número de MOLDE N.º 08			Número de MOLDE N.º 09			
	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		
	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	
24	1	0.235	5.969	4.74	0.198	5.029	3.99	0.178	4.521	3.59
48	2	0.313	7.950	6.31	0.265	6.731	5.34	0.237	6.020	4.78
72	3	0.348	8.839	7.02	0.299	7.595	6.03	0.267	6.782	5.38
96	4	0.379	9.627	7.64	0.321	8.153	6.47	0.287	7.290	5.79
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N° 07			MOLDE N° 08			MOLDE N°09		
(mm)	(pulg)	Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	4.74	0.24	3.50	7.89	0.41	5.83	8.95	0.46	6.61
1.27	0.050	10.48	0.54	7.74	15.61	0.81	11.52	20.41	1.05	15.07
1.91	0.075	15.98	0.83	11.80	23.08	1.19	17.04	31.52	1.63	23.27
2.54	0.100	20.06	1.04	14.81	28.40	1.47	20.97	39.08	2.02	28.85
3.18	0.125	23.07	1.19	17.03	32.02	1.65	23.64	43.53	2.25	32.14
3.81	0.150	25.66	1.33	18.94	34.54	1.79	25.50	47.33	2.45	34.94
4.45	0.175	27.70	1.43	20.45	36.93	1.91	27.26	50.34	2.60	37.17
5.08	0.200	29.32	1.52	21.65	38.77	2.00	28.62	52.24	2.70	38.57
7.62	0.300	34.10	1.76	25.18	44.18	2.28	32.62	58.76	3.04	43.38
10.16	0.400	37.08	1.92	27.38	48.32	2.50	35.67	64.46	3.33	47.59
12.70	0.500	38.51	1.99	28.43	50.66	2.62	37.40	68.28	3.53	50.41
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 07	15.50	22.00		1000	1500	1.55	1.47	1.418		
MOLDE 08	21.00	28.80		1000	1500	2.10	1.92	1.561		
MOLDE 09	29.50	38.80		1000	1500	2.95	2.59	1.663		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.595	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			1.96 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			18.50	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			1.80 %			

Figura 55

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3

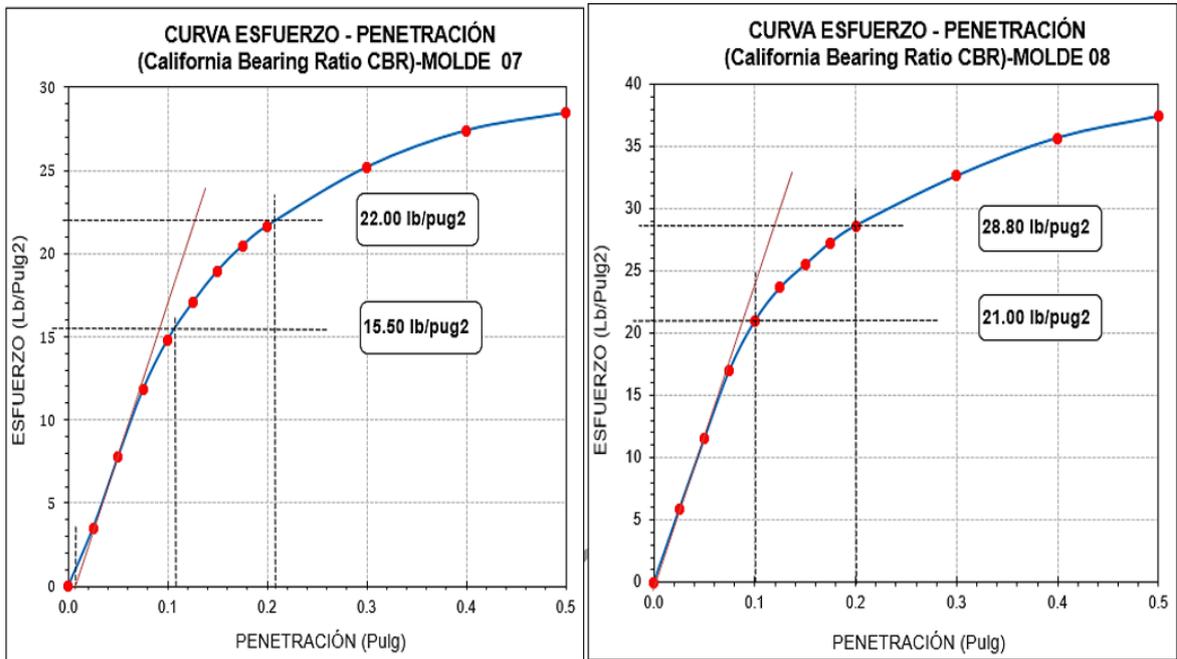


Figura 56

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3

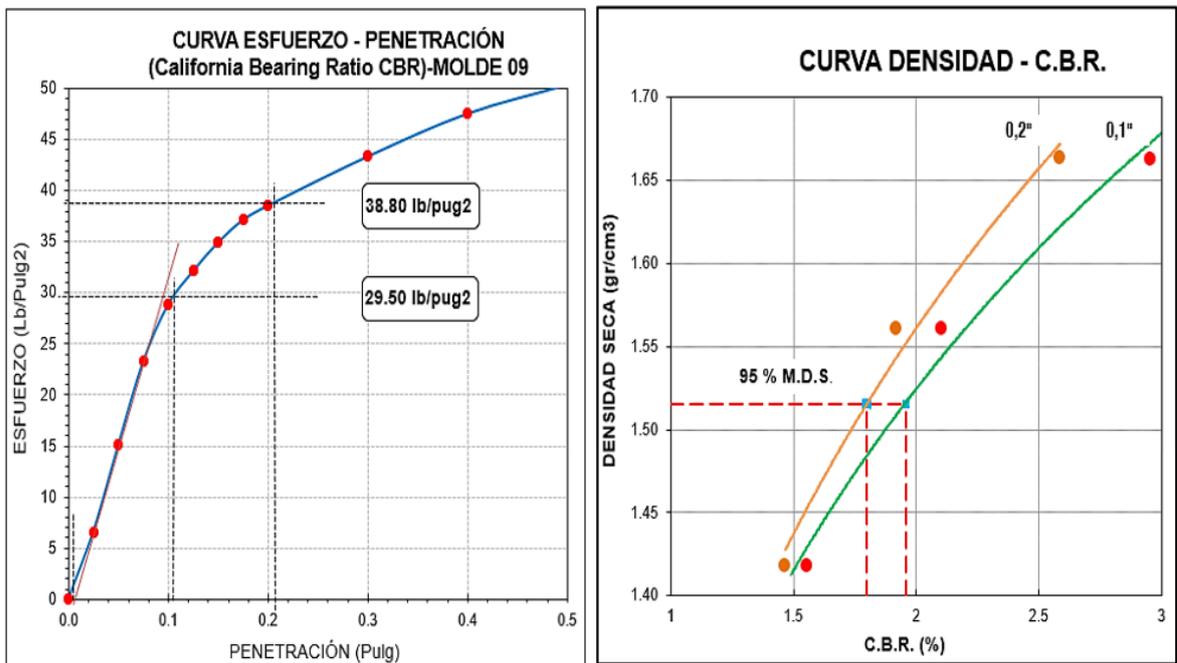


Tabla 66

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	07		08		09					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10597.0	11087.0	12798.0	13434.0	14354.0	14833.0				
Peso Molde (gr)	7099.0	7099.0	6949.0	6949.0	8103.0	8103.0				
Peso Húmedo (gr)	3498.0	3988.0	5849.0	6485.0	6251.0	6730.0				
Volumen del Molde (cm3)	2098.51	2098.51	3197.04	3197.04	3215.77	3215.77				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.667	1.900	1.830	2.028	1.944	2.093				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	144.60	145.80	147.70	145.60	145.50	145.20	146.00	145.70	146.80	
Peso Seco + Tara (gr)	128.20	129.40	118.30	129.10	129.00	119.00	129.60	129.50	122.80	
Peso Agua (gr)	16.40	16.40	29.40	16.50	16.50	26.20	16.40	16.20	24.00	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	103.90	104.40	92.50	104.40	105.00	93.90	104.70	104.00	97.60	
Contenido de Humedad %	15.78%	15.71%	31.78%	15.80%	15.71%	27.90%	15.66%	15.58%	24.59%	
C. Humedad Promedio	15.75%		31.78%	15.76%		27.90%	15.62%		24.59%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.440		1.442	1.580		1.586	1.681		1.680	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 07			Número de MOLDE N.º 08			Número de MOLDE N.º 09			
	Lectura Deform.	Hinchamiento		Lectura Deform.	Hinchamiento		Lectura Deform.	Hinchamiento		
		(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.170	4.318	3.43	0.145	3.683	2.92	0.135	3.429	2.72
48	2	0.226	5.740	4.56	0.198	5.029	3.99	0.178	4.521	3.59
72	3	0.253	6.426	5.10	0.223	5.664	4.50	0.201	5.105	4.05
96	4	0.270	6.858	5.44	0.239	6.071	4.82	0.214	5.436	4.31
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N.º 07			MOLDE N.º 08			MOLDE N.º 09		
(mm)	(pulg)	Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	13.10	0.68	9.67	14.02	0.72	10.35	20.00	1.03	14.77
1.27	0.050	26.29	1.36	19.41	28.68	1.48	21.17	40.32	2.08	29.77
1.91	0.075	39.82	2.06	29.40	45.31	2.34	33.45	61.75	3.19	45.59
2.54	0.100	53.12	2.75	39.22	61.87	3.20	45.68	84.09	4.35	62.08
3.18	0.125	65.87	3.40	48.63	78.97	4.08	58.30	105.48	5.45	77.87
3.81	0.150	78.90	4.08	58.25	93.27	4.82	68.86	124.77	6.45	92.12
4.45	0.175	90.84	4.69	67.07	106.33	5.50	78.50	140.90	7.28	104.02
5.08	0.200	100.88	5.21	74.48	116.82	6.04	86.25	153.18	7.92	113.09
7.62	0.300	132.54	6.85	97.85	150.85	7.80	111.37	190.00	9.82	140.27
10.16	0.400	147.49	7.62	108.89	172.80	8.93	127.57	205.34	10.61	151.60
12.70	0.500	156.70	8.10	115.69	180.85	9.35	133.52	211.77	10.94	156.35
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde Nº	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 07	38.00	75.00		1000	1500	3.80	5.00	1.440		
MOLDE 08	48.00	88.00		1000	1500	4.80	5.87	1.580		
MOLDE 09	64.00	114.00		1000	1500	6.40	7.60	1.681		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.688		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			5.30 %		
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			16.64		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			6.50 %		

Figura 57

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3 (3% cemento)

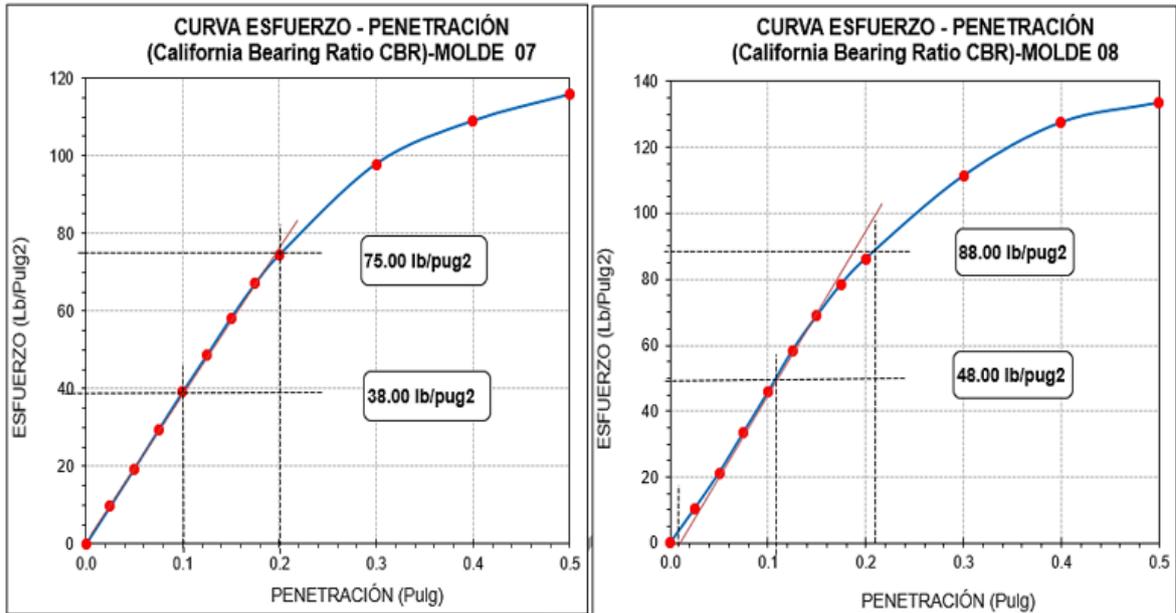


Figura 58

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3 (3% cemento)

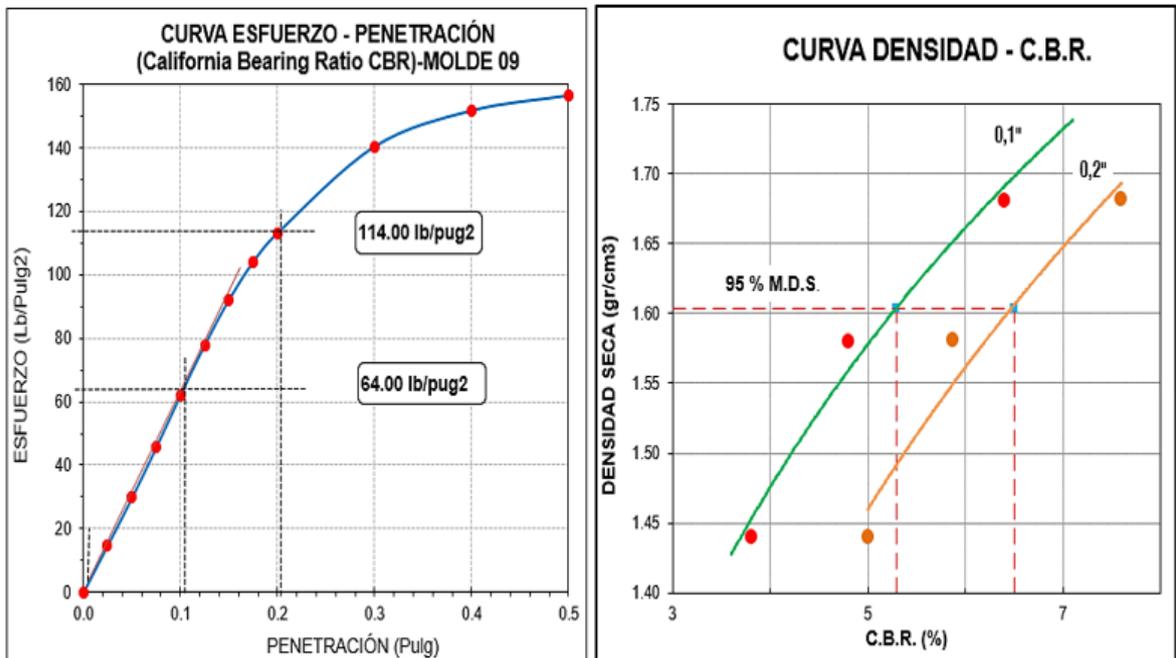


Tabla 67

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	07		08		09					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	12393.0	13136.0	12805.0	13386.0	14371.0	14776.0				
Peso Molde (gr)	7099.0	7099.0	6949.0	6949.0	8103.0	8103.0				
Peso Húmedo (gr)	5294.0	6037.0	5856.0	6437.0	6268.0	6673.0				
Volumen del Molde (cm3)	3191.02	3191.02	3197.04	3197.04	3215.77	3215.77				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.659	1.892	1.832	2.013	1.949	2.075				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	144.60	144.80	147.40	145.90	147.40	147.10	148.10	148.40	146.60	
Peso Seco + Tara (gr)	128.30	128.60	118.40	129.50	130.80	122.00	131.60	132.20	124.90	
Peso Agua (gr)	16.30	16.20	29.00	16.40	16.60	25.10	16.50	16.20	21.70	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	104.00	103.60	92.60	104.80	106.80	96.90	106.70	106.70	99.70	
Contenido de Humedad %	15.67%	15.64%	31.32%	15.65%	15.54%	25.90%	15.46%	15.18%	21.77%	
C. Humedad Promedio	15.66%	31.32%	15.60%	25.90%	15.32%	21.77%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.434	1.441	1.585	1.599	1.690	1.704				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 07		Número de MOLDE N.º 08			Número de MOLDE N.º 09				
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)			
0	0	0.000 0.000 0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00		
24	1	0.137 3.480 2.76	0.122	3.099	2.46	0.101	2.565	2.04		
48	2	0.184 4.674 3.71	0.165	4.191	3.33	0.135	3.429	2.72		
72	3	0.208 5.283 4.19	0.186	4.724	3.75	0.154	3.912	3.10		
96	4	0.224 5.690 4.52	0.200	5.080	4.03	0.165	4.191	3.33		
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N° 07			MOLDE N° 08			MOLDE N°09		
(mm)	(pulg)	Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	15.20	0.79	11.22	20.58	1.06	15.19	24.40	1.26	18.01
1.27	0.050	30.22	1.56	22.31	42.20	2.18	31.16	55.81	2.88	41.20
1.91	0.075	47.33	2.45	34.94	65.52	3.39	48.37	85.90	4.44	63.42
2.54	0.100	64.54	3.34	47.65	88.49	4.57	65.33	119.51	6.18	88.23
3.18	0.125	80.67	4.17	59.56	112.78	5.83	83.26	152.87	7.90	112.86
3.81	0.150	96.31	4.98	71.10	136.51	7.05	100.78	184.51	9.54	136.22
4.45	0.175	110.42	5.71	81.52	159.19	8.23	117.53	215.71	11.15	159.25
5.08	0.200	123.62	6.39	91.27	180.62	9.33	133.35	243.25	12.57	179.59
7.62	0.300	170.59	8.82	125.94	247.53	12.79	182.75	322.16	16.65	237.84
10.16	0.400	204.35	10.56	150.87	257.57	13.31	190.16	318.54	16.46	235.17
12.70	0.500	220.00	11.37	162.42	258.14	13.34	190.58	310.19	16.03	229.01
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 07	50.00	95.00		1000	1500	5.00	6.33	1.434		
MOLDE 08	69.00	138.00		1000	1500	6.90	9.20	1.585		
MOLDE 09	94.00	185.00		1000	1500	9.40	12.33	1.690		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):		1.708		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		7.82 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		16.20		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		10.30 %				

Figura 59

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3 (4% cemento)

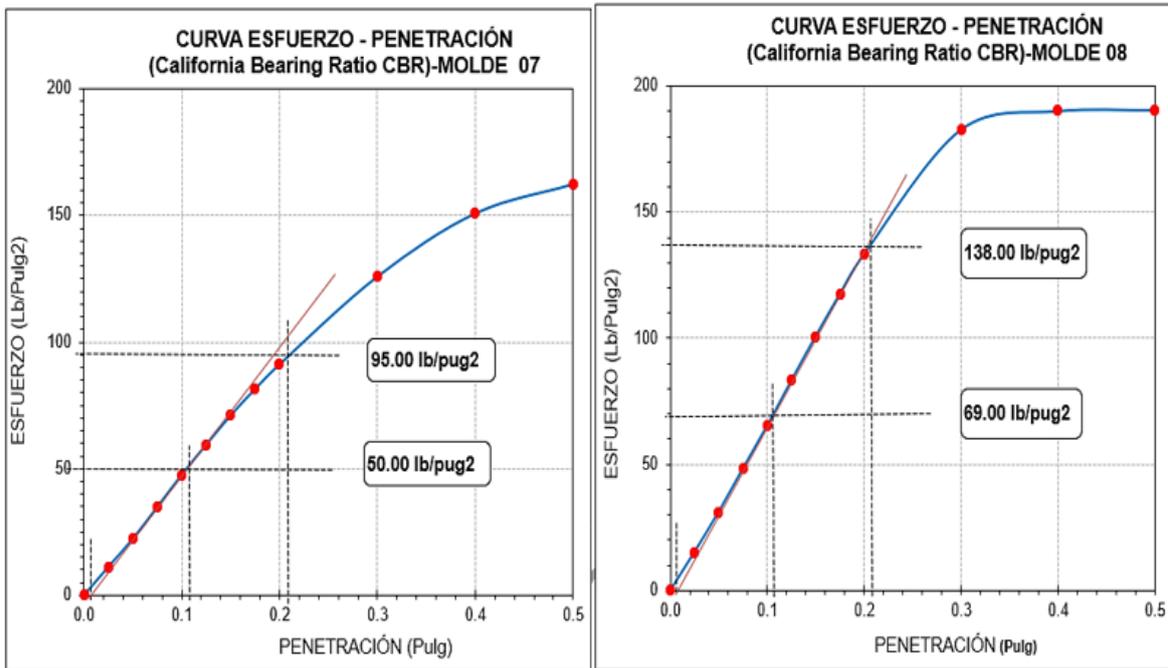


Figura 60

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3 (4% cemento)

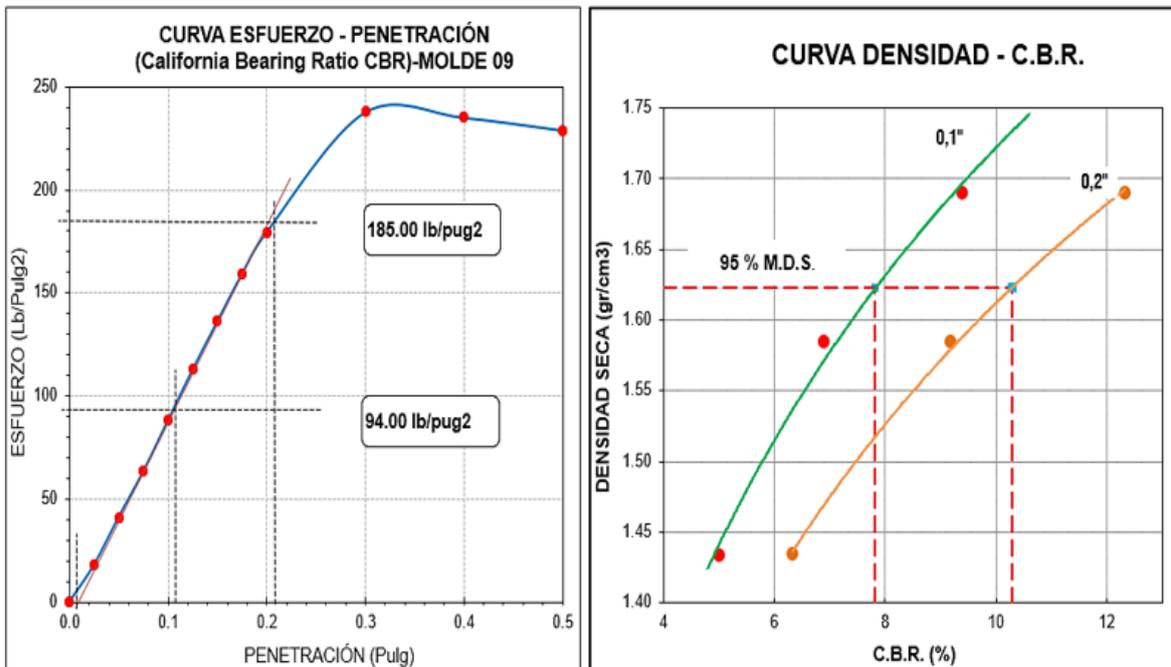


Tabla 68

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 3 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(35) / CH		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	07		08		09					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	12374.0	13021.0	12740.0	13320.0	14385.0	14715.0				
Peso Molde (gr)	7099.0	7099.0	6949.0	6949.0	8103.0	8103.0				
Peso Húmedo (gr)	5275.0	5922.0	5791.0	6371.0	6282.0	6612.0				
Volumen del Molde (cm3)	3215.77	3215.77	3197.04	3197.04	3215.77	3215.77				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.640	1.842	1.811	1.993	1.953	2.056				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	147.60	147.00	146.70	146.70	146.00	148.90	147.50	146.00	148.00	
Peso Seco + Tara (gr)	130.60	130.40	119.40	130.00	129.60	123.40	131.20	130.10	126.10	
Peso Agua (gr)	17.00	16.60	27.30	16.70	16.40	25.50	16.30	15.90	21.90	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	106.30	105.40	93.60	105.30	105.60	98.30	106.30	104.60	100.90	
Contenido de Humedad %	15.99%	15.75%	29.17%	15.86%	15.53%	25.94%	15.33%	15.20%	21.70%	
C. Humedad Promedio	15.87%	29.17%	15.69%	25.94%	15.27%	21.70%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.416	1.426	1.566	1.582	1.695	1.689				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo	Número de MOLDE N.º 07			Número de MOLDE N.º 08			Número de MOLDE N.º 09			
Acumulado	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	
(Hs) (Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.121	3.073	2.44	0.110	2.794	2.22	0.085	2.159	1.71
48	2	0.163	4.140	3.29	0.148	3.759	2.98	0.114	2.896	2.30
72	3	0.183	4.648	3.69	0.166	4.216	3.35	0.130	3.302	2.62
96	4	0.197	5.004	3.97	0.179	4.547	3.61	0.140	3.556	2.82
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 07			MOLDE N° 08			MOLDE N°09		
(mm)	(pulg)	CARGA (KG)	ESFUERZO		CARGA (KG)	ESFUERZO		CARGA (KG)	ESFUERZO	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	13.98	0.72	10.32	26.80	1.39	19.79	35.65	1.84	26.32
1.27	0.050	34.94	1.81	25.80	51.62	2.67	38.11	71.92	3.72	53.10
1.91	0.075	56.65	2.93	41.82	80.73	4.17	59.60	110.80	5.73	81.80
2.54	0.100	78.96	4.08	58.29	107.28	5.54	79.20	148.16	7.66	109.38
3.18	0.125	100.63	5.20	74.29	136.12	7.03	100.49	187.42	9.69	138.37
3.81	0.150	122.25	6.32	90.25	163.34	8.44	120.59	225.98	11.68	166.84
4.45	0.175	140.70	7.27	103.88	190.96	9.87	140.98	265.92	13.74	196.32
5.08	0.200	158.43	8.19	116.97	219.85	11.36	162.31	305.04	15.76	225.20
7.62	0.300	214.00	11.06	157.99	320.53	16.56	236.64	446.97	23.10	329.99
10.16	0.400	244.83	12.65	180.75	318.03	16.44	234.80	442.32	22.86	326.56
12.70	0.500	260.00	13.44	191.95	315.77	16.32	233.13	430.86	22.27	318.10
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)			C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)	
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		
MOLDE 07	65.00	123.00		1000	1500		6.50	8.20	1.416	
MOLDE 08	83.00	170.00		1000	1500		8.30	11.33	1.566	
MOLDE 09	115.00	231.00		1000	1500		11.50	15.40	1.695	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.724	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			10.05 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			15.90	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			13.50 %			

Figura 61

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 3 (5% cemento)

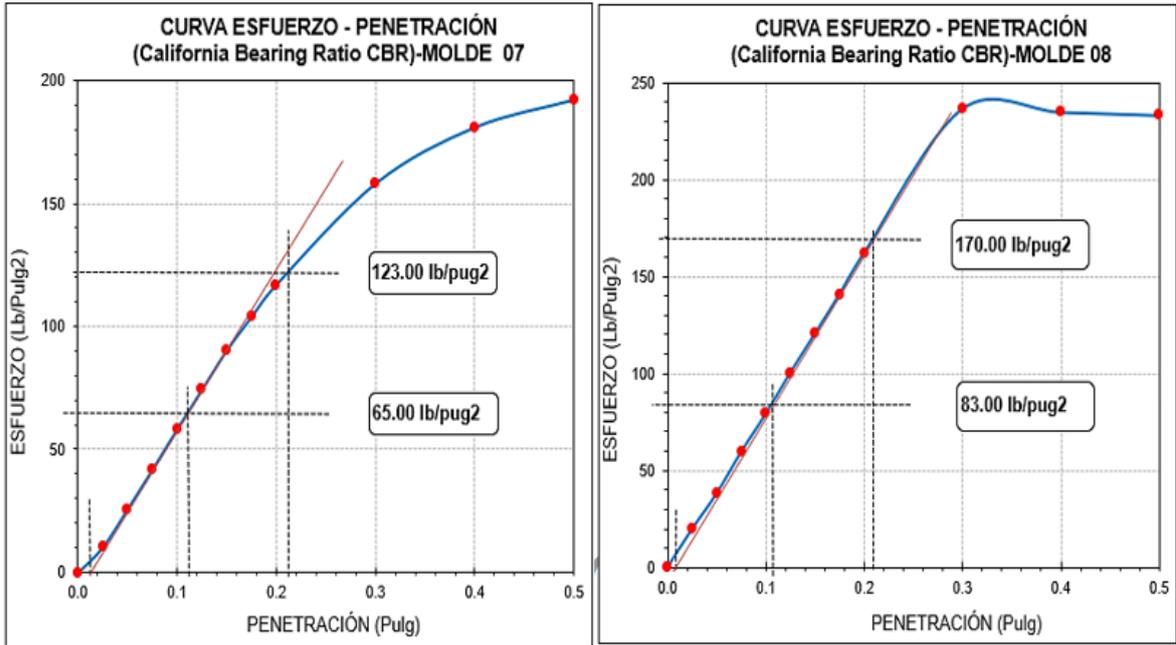


Figura 62

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 3 (5% cemento)

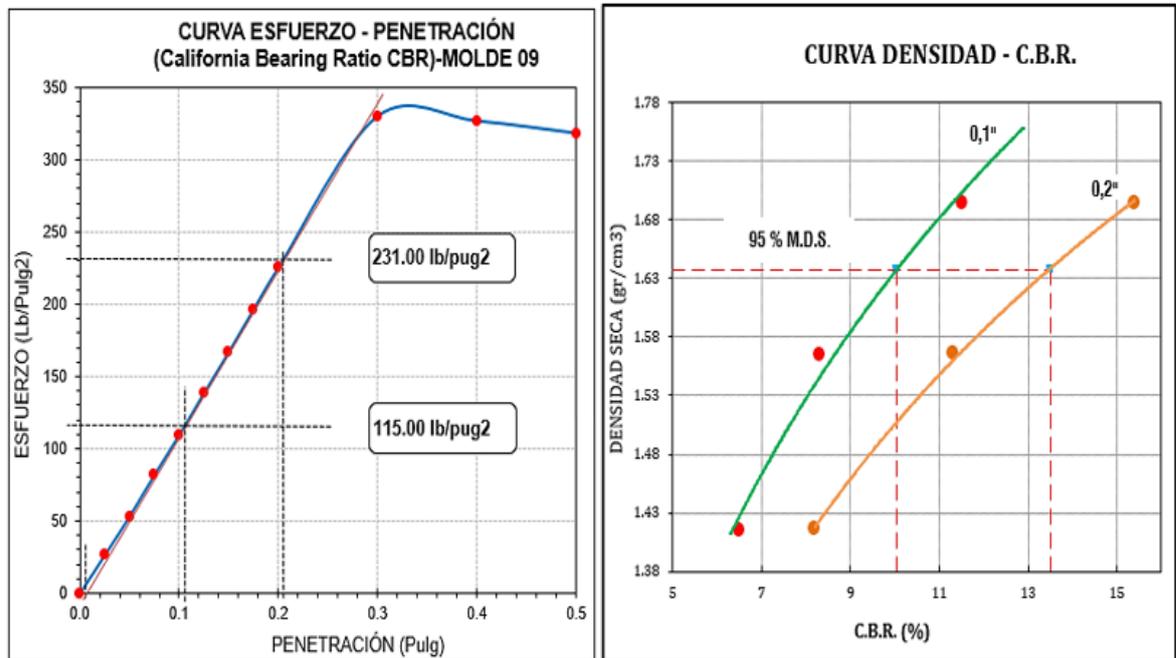


Tabla 69

Contenido de humedad del suelo de la calicata 4

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1	Fecha: Julio 2023
Ensayo:		1	2
W (tara + M. Húmeda) gr		299.80	306.40
W (tara + M. Seca) gr		250.10	255.90
W agua (gr)		49.70	50.50
W tara (gr)		35.20	35.20
W Muestra Seca (gr)		214.90	220.70
Contenido de humedad (%)		23.13	22.88
Contenido de humedad (%):		23.00	

Tabla 70

Análisis granulométrico del suelo de la calicata 4

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1	Fecha: Julio 2023		
Peso total muestra seca (gr)		1272.00			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Ret. Parcial	Peso Ret. Acumulado	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	4.20	4.20	0.33	99.67
3/8"	9.525	8.60	12.80	1.01	98.99
1/4"	6.350	10.40	23.20	1.82	98.18
No. 4	4.750	15.60	38.80	3.05	96.95
No. 10	2.000	27.40	66.20	5.20	94.80
No. 20	0.850	15.30	103.10	8.11	91.89
No. 40	0.425	16.00	141.68	11.14	88.86
No. 60	0.250	18.30	185.82	14.61	85.39
No. 140	0.106	22.50	240.08	18.87	81.13
No. 200	0.075	22.90	295.30	23.22	76.78
Pérdida por lavado		405.00	1272.00	100.0	0.0
Grava (4.75mm - 75mm)		Arena (0.075mm - 4.75mm)		Limo y arcilla (<0.075mm)	
3.05 %		20.17 %		76.78 %	

Figura 63

Curva granulométrica del suelo de la calicata 4

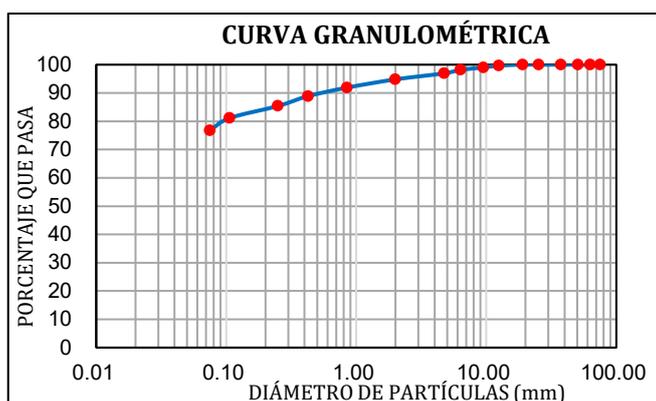


Tabla 71

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Julio 2023		
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.	
Peso Tara+ M. Húmeda (gr)	50.40	51.80	51.80	45.40	46.90		
Peso Tara+ M. Seca (gr)	41.80	43.10	43.50	42.10	43.10		
Peso agua (gr)	8.60	8.70	8.30	3.30	3.80		
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40		
Peso M. Seca (gr)	16.70	18.20	18.00	16.90	18.70		
Contenido de humedad (W%)	51.50	47.80	46.11	19.53	20.32	20	
Número de golpes (N)	17	26	33				
Límite líquido (%): 48		Límite plástico (%): 20		Índice de plasticidad (%): 28		Índice de grupo: 21	

Figura 64

Límite líquido del suelo de la calicata 4

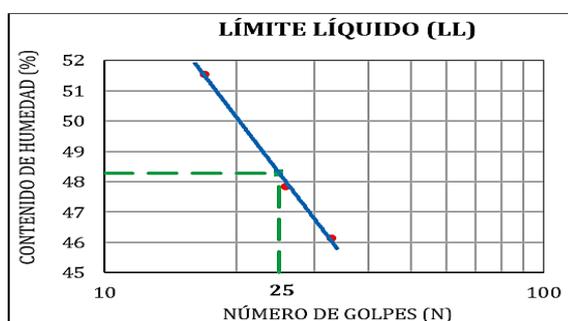


Tabla 72

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023		
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	48.50	49.00	48.80	48.00	49.10		
Peso Tara + M. Seca (gr)	41.10	41.70	41.90	43.70	44.40		
Peso agua (gr)	7.40	7.30	6.90	4.30	4.70		
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40		
Peso M. Seca (gr)	16.00	16.80	16.40	18.50	20.00		
Contenido de humedad (W%)	46.25	43.45	42.07	23.24	23.50	23	
Número de golpes (N)	16	27	34				
Límite líquido (%): 44		Límite plástico (%): 23		Índice de plasticidad (%): 21			

Figura 65

Límite líquido del suelo de la calicata 4 con adición de 3% de cemento

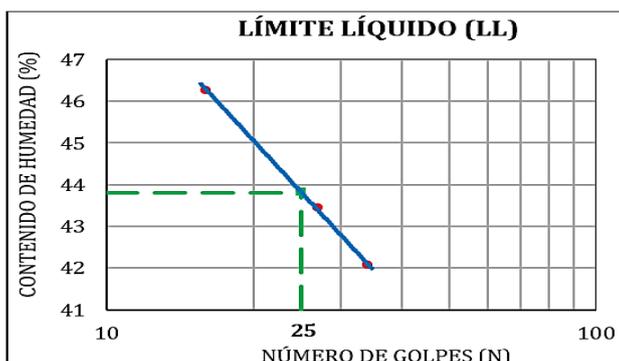


Tabla 73

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	49.30	50.70	51.00	48.00	47.70	
Peso Tara + M. Seca (gr)	41.60	42.90	43.50	43.50	43.00	
Peso agua (gr)	7.70	7.80	7.50	4.50	4.70	
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40	
Peso M. Seca (gr)	16.50	18.00	18.00	18.30	18.60	
Contenido de humedad (W%)	46.67	43.33	41.67	24.59	25.27	25
Número de golpes (N)	16	26	31			
Límite líquido (%): 43		Límite plástico (%): 25			Índice de plasticidad (%): 18	

Figura 66

Límite líquido del suelo de la calicata 4 con adición de 4% de cemento

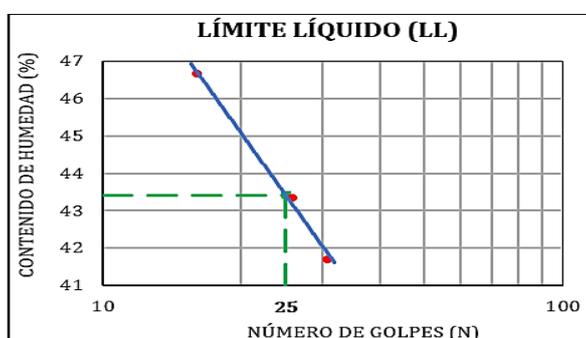


Tabla 74

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 4 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	52.20	51.00	51.60	47.00	47.90	
Peso Tara + M. Seca (gr)	43.80	43.30	44.10	42.50	43.00	
Peso agua (gr)	8.40	7.70	7.50	4.50	4.90	
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40	
Peso M. Seca (gr)	18.70	18.40	18.60	17.30	18.60	
Contenido de humedad (W%)	44.92	41.85	40.32	26.01	26.34	26
Número de golpes (N)	15	24	32			
Límite líquido (%): 42		Límite plástico (%): 26			Índice de plasticidad (%): 16	

Figura 67

Límite líquido del suelo de la calicata 4 con adición de 5% de cemento

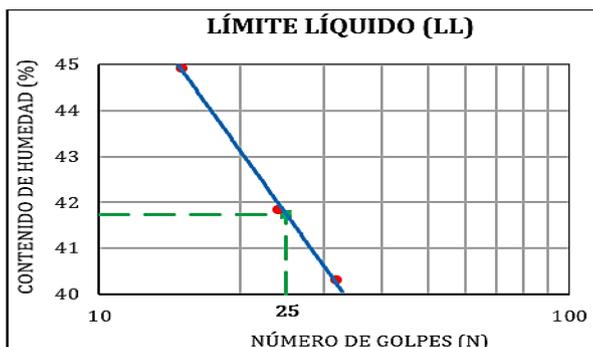


Tabla 75

Proctor modificado del suelo de la calicata 4

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1				Fecha: Julio 2023				
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3				
Ensayo		1		2		3		4		
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5		
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5570.00		5641.00		5683.00		5675.00		
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00		
	Peso Húmedo (gr)	1703.00		1774.00		1816.00		1808.00		
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00		
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.829		1.905		1.951		1.942		
HUMEDAD	Tara		T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)		207.10	202.40	182.40	211.50	156.60	152.00	213.30	212.00
	Peso Seco + Tara (gr)		184.80	181.00	160.90	186.10	136.70	132.80	181.90	181.20
	Peso Agua (gr)		22.30	21.40	21.50	25.40	19.90	19.20	31.40	30.80
	Peso Tara (gr)		25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)		159.60	156.60	134.90	160.20	110.60	107.40	157.10	155.60
	Contenido de Humedad (%)		13.97	13.67	15.94	15.86	17.99	17.88	19.99	19.79
	C. Humedad (%) promedio		13.82		15.90		17.93		19.89	
DENSIDAD SECA (cm³)		1.607		1.644		1.654		1.620		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.655						C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 17.50				

Figura 68

Curva de compactación del suelo de la calicata 4

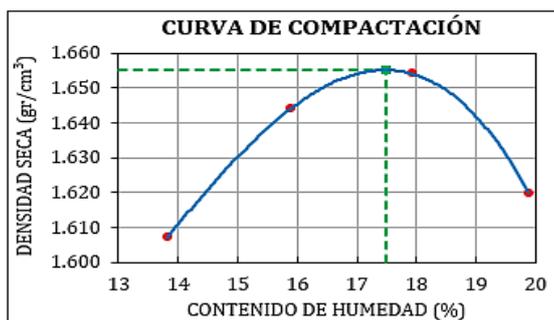


Tabla 76

Proctor modificado del suelo de la calicata 4 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1				Fecha: Agosto 2023				
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3				
Ensayo		1		2		3		4		
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5		
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5650.00		5717.00		5764.00		5759.00		
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00		
	Peso Húmedo (gr)	1783.00		1850.00		1897.00		1892.00		
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00		
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.915		1.987		2.038		2.032		
HUMEDAD	Tara		T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)		210.30	205.10	182.30	219.60	164.80	154.70	210.30	221.10
	Peso Seco + Tara (gr)		190.40	186.10	163.30	196.10	145.50	137.10	182.10	191.50
	Peso Agua (gr)		19.90	19.00	19.00	23.50	19.30	17.60	28.20	29.60
	Peso Tara (gr)		25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)		165.20	161.70	137.30	170.20	119.40	111.70	157.30	165.90
	Contenido de Humedad (%)		12.05	11.75	13.84	13.81	16.16	15.76	17.93	17.84
	C. Humedad (%) promedio		11.90		13.82		15.96		17.88	
DENSIDAD SECA (cm³)		1.712		1.746		1.757		1.724		
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.758						C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 15.55				

Figura 69

Curva de compactación del suelo de la calicata 4 con adición de 3% de cemento

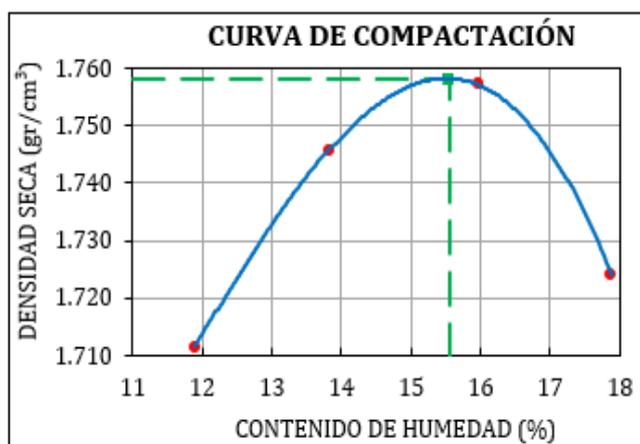


Tabla 77

Proctor modificado del suelo de la calicata 4 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Agosto 2023					
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5691.00	5758.00	5788.00	5790.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1824.00	1891.00	1921.00	1923.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.959	2.031	2.063	2.066				
HUMEDAD	Tara	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)	215.30	209.90	170.30	185.00	172.90	177.40	185.00	185.56
	Peso Seco + Tara (gr)	194.90	190.30	152.50	165.50	152.80	156.90	160.70	161.60
	Peso Agua (gr)	20.40	19.60	17.80	19.50	20.10	20.50	24.30	23.96
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	169.70	165.90	126.50	139.60	126.70	131.50	135.90	136.00
	Contenido de Humedad (%)	12.02	11.81	14.07	13.97	15.86	15.59	17.88	17.62
	C. Humedad (%) promedio	11.92		14.02		15.73		17.75	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.751		1.781		1.783		1.754	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.789				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 15.00				

Figura 70

Curva de compactación del suelo de la calicata 4 con adición de 4% de cemento

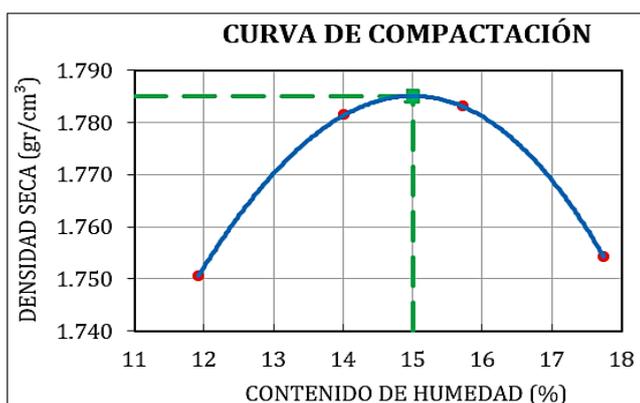


Tabla 78

Proctor modificado del suelo de la calicata 4 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1				Fecha: Agosto 2023			
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C				Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5708.00	5779.00	5808.00	5807.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1841.00	1912.00	1941.00	1940.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.977	2.054	2.085	2.084				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	216.20	210.80	172.20	185.90	174.10	179.10	186.20	186.90
	Peso Seco + Tara (gr)	195.90	192.10	154.20	166.50	153.40	158.00	161.60	162.50
	Peso Agua (gr)	20.30	18.70	18.00	19.40	20.70	21.10	24.60	24.40
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	170.70	167.70	128.20	140.60	127.30	132.60	136.80	136.90
	Contenido de Humedad (%)	11.89	11.15	14.04	13.80	16.26	15.91	17.98	17.82
	C. Humedad (%) promedio	11.52		13.92		16.09		17.90	
DENSIDAD SECA (cm³)		1.773		1.803		1.796		1.767	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.804					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 14.60				

Figura 71

Curva de compactación del suelo de la calicata 4 con adición de 5% de cemento

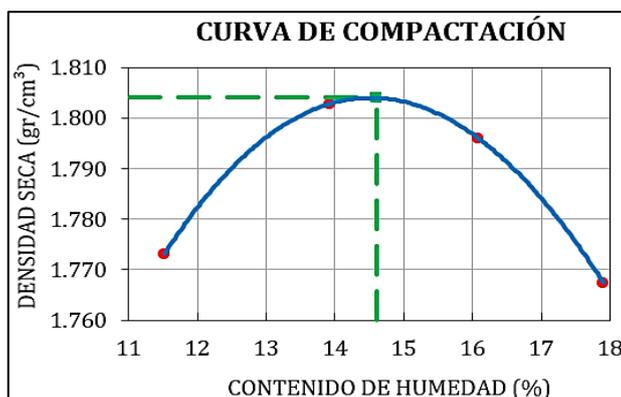


Tabla 79

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Julio 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	10		11		12					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10650.0	10970.0	11958.0	12120.0	11298.0	11465.0				
Peso Molde (gr)	7096.0	7096.0	8020.0	8020.0	7094.0	7094.0				
Peso Húmedo (gr)	3554.0	3874.0	3938.0	4100.0	4204.0	4371.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2098.51	2098.51	2098.50	2098.50	2098.50	2098.50				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.694	1.846	1.877	1.954	2.003	2.083				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	151.50	148.50	148.70	150.70	150.30	151.90	150.70	151.60	151.10	
Peso Seco + Tara (gr)	133.50	131.60	123.10	132.50	132.30	129.90	132.50	133.20	129.00	
Peso Agua (gr)	18.00	16.90	25.60	18.20	18.00	22.00	18.20	18.40	22.10	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	109.10	105.60	97.20	106.40	106.90	105.10	106.90	109.30	103.30	
Contenido de Humedad %	16.50%	16.00%	26.34%	17.11%	16.84%	20.93%	17.03%	16.83%	21.39%	
C. Humedad Promedio	16.25%	16.00%	26.34%	16.97%	16.84%	20.93%	16.93%	16.83%	21.39%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.457	1.461	1.604	1.604	1.616	1.616	1.713	1.713	1.716	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 10			Número de MOLDE N.º 11			Número de MOLDE N.º 12			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.191	4.851	3.85	0.161	4.089	3.25	0.143	3.632	2.88
48	2	0.242	6.147	4.88	0.205	5.207	4.13	0.182	4.623	3.67
72	3	0.278	7.061	5.60	0.233	5.918	4.70	0.206	5.232	4.15
96	4	0.291	7.391	5.87	0.241	6.121	4.86	0.215	5.461	4.33
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 10			MOLDE N° 11			MOLDE N°12		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	8.70	0.45	6.42	9.75	0.50	7.20	11.32	0.59	8.36
1.27	0.050	17.48	0.90	12.91	21.09	1.09	15.57	25.73	1.33	19.00
1.91	0.075	26.90	1.39	19.86	32.07	1.66	23.68	40.54	2.10	29.93
2.54	0.100	33.64	1.74	24.84	40.41	2.09	29.83	51.29	2.65	37.87
3.18	0.125	38.39	1.98	28.34	46.72	2.41	34.49	58.68	3.03	43.32
3.81	0.150	41.71	2.16	30.79	50.91	2.63	37.59	64.15	3.32	47.36
4.45	0.175	44.06	2.28	32.53	54.51	2.82	40.24	68.52	3.54	50.59
5.08	0.200	46.26	2.39	34.15	57.49	2.97	42.44	72.60	3.75	53.60
7.62	0.300	51.75	2.67	38.21	67.28	3.48	49.67	85.11	4.40	62.83
10.16	0.400	55.46	2.87	40.94	74.25	3.84	54.82	95.19	4.92	70.28
12.70	0.500	57.70	2.98	42.60	80.19	4.14	59.20	102.78	5.31	75.88
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 10	25.00	34.00		1000	1500	2.50	2.27	1.457		
MOLDE 11	31.00	43.00		1000	1500	3.10	2.87	1.604		
MOLDE 12	40.00	54.00		1000	1500	4.00	3.60	1.713		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.655	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			3.04 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			17.50	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			2.76 %			

Figura 72

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes del suelo de la calicata 4

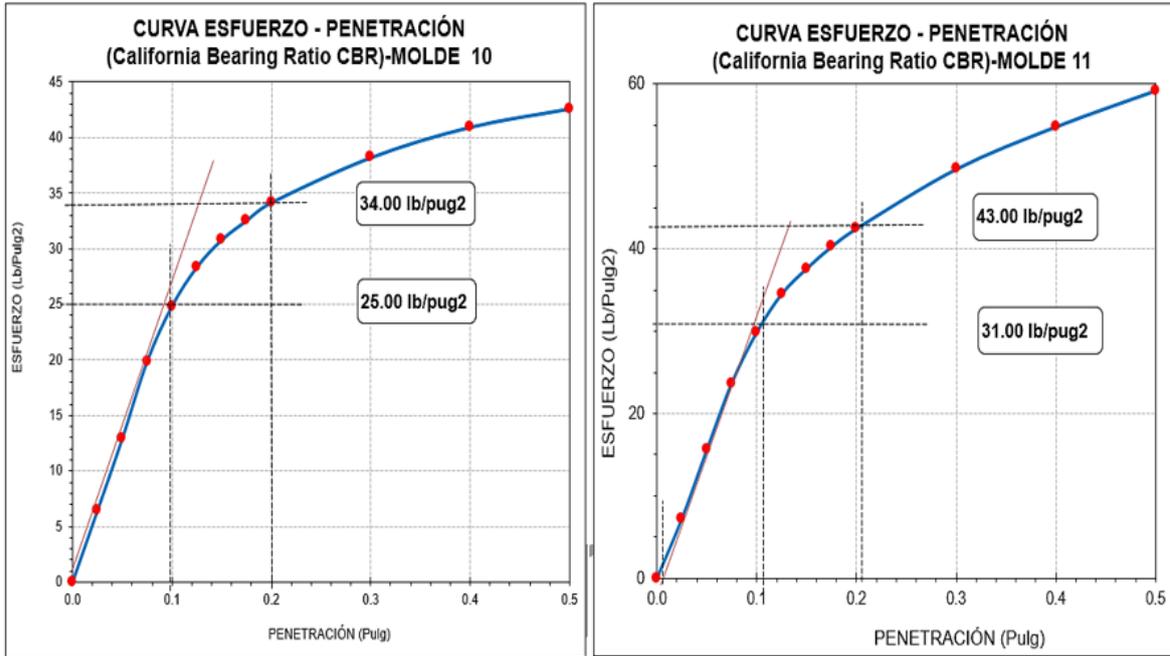


Figura 73

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4

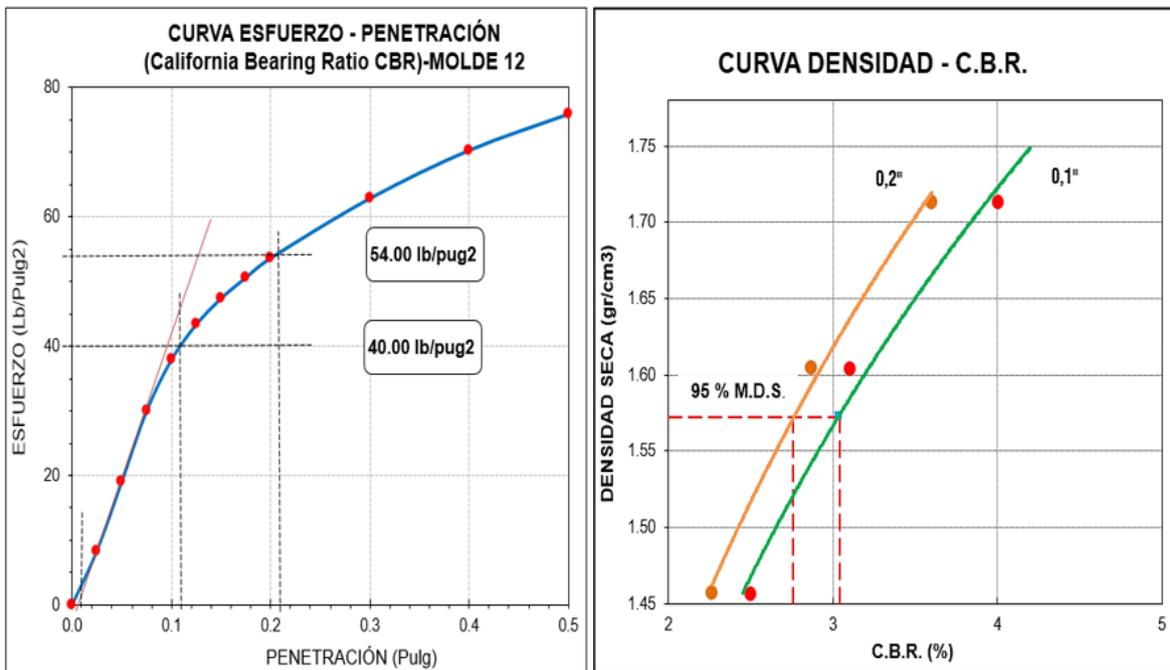


Tabla 80

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	10		11		12					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10726.0	11267.0	12007.0	12391.0	11375.0	11663.0				
Peso Molde (gr)	7096.0	7096.0	8020.0	8020.0	7094.0	7094.0				
Peso Húmedo (gr)	3630.0	4171.0	3987.0	4371.0	4281.0	4569.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2099.95	2099.95	2099.95	2099.95	2124.63	2124.63				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.729	1.986	1.899	2.081	2.015	2.150				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	146.70	147.50	148.30	150.00	148.70	149.20	148.80	146.60	149.50	
Peso Seco + Tara (gr)	130.40	131.60	120.00	133.40	132.40	124.00	132.40	130.40	126.00	
Peso Agua (gr)	16.30	15.90	28.30	16.60	16.30	25.20	16.40	16.20	23.50	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	106.00	105.60	94.10	107.30	107.00	99.20	106.80	106.50	100.30	
Contenido de Humedad %	15.38%	15.06%	30.07%	15.47%	15.23%	25.40%	15.36%	15.21%	23.43%	
C. Humedad Promedio	15.22%	30.07%	15.35%	25.40%	15.28%	23.43%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.500	1.527	1.646	1.660	1.748	1.742				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 10			Número de MOLDE N.º 11			Número de MOLDE N.º 12			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		
0	0	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	
24	1	0.145	3.683 2.92	0.121	3.073 2.44	0.102	2.591 2.06	0.102	2.591 2.06	
48	2	0.185	4.699 3.73	0.155	3.937 3.12	0.131	3.327 2.64	0.131	3.327 2.64	
72	3	0.209	5.309 4.21	0.175	4.445 3.53	0.147	3.734 2.96	0.147	3.734 2.96	
96	4	0.217	5.512 4.37	0.182	4.623 3.67	0.152	3.861 3.06	0.152	3.861 3.06	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 10			MOLDE N° 11			MOLDE N°12		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	18.96	0.98	14.00	30.50	1.58	22.52	31.79	1.64	23.47
1.27	0.050	40.84	2.11	30.15	62.36	3.22	46.04	67.17	3.47	49.59
1.91	0.075	65.49	3.38	48.35	93.36	4.82	68.93	102.94	5.32	76.00
2.54	0.100	90.99	4.70	67.18	126.44	6.53	93.35	141.08	7.29	104.16
3.18	0.125	117.21	6.06	86.53	158.06	8.17	116.69	180.21	9.31	133.05
3.81	0.150	141.53	7.31	104.49	185.76	9.60	137.14	218.23	11.28	161.11
4.45	0.175	165.74	8.57	122.36	214.30	11.07	158.21	248.48	12.84	183.45
5.08	0.200	186.33	9.63	137.56	235.11	12.15	173.58	272.96	14.11	201.52
7.62	0.300	248.05	12.82	183.13	294.50	15.22	217.42	340.58	17.60	251.44
10.16	0.400	288.56	14.91	213.04	325.98	16.85	240.66	377.09	19.49	278.40
12.70	0.500	310.11	16.03	228.95	340.24	17.58	251.19	400.70	20.71	295.83
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 10	77.00	143.00		1000	1500	7.70	9.53	1.500		
MOLDE 11	93.00	172.00		1000	1500	9.30	11.47	1.646		
MOLDE 12	115.00	208.00		1000	1500	11.50	13.87	1.748		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):		1.758		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		10.00 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		15.55		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		12.20 %				

Figura 74

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 4 (3% cemento)

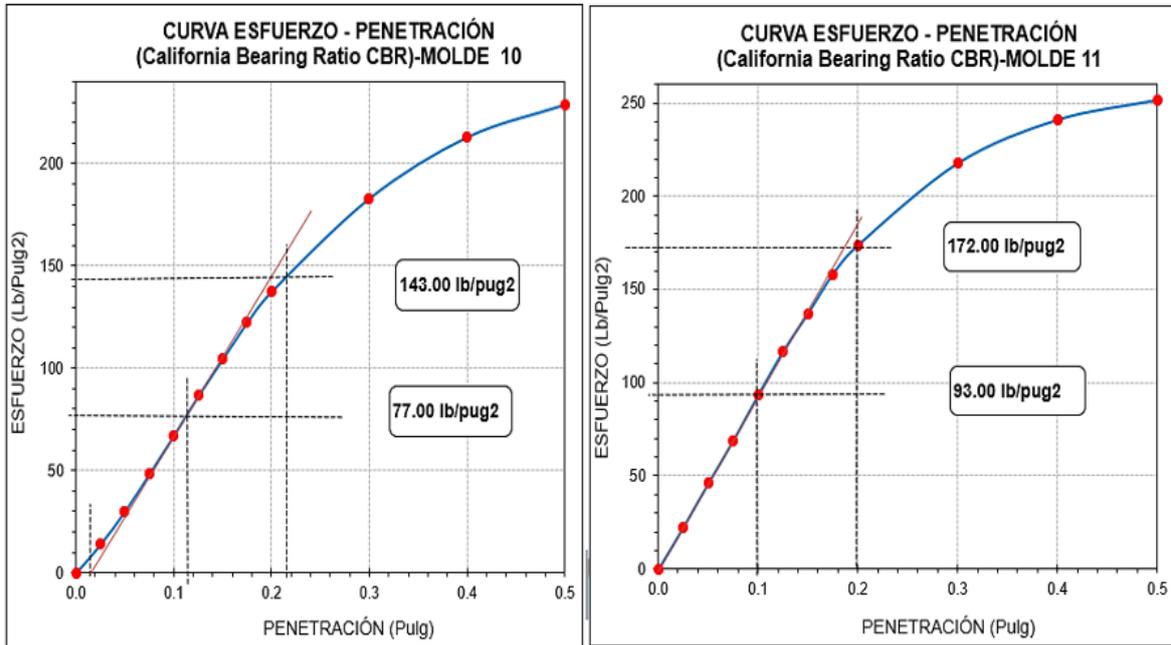


Figura 75

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4 (3% cemento)

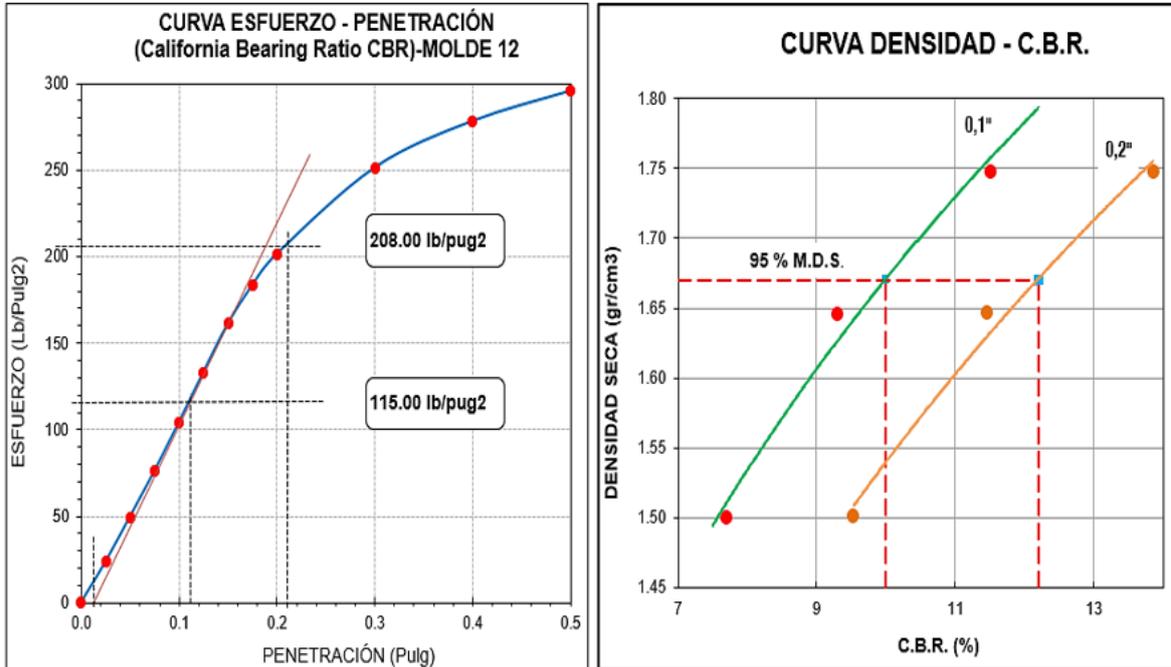


Tabla 81

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	10		11		12					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10741.0	11171.0	12004.0	12370.0	11390.0	11599.0				
Peso Molde (gr)	7096.0	7096.0	8020.0	8020.0	7094.0	7094.0				
Peso Húmedo (gr)	3645.0	4075.0	3984.0	4350.0	4296.0	4505.0				
Volumen del Molde (cm3)	2098.51	2098.51	2099.95	2099.95	2124.63	2124.63				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.737	1.942	1.897	2.071	2.022	2.120				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	152.90	150.90	154.00	153.00	152.00	153.70	149.70	150.30	151.80	
Peso Seco + Tara (gr)	136.20	134.80	127.60	136.90	136.10	129.70	134.10	134.60	131.10	
Peso Agua (gr)	16.70	16.10	26.40	16.10	15.90	24.00	15.60	15.70	20.70	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	111.80	108.80	101.70	110.80	110.70	104.90	108.50	110.70	105.40	
Contenido de Humedad %	14.94%	14.80%	25.96%	14.53%	14.36%	22.88%	14.38%	14.18%	19.64%	
C. Humedad Promedio	14.87%	25.96%	14.45%	22.88%	14.28%	19.64%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.512	1.542	1.658	1.686	1.769	1.772				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 10			Número de MOLDE N.º 11			Número de MOLDE N.º 12			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		
0	0	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	
24	1	0.120	3.048 2.42	0.100	2.540 2.02	0.079	2.007 1.59	0.079	2.007 1.59	
48	2	0.154	3.912 3.10	0.131	3.327 2.64	0.101	2.565 2.04	0.101	2.565 2.04	
72	3	0.175	4.445 3.53	0.148	3.759 2.98	0.115	2.921 2.32	0.115	2.921 2.32	
96	4	0.173	4.394 3.49	0.154	3.912 3.10	0.120	3.048 2.42	0.120	3.048 2.42	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 10			MOLDE N° 11			MOLDE N°12		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	34.63	1.79	25.57	27.48	1.42	20.29	53.38	2.76	39.41
1.27	0.050	70.02	3.62	51.69	65.71	3.40	48.51	107.33	5.55	79.24
1.91	0.075	107.35	5.55	79.25	112.73	5.83	83.23	162.26	8.39	119.79
2.54	0.100	145.19	7.50	107.19	160.84	8.31	118.74	214.64	11.09	158.46
3.18	0.125	178.19	9.21	131.55	204.55	10.57	151.02	268.90	13.90	198.52
3.81	0.150	214.08	11.06	158.05	253.21	13.09	186.94	322.47	16.67	238.07
4.45	0.175	242.60	12.54	179.11	297.00	15.35	219.27	372.30	19.24	274.86
5.08	0.200	268.41	13.87	198.16	335.69	17.35	247.83	420.45	21.73	310.41
7.62	0.300	356.31	18.41	263.06	453.14	23.42	334.54	566.47	29.27	418.21
10.16	0.400	420.88	21.75	310.73	502.15	25.95	370.73	582.16	30.09	429.80
12.70	0.500	450.50	23.28	332.60	520.96	26.92	384.61	580.11	29.98	428.28
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 10	114.00	201.00		1000	1500	11.40	13.40	1.512		
MOLDE 11	135.00	260.00		1000	1500	13.50	17.33	1.658		
MOLDE 12	159.00	300.00		1000	1500	15.90	20.00	1.769		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.785	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			14.40 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			15.00	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			18.00 %			

Figura 76

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 4 (4% cemento)

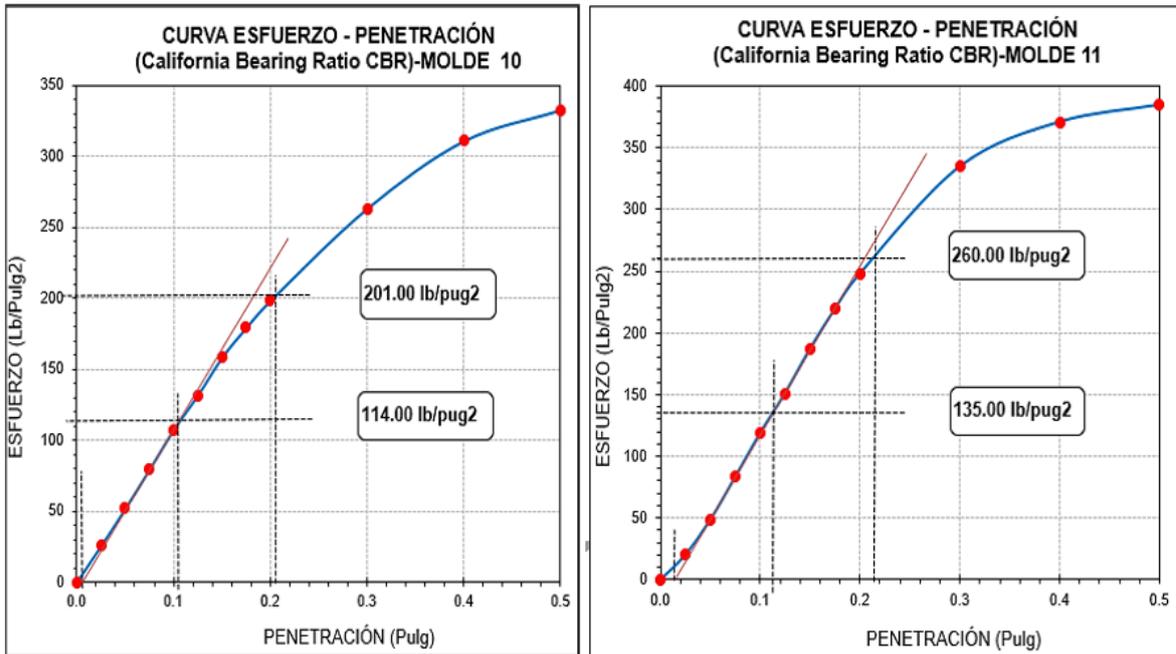


Figura 77

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4 (4% cemento)

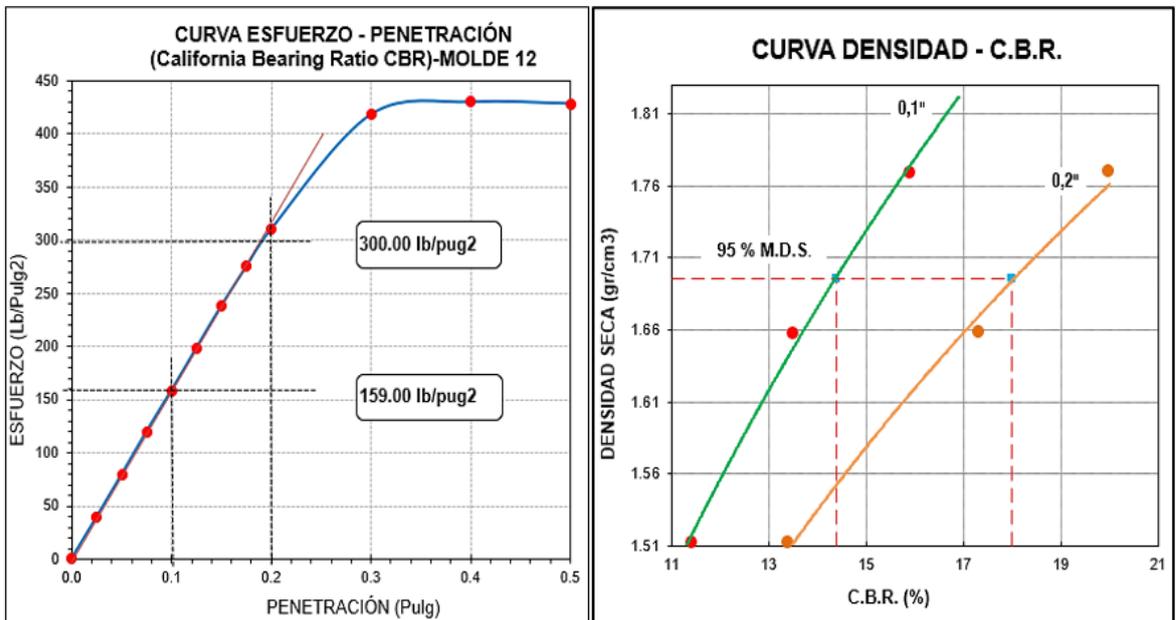


Tabla 82

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 4 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(21) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	10		11		12					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10825.0	11273.0	12039.0	12357.0	11382.0	11506.0				
Peso Molde (gr)	7096.0	7096.0	8020.0	8020.0	7094.0	7094.0				
Peso Húmedo (gr)	3729.0	4177.0	4019.0	4337.0	4288.0	4412.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2124.63	2124.63	2099.95	2099.95	2124.63	2124.63				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.755	1.966	1.914	2.065	2.018	2.077				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	146.30	147.70	149.60	148.50	151.80	147.90	148.30	149.40	146.20	
Peso Seco + Tara (gr)	130.60	132.30	123.00	133.40	136.40	125.40	133.20	134.20	128.00	
Peso Agua (gr)	15.70	15.40	26.60	15.10	15.40	22.50	15.10	15.20	18.20	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	106.20	106.30	97.10	107.30	111.00	100.60	107.60	110.30	102.30	
Contenido de Humedad %	14.78%	14.49%	27.39%	14.07%	13.87%	22.37%	14.03%	13.78%	17.79%	
C. Humedad Promedio	14.64%	27.39%	13.97%	22.37%	13.91%	17.79%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.531	1.543	1.679	1.688	1.772	1.763				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo	Número de MOLDE N.º 10			Número de MOLDE N.º 11			Número de MOLDE N.º 12			
Acumulado	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	
(Hs) (Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.102	2.591	2.06	0.086	2.184	1.73	0.064	1.626	1.29
48	2	0.129	3.277	2.60	0.111	2.819	2.24	0.082	2.083	1.65
72	3	0.147	3.734	2.96	0.126	3.200	2.54	0.094	2.388	1.89
96	4	0.153	3.886	3.08	0.130	3.302	2.62	0.097	2.464	1.96
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 10			MOLDE N° 11			MOLDE N°12		
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
		(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	38.22	1.98	28.22	47.65	2.46	35.18	50.04	2.59	36.94
1.27	0.050	81.41	4.21	60.10	95.74	4.95	70.68	105.62	5.46	77.98
1.91	0.075	126.96	6.56	93.73	146.25	7.56	107.97	169.31	8.75	125.00
2.54	0.100	175.38	9.06	129.48	200.79	10.38	148.24	241.48	12.48	178.28
3.18	0.125	221.42	11.44	163.47	256.58	13.26	189.43	310.54	16.05	229.27
3.81	0.150	261.39	13.51	192.98	310.73	16.06	229.41	379.92	19.63	280.49
4.45	0.175	295.04	15.25	217.82	365.44	18.89	269.80	452.14	23.37	333.81
5.08	0.200	321.81	16.63	237.59	420.40	21.73	310.37	517.83	26.76	382.30
7.62	0.300	403.67	20.86	298.02	592.83	30.64	437.67	775.19	40.06	572.31
10.16	0.400	445.02	23.00	328.55	587.00	30.34	433.37	768.52	39.72	567.38
12.70	0.500	460.22	23.78	339.77	580.65	30.01	428.68	755.64	39.05	557.87
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 10	141.00	245.00		1000	1500	14.10	16.33	1.531		
MOLDE 11	174.00	330.00		1000	1500	17.40	22.00	1.679		
MOLDE 12	202.00	410.00		1000	1500	20.20	27.33	1.772		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.804		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			18.45 %		
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			14.60		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			24.00 %		

Figura 78

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 4 (5% cemento)

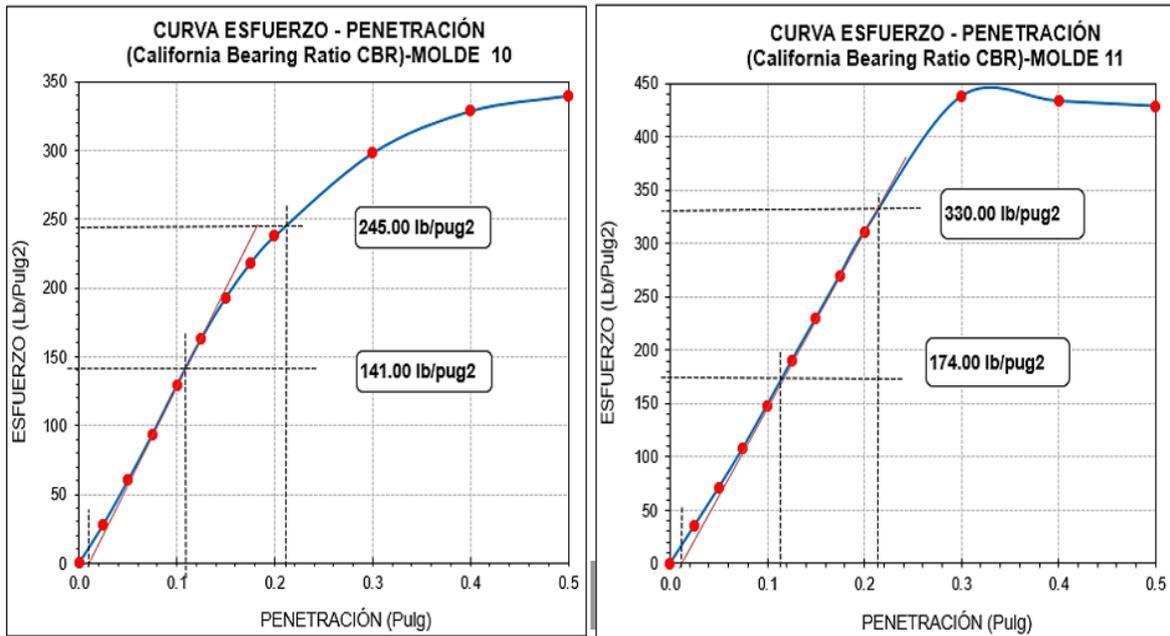


Figura 79

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 4 (5% cemento)

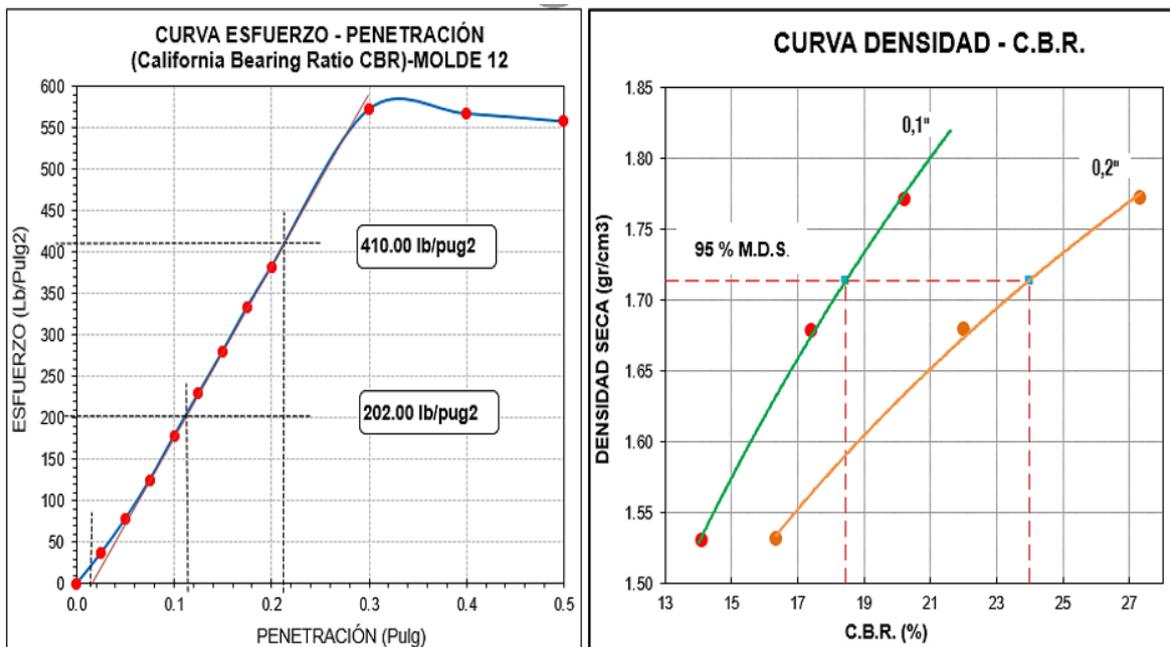


Tabla 83

Contenido de humedad del suelo de la calicata 5

Tipo de suelo: A-6(12) / CL	Estrato: E-2	Fecha: Julio 2023
Ensayo:	1	2
W (tara + M. Húmeda) gr	124.40	135.80
W (tara + M. Seca) gr	101.20	109.30
W agua (gr)	23.20	26.50
W tara (gr)	24.50	24.50
W Muestra Seca (gr)	76.70	84.80
Contenido de humedad (%)	30.25	31.25
Contenido de humedad (%):	30.75	

Tabla 84

Análisis granulométrico del suelo de la calicata 5

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023	
Peso total muestra seca (gr)					1136.00
Tamiz	Abertura(mm)	Peso Ret. Parcial	Peso Ret. Acumulado	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	5.20	5.20	0.46	99.54
No. 4	4.750	7.30	12.50	1.10	98.90
No. 10	2.000	17.50	30.00	2.64	97.36
No. 20	0.850	13.20	59.20	5.21	94.79
No. 40	0.425	13.80	89.72	7.90	92.10
No. 60	0.250	24.30	143.48	12.63	87.37
No. 140	0.106	31.50	213.15	18.76	81.24
No. 200	0.075	29.50	278.41	24.51	75.49
Pérdida por lavado		387.70	1136.00	100.0	0.0
Grava (4.75mm - 75mm)		Arena (0.075mm - 4.75mm)		Limo y arcilla (<0.075mm)	
1.10 %		23.41 %		75.49 %	

Figura 80

Curva granulométrica del suelo de la calicata 5

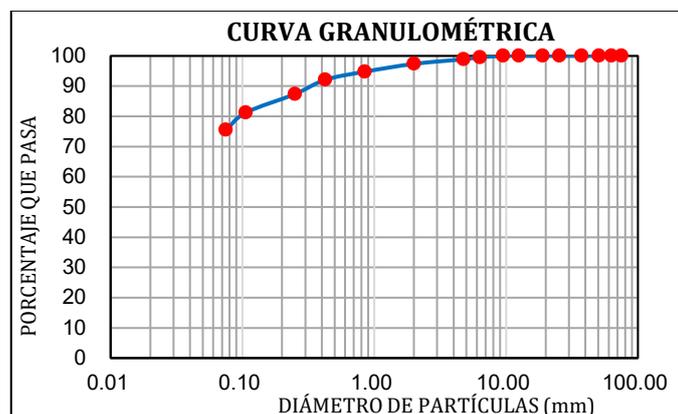


Tabla 85

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Julio 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.
Peso Tara+ M. Húmeda (gr)	49.90	50.60	49.70	46.20	45.30	
Peso Tara+ M. Seca (gr)	42.30	43.30	43.10	42.10	41.30	
Peso agua (gr)	7.60	7.30	6.60	4.10	4.00	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	18.00	18.30	17.30	17.40	17.30	
Contenido de humedad (W%)	42.22	39.89	38.15	23.56	23.12	23
Número de golpes (N)	18	25	35			
Límite líquido (%): 40		Límite plástico (%): 23		Índice de plasticidad (%): 17		Índice de grupo: 12

Figura 81

Límite líquido del suelo de la calicata 5

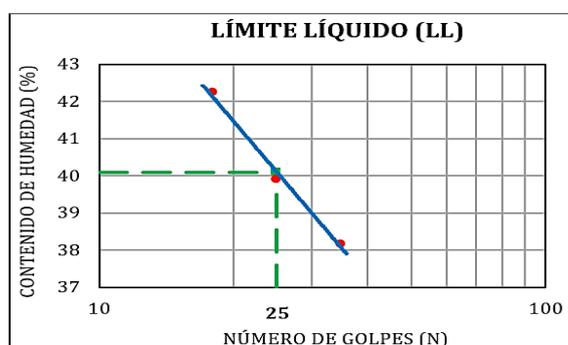


Tabla 86

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
	T1	T2	T3	T4	T5	Prom.
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	52.70	50.30	51.70	44.40	45.30	
Peso Tara + M. Seca (gr)	44.90	43.80	45.30	40.20	40.80	
Peso agua (gr)	7.80	6.50	6.40	4.20	4.50	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	20.60	18.80	19.50	15.50	16.80	
Contenido de humedad (W%)	37.86	34.57	32.82	27.10	26.79	27
Número de golpes (N)	16	26	35			
Límite líquido (%): 35		Límite plástico (%): 27		Índice de plasticidad (%): 8		

Figura 82

Límite líquido del suelo de la calicata 5 con adición de 3% de cemento

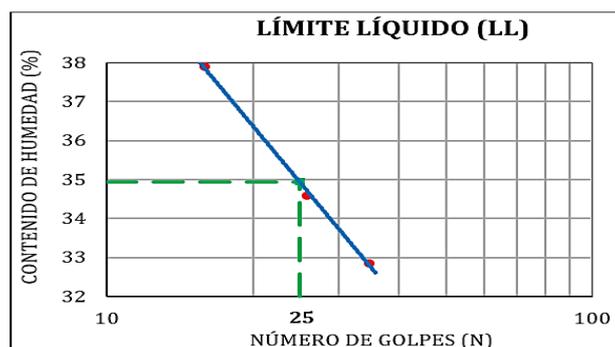


Tabla 87

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		Prom.
	T1	T2	T3	T4	T5	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	53.20	50.90	52.20	49.10	48.00	
Peso Tara + M. Seca (gr)	45.60	44.50	45.90	43.60	42.60	
Peso agua (gr)	7.60	6.40	6.30	5.50	5.40	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	21.30	19.50	20.10	18.90	18.60	
Contenido de humedad (W%)	35.68	32.82	31.34	29.10	29.03	29
Número de golpes (N)	15	25	35			
Límite líquido (%): 33		Límite plástico (%): 29			Índice de plasticidad (%): 4	

Figura 83

Límite líquido del suelo de la calicata 5 con adición de 4% de cemento

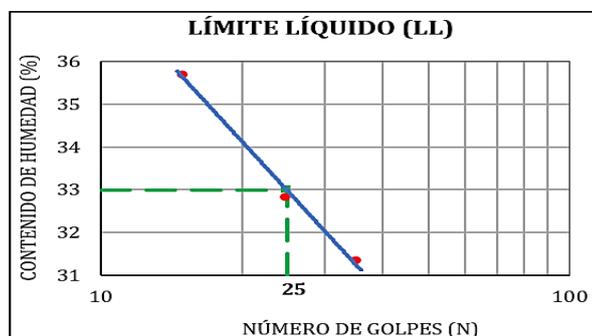


Tabla 88

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 5 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		Prom.
	T1	T2	T3	T4	T5	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	51.80	52.40	53.30	44.30	45.00	
Peso Tara + M. Seca (gr)	44.80	45.80	46.90	39.60	40.00	
Peso agua (gr)	7.00	6.60	6.40	4.70	5.00	
Peso tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	
Peso M. Seca (gr)	20.50	20.80	21.10	14.90	16.00	
Contenido de humedad (W%)	34.15	31.73	30.33	31.54	31.25	31
Número de golpes (N)	15	26	33			
Límite líquido (%): 32		Límite plástico (%): 31			Índice de plasticidad (%): 1	

Figura 84

Límite líquido del suelo de la calicata 5 con adición de 5% de cemento

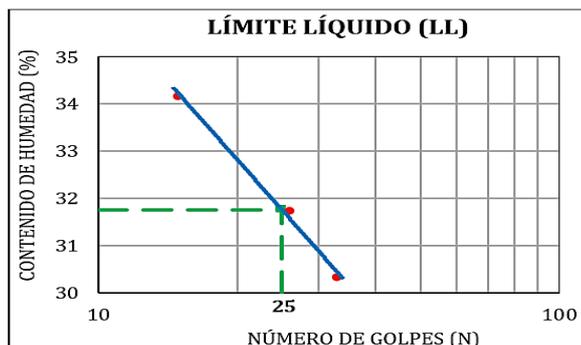


Tabla 89

Proctor modificado del suelo de la calicata 5.

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5639.00	5708.00	5738.00	5730.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1772.00	1841.00	1871.00	1863.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.903	1.977	2.010	2.001				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	212.40	207.90	182.40	219.40	164.70	185.70	213.40	223.90
	Peso Seco + Tara (gr)	189.50	186.00	161.10	193.00	143.30	161.40	182.10	191.40
	Peso Agua (gr)	22.90	21.90	21.30	26.40	21.40	24.30	31.30	32.50
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	165.20	161.00	135.30	168.30	119.30	136.30	157.20	165.90
	Contenido de Humedad (%)	13.86	13.60	15.74	15.69	17.94	17.83	19.91	19.59
	C. Humedad (%) promedio	13.73		15.71		17.88		19.75	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.674		1.709		1.705		1.671	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.712					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 16.60			

Figura 85

Curva de compactación del suelo de la calicata 5

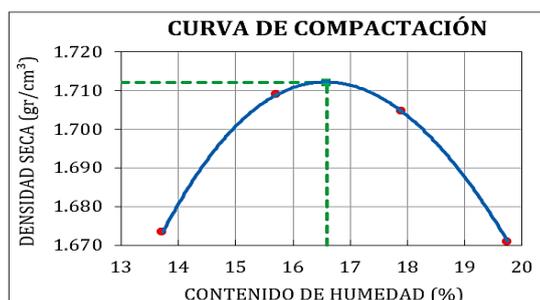


Tabla 90

Proctor modificado del suelo de la calicata 5 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5732.00	5803.00	5830.00	5825.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1865.00	1936.00	1963.00	1958.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)		2.003	2.079	2.108	2.103				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	246.60	202.40	204.40	226.70	197.50	168.00	235.80	223.00
	Peso Seco + Tara (gr)	223.00	183.80	182.40	202.20	173.50	148.40	203.90	193.40
	Peso Agua (gr)	23.60	18.60	22.00	24.50	24.00	19.60	31.90	29.60
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	198.70	158.80	156.60	177.50	149.50	123.30	179.00	167.90
	Contenido de Humedad (%)	11.88	11.71	14.05	13.80	16.05	15.90	17.82	17.63
	C. Humedad (%) promedio	11.80		13.93		15.97		17.73	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.792		1.825		1.818		1.786	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.827					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 14.52			

Figura 86

Curva de compactación del suelo de la calicata 5 con adición de 3% de cemento

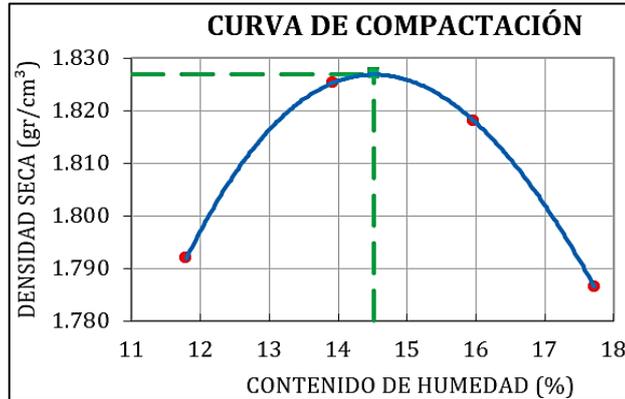


Tabla 91

Proctor modificado del suelo de la calicata 5 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Agosto 2023					
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3			
Ensayo		1		2		3		4	
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5	
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25	
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5722.00		5788.00		5844.00		5837.00	
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00	
	Peso Húmedo (gr)	1855.00		1921.00		1977.00		1970.00	
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00	
Densidad Húmeda (gr/cm³)		1.992		2.063		2.124		2.116	
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	254.66	264.34	217.60	189.20	202.60	176.30	198.80	185.10
	Peso Seco + Tara (gr)	233.60	242.70	197.00	171.80	180.30	157.60	175.00	163.40
	Peso Agua (gr)	21.06	21.64	20.60	17.40	22.30	18.70	23.80	21.70
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	209.30	217.70	171.20	147.10	156.30	132.50	150.10	137.90
	Contenido de Humedad (%)	10.06	9.94	12.03	11.83	14.27	14.11	15.86	15.74
	C. Humedad (%) promedio	10.00		11.93		14.19		15.80	
	DENSIDAD SECA (cm³)	1.811		1.843		1.860		1.827	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.861					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 13.87				

Figura 87

Curva de compactación del suelo de la calicata 5 con adición de 4% de cemento

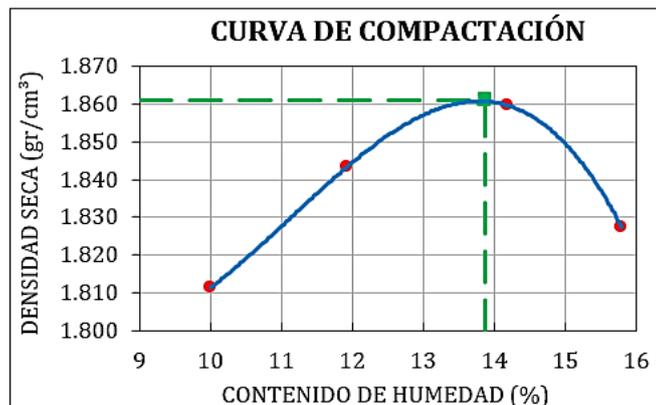


Tabla 92

Proctor modificado del suelo de la calicata 5 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2				Fecha: Agosto 2023			
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C				Energía de compactación: 2700 kN-m/m ³			
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5739.00	5810.00	5862.00	5855.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1872.00	1943.00	1995.00	1988.00				
	Volumen del Molde (cm ³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)		2.011	2.087	2.143	2.135				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	239.80	234.50	196.20	210.70	198.60	202.20	210.80	211.00
	Peso Seco + Tara (gr)	220.50	216.10	178.20	191.50	177.40	180.70	185.20	186.00
	Peso Agua (gr)	19.30	18.40	18.00	19.20	21.20	21.50	25.60	25.00
	Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50
	Peso Muestra Seca (gr)	196.20	191.10	152.40	166.80	153.40	155.60	160.30	160.50
	Contenido de Humedad (%)	9.84	9.63	11.81	11.51	13.82	13.82	15.97	15.58
	C. Humedad (%) promedio	9.73		11.66		13.82		15.77	
DENSIDAD SECA (cm ³)		1.832		1.869		1.883		1.844	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³): 1.884					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 13.45				

Figura 88

Curva de compactación del suelo de la calicata 5 con adición de 5% de cemento

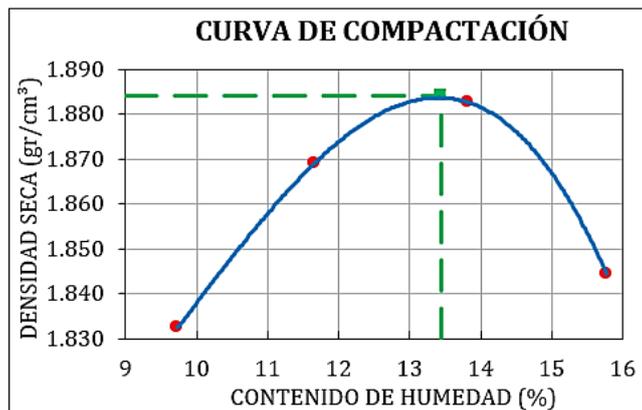


Tabla 93

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Julio 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	13		14		15					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11160.0	11548.0	12045.0	12232.0	13561.0	13752.0				
Peso Molde (gr)	7490.0	7490.0	8030.0	8030.0	7092.0	7092.0				
Peso Húmedo (gr)	3670.0	4058.0	4015.0	4202.0	6469.0	6660.0				
Volumen del Molde (cm3)	2129.58	2129.58	2105.82	2105.82	3191.02	3191.02				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.723	1.906	1.907	1.995	2.027	2.087				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	147.30	148.70	148.90	150.20	148.60	150.20	152.60	151.40	150.50	
Peso Seco + Tara (gr)	129.80	131.40	122.00	132.60	131.30	129.10	134.90	134.00	130.80	
Peso Agua (gr)	17.50	17.30	26.90	17.60	17.30	21.10	17.70	17.40	19.70	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	105.50	106.40	96.20	107.90	107.30	104.00	110.00	108.50	105.60	
Contenido de Humedad %	16.59%	16.26%	27.96%	16.31%	16.12%	20.29%	16.09%	16.04%	18.66%	
C. Humedad Promedio	16.42%		27.96%	16.22%		20.29%	16.06%		18.66%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.480		1.489	1.641		1.659	1.747		1.759	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 13			Número de MOLDE N.º 14			Número de MOLDE N.º 15			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.164	4.166	3.31	0.138	3.505	2.78	0.122	3.099	2.46
48	2	0.208	5.283	4.19	0.176	4.470	3.55	0.156	3.962	3.14
72	3	0.239	6.071	4.82	0.200	5.080	4.03	0.177	4.496	3.57
96	4	0.250	6.350	5.04	0.207	5.258	4.17	0.184	4.674	3.71
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 13			MOLDE N° 14			MOLDE N°15		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	15.02	0.78	11.09	15.69	0.81	11.58	17.18	0.89	12.68
1.27	0.050	30.17	1.56	22.27	33.92	1.75	25.04	39.03	2.02	28.82
1.91	0.075	46.43	2.40	34.28	51.58	2.67	38.08	61.50	3.18	45.40
2.54	0.100	58.05	3.00	42.86	65.00	3.36	47.99	77.81	4.02	57.45
3.18	0.125	66.25	3.42	48.91	75.15	3.88	55.48	89.01	4.60	65.71
3.81	0.150	71.98	3.72	53.14	81.88	4.23	60.45	97.32	5.03	71.85
4.45	0.175	76.05	3.93	56.15	87.67	4.53	64.72	103.94	5.37	76.74
5.08	0.200	79.84	4.13	58.94	92.46	4.78	68.26	110.13	5.69	81.31
7.62	0.300	89.32	4.62	65.94	108.21	5.59	79.89	129.11	6.67	95.32
10.16	0.400	95.72	4.95	70.67	119.42	6.17	88.17	144.39	7.46	106.60
12.70	0.500	99.59	5.15	73.53	128.98	6.67	95.22	155.92	8.06	115.11
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)			C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)	
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		
MOLDE 13	43.00	59.00		1000	1500		4.30	3.93	1.480	
MOLDE 14	50.00	69.00		1000	1500		5.00	4.60	1.641	
MOLDE 15	60.00	84.00		1000	1500		6.00	5.60	1.747	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.712	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			5.07 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			16.60	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			4.68 %			

Figura 89

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5

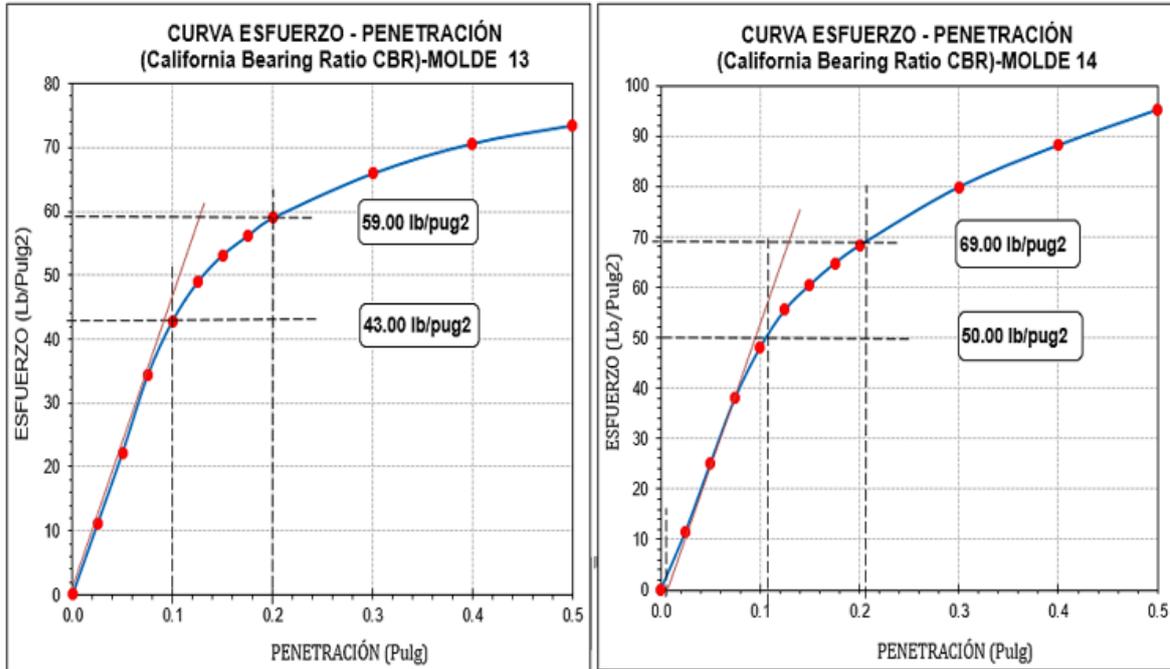


Figura 90

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5

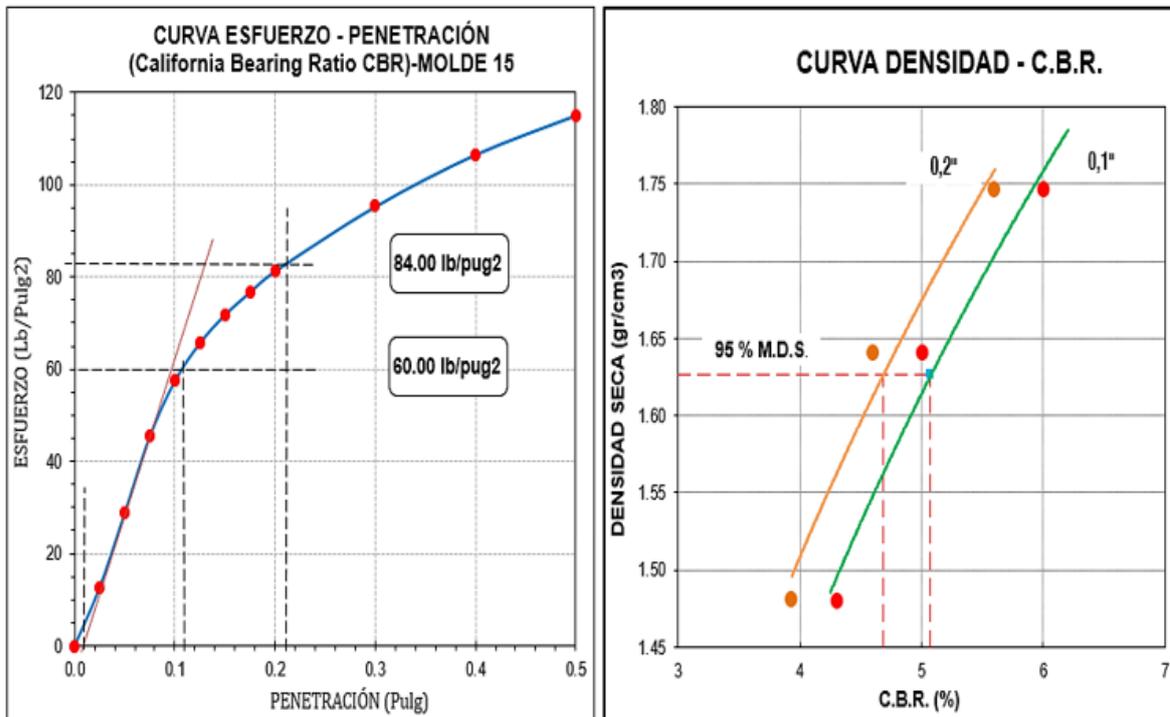


Tabla 94

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	13		14		15					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10825.0	11300.0	12157.0	12360.0	11514.0	11627.0				
Peso Molde (gr)	7090.0	7090.0	8030.0	8030.0	7092.0	7092.0				
Peso Húmedo (gr)	3735.0	4210.0	4127.0	4330.0	4422.0	4535.0				
Volumen del Molde (cm3)	2098.51	2098.51	2099.95	2099.95	2124.63	2124.63				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.780	2.006	1.965	2.062	2.081	2.134				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	156.40	154.20	155.00	153.10	151.90	153.70	154.50	155.20	154.90	
Peso Seco + Tara (gr)	139.60	138.00	126.60	136.80	135.90	131.90	138.30	139.20	135.50	
Peso Agua (gr)	16.80	16.20	28.40	16.30	16.00	21.80	16.20	16.00	19.40	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	115.30	113.00	100.80	112.10	111.90	106.80	113.40	113.70	110.30	
Contenido de Humedad %	14.57%	14.34%	28.17%	14.54%	14.30%	20.41%	14.29%	14.07%	17.59%	
C. Humedad Promedio	14.45%		28.17%	14.42%		20.41%	14.18%		17.59%	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.555		1.565	1.718		1.712	1.823		1.815	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 13			Número de MOLDE N.º 14			Número de MOLDE N.º 15			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.117	2.972	2.36	0.098	2.489	1.98	0.082	2.083	1.65
48	2	0.149	3.785	3.00	0.125	3.175	2.52	0.105	2.667	2.12
72	3	0.169	4.293	3.41	0.141	3.581	2.84	0.118	2.997	2.38
96	4	0.175	4.445	3.53	0.147	3.734	2.96	0.123	3.124	2.48
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 13			MOLDE N° 14			MOLDE N° 15		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	33.23	1.72	24.53	60.84	3.14	44.92	52.84	2.73	39.01
1.27	0.050	77.66	4.01	57.33	123.25	6.37	90.99	118.44	6.12	87.44
1.91	0.075	129.90	6.71	95.90	182.88	9.45	135.02	186.85	9.66	137.95
2.54	0.100	184.90	9.56	136.51	243.63	12.59	179.87	255.35	13.20	188.52
3.18	0.125	232.94	12.04	171.97	300.65	15.54	221.96	324.37	16.76	239.48
3.81	0.150	278.97	14.42	205.96	347.72	17.97	256.71	380.34	19.66	280.80
4.45	0.175	320.19	16.55	236.39	399.28	20.63	294.78	430.31	22.24	317.69
5.08	0.200	360.40	18.63	266.08	443.97	22.94	327.77	475.46	24.57	351.02
7.62	0.300	482.40	24.93	356.15	582.92	30.13	430.36	600.49	31.03	443.33
10.16	0.400	570.16	29.47	420.94	638.26	32.99	471.21	667.24	34.48	492.61
12.70	0.500	620.16	32.05	457.85	660.12	34.11	487.35	685.50	35.43	506.09
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 13	160.00	285.00		1000	1500	16.00	19.00	1.555		
MOLDE 14	182.00	330.00		1000	1500	18.20	22.00	1.718		
MOLDE 15	206.00	360.00		1000	1500	20.60	24.00	1.823		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.827	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			18.83 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			14.52	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			22.30 %			

Figura 91

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5 (3% cemento)

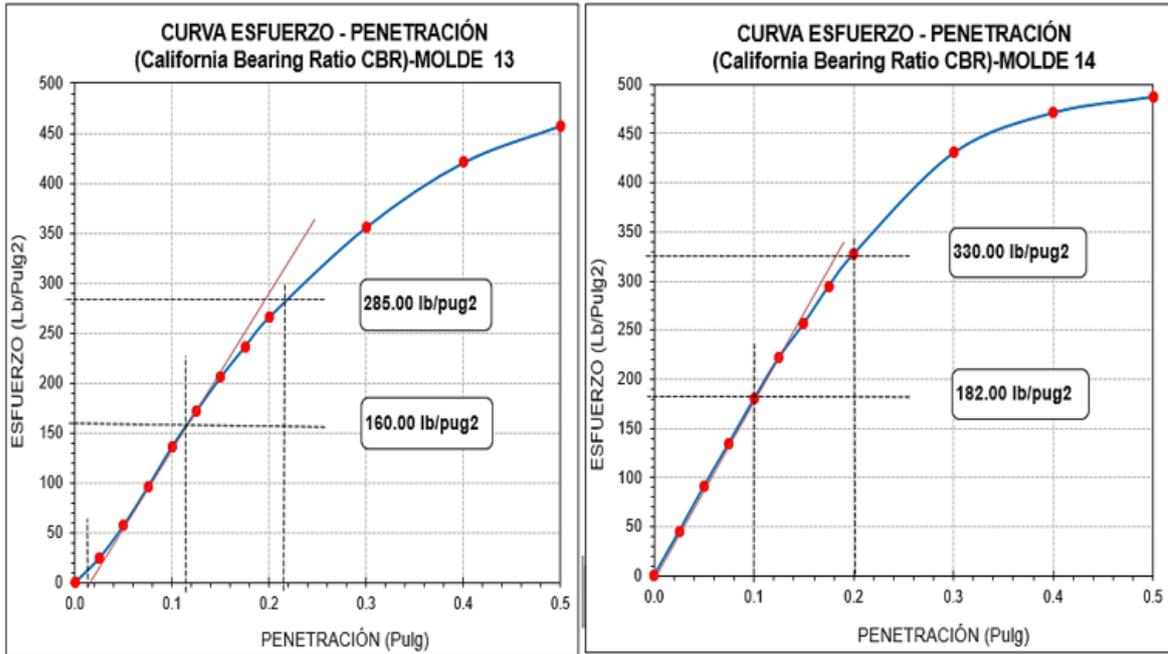


Figura 92

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5 (3% cemento)

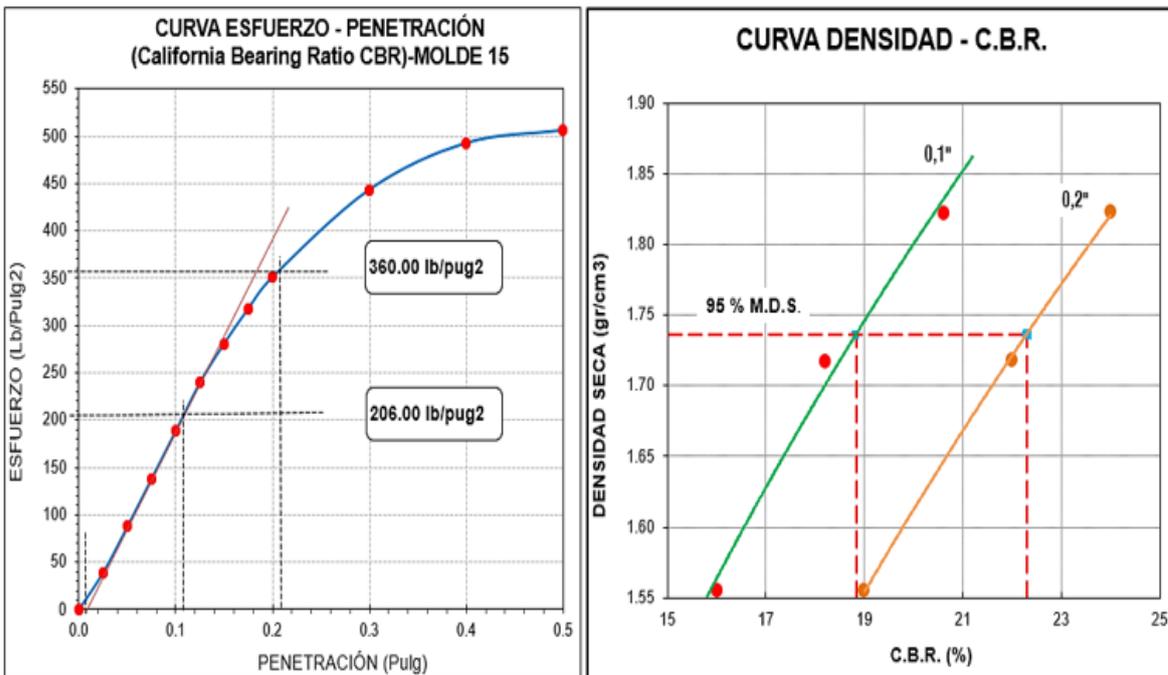


Tabla 95

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	13		14		15					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11257.0	11654.0	12134.0	12394.0	11494.0	11588.0				
Peso Molde (gr)	7490.0	7490.0	8030.0	8030.0	7092.0	7092.0				
Peso Húmedo (gr)	3767.0	4164.0	4104.0	4364.0	4402.0	4496.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2123.72	2123.72	2098.51	2098.51	2124.63	2124.63				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.774	1.961	1.956	2.080	2.072	2.116				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	145.50	148.80	151.50	151.90	150.40	146.70	147.90	151.30	150.50	
Peso Seco + Tara (gr)	130.70	134.10	126.20	136.30	135.20	126.10	133.20	136.60	132.00	
Peso Agua (gr)	14.80	14.70	25.30	15.60	15.20	20.60	14.70	14.70	18.50	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	106.40	109.10	100.40	111.60	111.20	101.00	108.30	111.10	106.80	
Contenido de Humedad %	13.91%	13.47%	25.20%	13.98%	13.67%	20.40%	13.57%	13.23%	17.32%	
C. Humedad Promedio	13.69%	25.20%	13.82%	20.40%	13.40%	17.32%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.560	1.566	1.718	1.727	1.827	1.804				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 13			Número de MOLDE N.º 14			Número de MOLDE N.º 15			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		
0	0	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	
24	1	0.097	2.464 1.96	0.081	2.057 1.63	0.064	1.626 1.29	0.064	1.626 1.29	
48	2	0.125	3.175 2.52	0.106	2.692 2.14	0.082	2.083 1.65	0.082	2.083 1.65	
72	3	0.142	3.607 2.86	0.120	3.048 2.42	0.094	2.388 1.89	0.094	2.388 1.89	
96	4	0.140	3.556 2.82	0.125	3.175 2.52	0.097	2.464 1.96	0.097	2.464 1.96	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 13			MOLDE N° 14			MOLDE N°15		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	66.16	3.42	48.84	45.71	2.36	33.75	88.47	4.57	65.32
1.27	0.050	133.53	6.90	98.58	119.47	6.17	88.20	176.76	9.13	130.50
1.91	0.075	206.40	10.67	152.38	200.44	10.36	147.98	266.47	13.77	196.73
2.54	0.100	280.48	14.50	207.07	287.52	14.86	212.27	355.29	18.36	262.30
3.18	0.125	350.46	18.11	258.74	366.01	18.92	270.22	446.04	23.05	329.30
3.81	0.150	410.87	21.23	303.34	447.36	23.12	330.28	523.96	27.08	386.83
4.45	0.175	469.14	24.24	346.36	520.28	26.89	384.11	600.80	31.05	443.56
5.08	0.200	513.34	26.53	378.99	587.48	30.36	433.72	662.11	34.22	488.82
7.62	0.300	640.85	33.12	473.13	820.34	42.39	605.64	883.96	45.68	652.61
10.16	0.400	711.82	36.79	525.52	824.37	42.60	608.62	898.96	46.46	663.68
12.70	0.500	762.07	39.38	562.62	825.93	42.68	609.77	890.16	46.00	657.19
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 13	219.00	385.00		1000	1500	21.90	25.67	1.560		
MOLDE 14	244.00	460.00		1000	1500	24.40	30.67	1.718		
MOLDE 15	267.00	490.00		1000	1500	26.70	32.67	1.827		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):		1.861		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		25.50 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		13.87		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		31.40 %				

Figura 93

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5 (4% cemento)

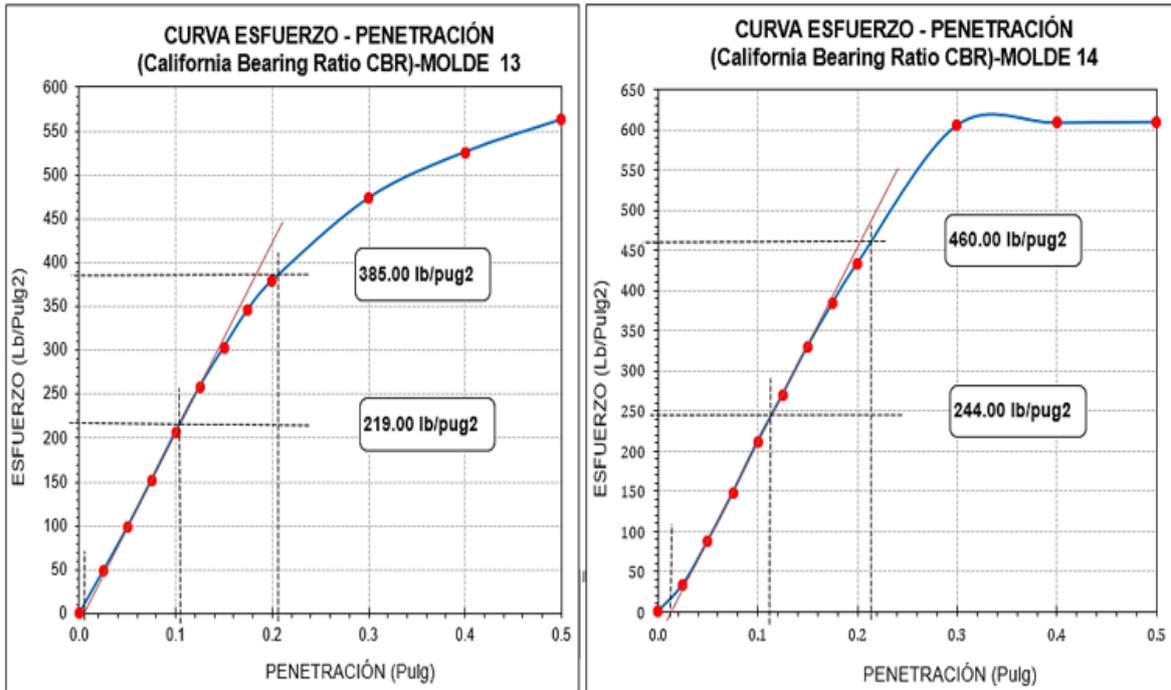


Figura 94

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5 (4% cemento)

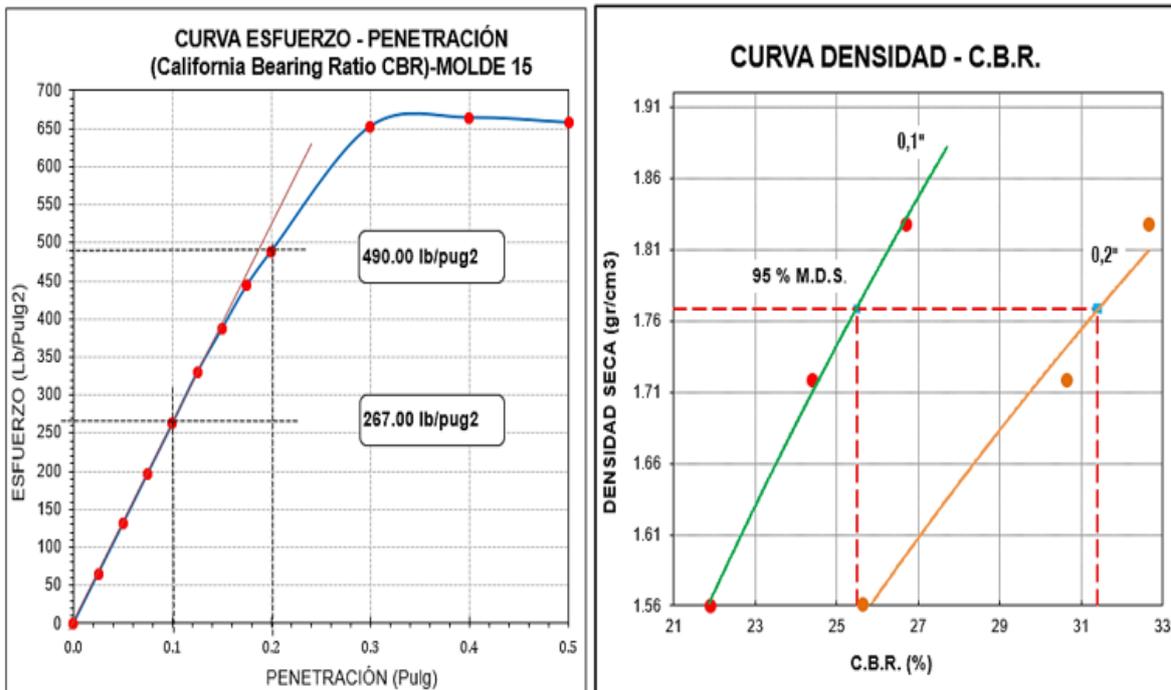


Tabla 96

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 5 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-6(12) / CL		Estrato: E-2		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	13		14		15					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	11247.0	11777.0	12138.0	12476.0	13730.0	14000.0				
Peso Molde (gr)	7490.0	7490.0	8030.0	8030.0	7092.0	7092.0				
Peso Húmedo (gr)	3757.0	4287.0	4108.0	4446.0	6638.0	6908.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2120.15	2120.15	2099.95	2099.95	3197.04	3197.04				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.772	2.022	1.956	2.117	2.076	2.161				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	144.20	149.00	146.00	150.50	145.60	146.30	148.30	149.60	150.00	
Peso Seco + Tara (gr)	130.10	134.40	118.70	135.70	131.50	124.30	133.80	135.10	130.20	
Peso Agua (gr)	14.10	14.60	27.30	14.80	14.10	22.00	14.50	14.50	19.80	
Peso Tara (gr)	24.30	25.00	25.80	24.70	24.00	25.10	24.90	25.50	25.20	
P. Muestra Seca	105.80	109.40	92.90	111.00	107.50	99.20	108.90	109.60	105.00	
Contenido de Humedad %	13.33%	13.35%	29.39%	13.33%	13.12%	22.18%	13.31%	13.23%	18.86%	
C. Humedad Promedio	13.34%	29.39%	13.22%	22.18%	13.27%	18.86%				
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.564	1.563	1.728	1.733	1.833	1.818				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 13			Número de MOLDE N.º 14			Número de MOLDE N.º 15			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.073	1.854	1.47	0.062	1.575	1.25	0.045	1.143	0.91
48	2	0.092	2.337	1.85	0.079	2.007	1.59	0.058	1.473	1.17
72	3	0.105	2.667	2.12	0.090	2.286	1.81	0.067	1.702	1.35
96	4	0.109	2.769	2.20	0.093	2.362	1.87	0.069	1.753	1.39
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN (mm) (pulg)		MOLDE N° 13			MOLDE N° 14			MOLDE N°15		
		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		CARGA (KG)	ESFUERZO (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	79.81	4.12	58.92	90.35	4.67	66.70	90.07	4.65	66.50
1.27	0.050	164.85	8.52	121.71	179.73	9.29	132.69	187.56	9.69	138.47
1.91	0.075	254.05	13.13	187.56	285.28	14.74	210.62	303.23	15.67	223.87
2.54	0.100	346.56	17.91	255.86	380.58	19.67	280.97	422.97	21.86	312.27
3.18	0.125	436.63	22.56	322.36	491.74	25.41	363.04	545.80	28.21	402.95
3.81	0.150	514.23	26.58	379.65	593.24	30.66	437.98	670.78	34.67	495.22
4.45	0.175	582.43	30.10	430.00	685.41	35.42	506.02	787.33	40.69	581.27
5.08	0.200	636.73	32.91	470.08	772.84	39.94	570.57	906.27	46.84	669.08
7.62	0.300	779.43	40.28	575.44	1056.71	54.61	780.15	1315.95	68.01	971.54
10.16	0.400	847.11	43.78	625.40	1048.42	54.18	774.03	1303.40	67.36	962.27
12.70	0.500	880.98	45.53	650.41	1034.09	53.44	763.45	1269.24	65.59	937.05
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 13	275.00	480.00		1000	1500	27.50	32.00	1.564		
MOLDE 14	316.00	600.00		1000	1500	31.60	40.00	1.728		
MOLDE 15	352.00	720.00		1000	1500	35.20	48.00	1.833		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):		1.884		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		33.70 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		13.45		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		44.60 %				

Figura 95

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 5 (5% cemento)

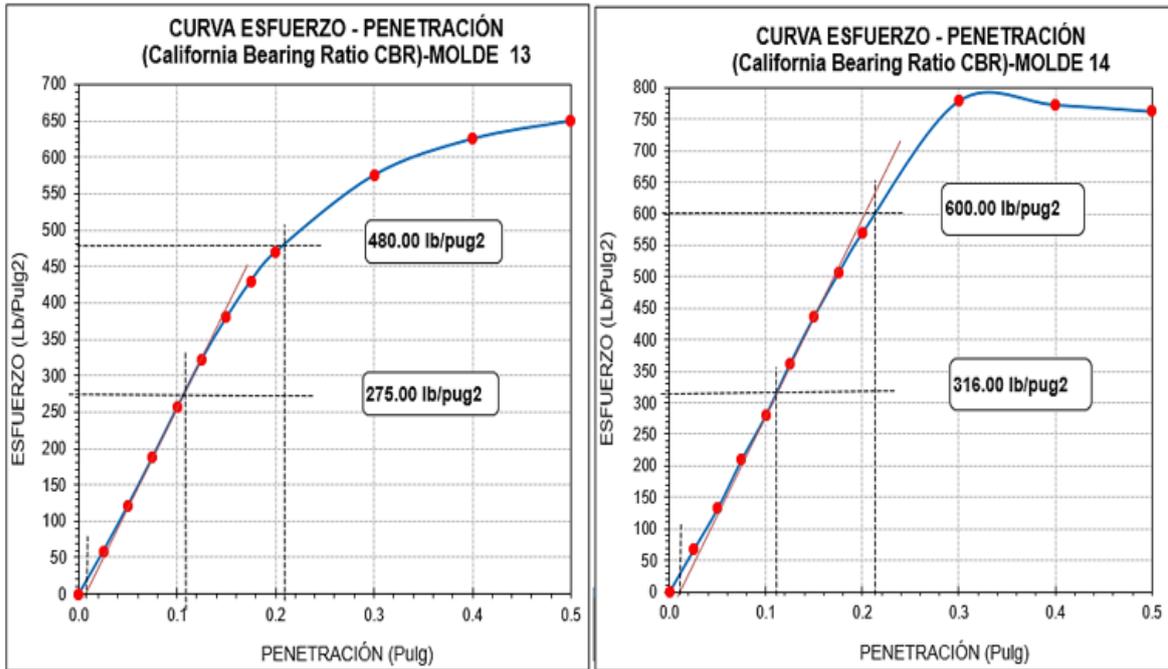


Figura 96

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y curva CBR – densidad seca del suelo de la calicata 5 (5% cemento)

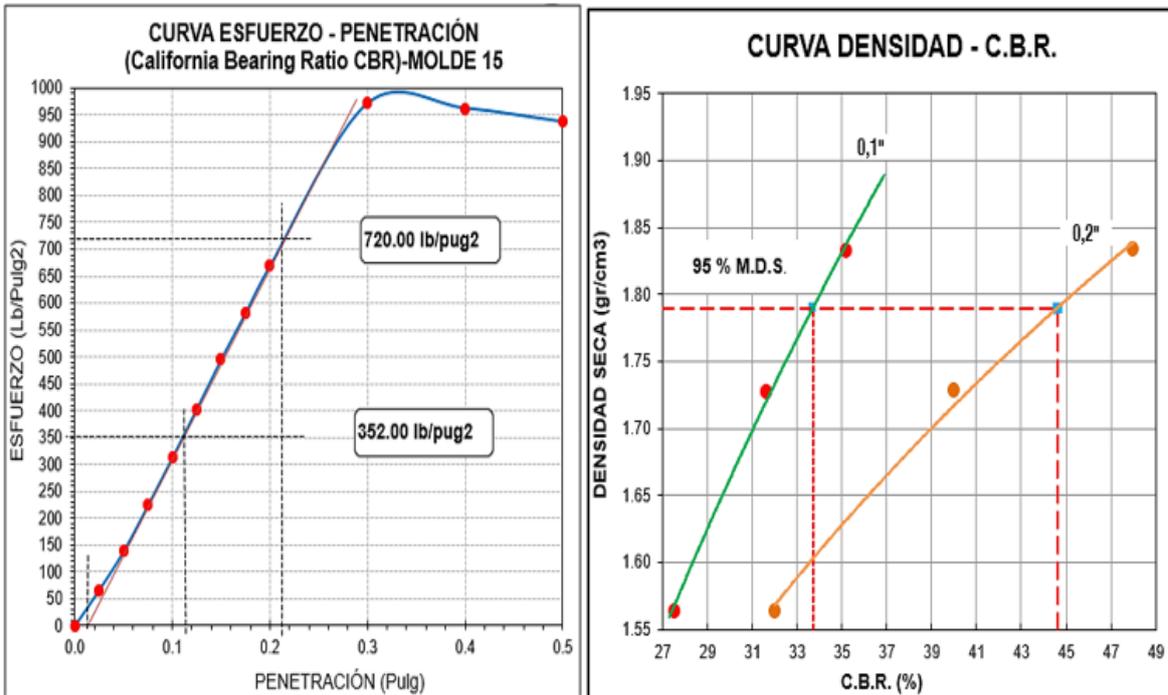


Tabla 97*Contenido de humedad del suelo de la calicata 6*

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL	Estrato: E-1	Fecha: Julio 2023
Ensayo:	1	2
W (tara + M. Húmeda) gr	300.60	302.20
W (tara + M. Seca) gr	238.20	240.60
W agua (gr)	62.40	61.60
W tara (gr)	38.30	38.30
W Muestra Seca (gr)	199.90	202.30
Contenido de humedad (%)	31.22	30.45
Contenido de humedad (%):	30.83	

Tabla 98*Análisis granulométrico del suelo de la calicata 6*

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL	Estrato: E-1	Fecha: Julio 2023				
Peso total muestra seca (gr)		1120.00				
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Ret. Parcial	Peso Ret. Acumulado	% Ret. Acumulado	% Que Pasa	
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.500	1.40	1.40	0.13	99.88	
3/8"	9.500	2.00	3.40	0.30	99.70	
1/4"	6.350	6.40	9.80	0.88	99.13	
No. 4	4.750	10.80	20.60	1.84	98.16	
No. 10	2.000	20.20	40.80	3.64	96.36	
No. 20	0.850	15.00	73.18	6.53	93.47	
No. 40	0.425	17.65	111.27	9.93	90.07	
No. 60	0.250	24.10	163.29	14.58	85.42	
No. 140	0.106	25.20	217.68	19.44	80.56	
No. 200	0.075	22.40	266.03	23.75	76.25	
Pérdida por lavado		395.65	1120.00	100.0	0.0	
Grava (4.75mm - 75mm)		1.84 %	Arena (0.075mm - 4.75mm)	21.91 %	Limo y arcilla (<0.075mm)	76.25 %

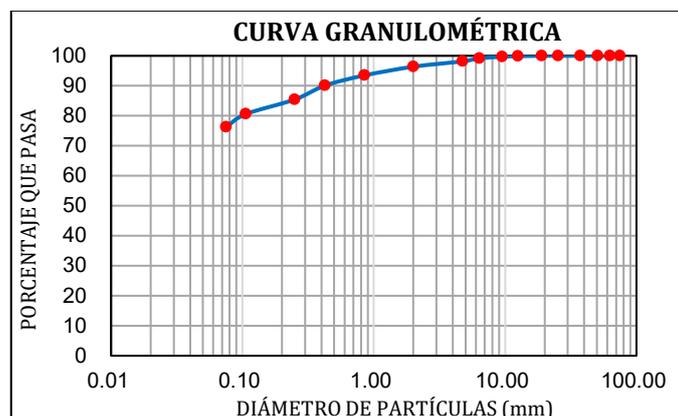
Figura 97*Curva granulométrica del suelo de la calicata 6*

Tabla 99

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Julio 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		Prom.
	T6	T7	T8	T9	T10	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	51.10	51.60	50.00	44.70	44.40	
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.60	43.20	42.60	41.30	41.00	
Peso agua (gr)	8.50	8.40	7.40	3.40	3.40	
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40	
Peso M. Seca (gr)	17.50	18.30	17.10	16.10	16.60	
Contenido de humedad (W%)	48.57	45.90	43.27	21.12	20.48	21
Número de golpes (N)	19	26	32			
Límite líquido (%): 46		Límite plástico (%): 21		Índice de plasticidad (%): 25		Índice de grupo: 19

Figura 98

Límite líquido del suelo de la calicata 6

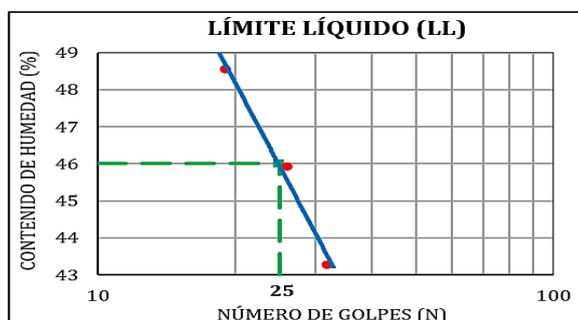


Tabla 100

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023	
Tara	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)		Prom.
	T6	T7	T8	T9	T10	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	54.20	53.80	54.00	48.40	49.10	
Peso Tara + M. Seca (gr)	45.30	45.30	46.10	43.90	44.30	
Peso agua (gr)	8.90	8.50	7.90	4.50	4.80	
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40	
Peso M. Seca (gr)	20.20	20.40	20.60	18.70	19.90	
Contenido de humedad (W%)	44.06	41.67	38.35	24.06	24.12	24
Número de golpes (N)	19	24	35			
Límite líquido (%): 41		Límite plástico (%): 24		Índice de plasticidad (%): 17		

Figura 99

Límite líquido del suelo de la calicata 6 con adición de 3% de cemento

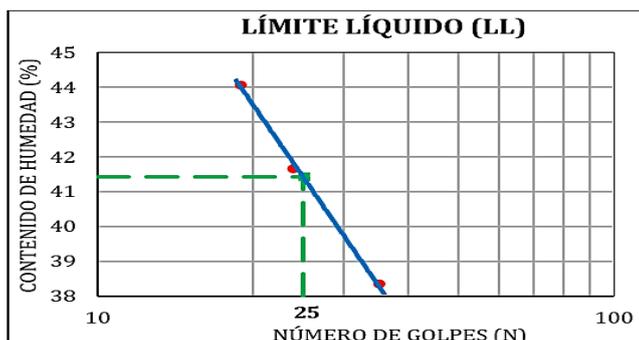


Tabla 101

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	50.00	49.20	48.60	48.00	48.60		
Peso Tara + M. Seca (gr)	42.70	42.50	42.40	43.30	43.60		
Peso agua (gr)	7.30	6.70	6.20	4.70	5.00		
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40		
Peso M. Seca (gr)	17.60	17.60	16.90	18.10	19.20		
Contenido de humedad (W%)	41.48	38.07	36.69	25.97	26.04	26	
Número de golpes (N)	15	27	35				
Límite líquido (%): 39		Límite plástico (%): 26			Índice de plasticidad (%): 13		

Figura 100

Límite líquido del suelo de la calicata 6 con adición de 4% de cemento

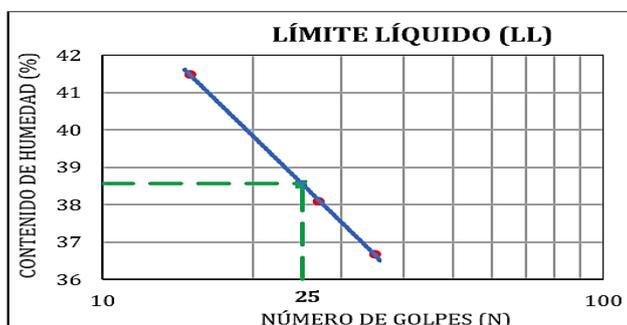


Tabla 102

Índice de plasticidad del suelo de la calicata 6 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1			Fecha: Agosto 2023		
	LÍMITE LÍQUIDO (LL)			LÍMITE PLÁSTICO (LP)			
Tara	T6	T7	T8	T9	T10	Prom.	
Peso Tara + M. Húmeda (gr)	47.00	49.20	48.60	49.00	50.20		
Peso Tara + M. Seca (gr)	40.70	42.50	42.50	44.00	44.70		
Peso agua (gr)	6.30	6.70	6.10	5.00	5.50		
Peso tara (gr)	25.10	24.90	25.50	25.20	24.40		
Peso M. Seca (gr)	15.60	17.60	17.00	18.80	20.30		
Contenido de humedad (W%)	40.38	38.07	35.88	26.60	27.09	27	
Número de golpes (N)	16	25	34				
Límite líquido (%): 38		Límite plástico (%): 27			Índice de plasticidad (%): 11		

Figura 101

Límite líquido del suelo de la calicata 6 con adición de 5% de cemento

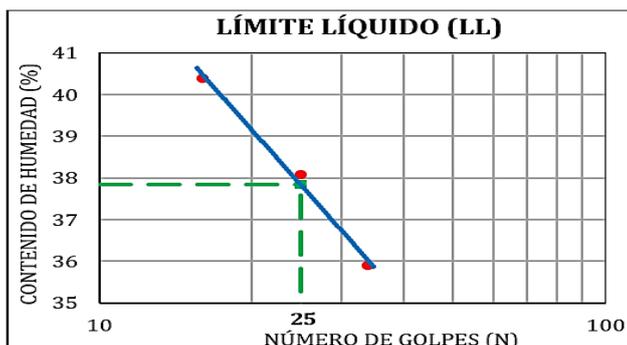


Tabla 103

Proctor modificado del suelo de la calicata 6

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1				Fecha: Julio 2023				
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3				
Ensayo		1		2		3		4		
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5		
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5594.00		5656.00		5694.00		5692.00		
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00		
	Peso Húmedo (gr)	1727.00		1789.00		1827.00		1825.00		
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00		
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.855		1.922		1.962		1.960		
HUMEDAD	Tara		T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)		207.60	201.70	182.40	213.30	156.10	149.50	220.20	213.80
	Peso Seco + Tara (gr)		187.20	178.90	161.10	187.80	136.40	131.00	186.60	184.00
	Peso Agua (gr)		20.40	22.80	21.30	25.50	19.70	18.50	33.60	29.80
	Peso Tara (gr)		25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)		162.00	154.50	135.10	161.90	110.30	105.60	161.80	158.40
	Contenido de Humedad (%)		12.59	14.76	15.77	15.75	17.86	17.52	20.77	18.81
	C. Humedad (%) promedio		13.67		15.76		17.69		19.79	
	DENSIDAD SECA (cm³)		1.632		1.660		1.667		1.636	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.668						C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 17.30			

Figura 102

Curva de compactación del suelo de la calicata 6

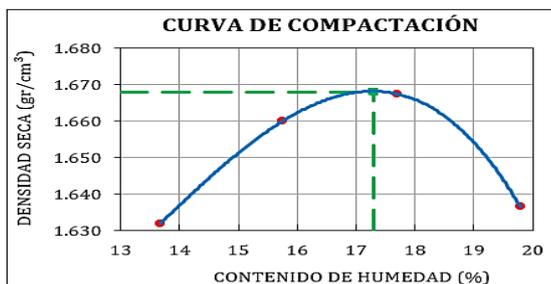


Tabla 104

Proctor modificado del suelo de la calicata 6 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1				Fecha: Agosto 2023				
Método: A		Diámetro de molde: 4"		Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3				
Ensayo		1		2		3		4		
DENSIDAD	N° de Capas	5		5		5		5		
	N° de Golpes por Capa	25		25		25		25		
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5679.00		5740.00		5780.00		5783.00		
	Peso Molde (gr)	3867.00		3867.00		3867.00		3867.00		
	Peso Húmedo (gr)	1812.00		1873.00		1913.00		1916.00		
	Volumen del Molde (cm³)	931.00		931.00		931.00		931.00		
	Densidad Húmeda (gr/cm³)	1.946		2.012		2.055		2.058		
HUMEDAD	Tara		T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)		210.00	215.30	185.00	190.80	161.60	151.10	215.90	218.20
	Peso Seco + Tara (gr)		190.30	195.30	165.60	170.90	143.10	133.90	186.90	189.20
	Peso Agua (gr)		19.70	20.00	19.40	19.90	18.50	17.20	29.00	29.00
	Peso Tara (gr)		25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)		165.10	170.90	139.60	145.00	117.00	108.50	162.10	163.60
	Contenido de Humedad (%)		11.93	11.70	13.90	13.72	15.81	15.85	17.89	17.73
	C. Humedad (%) promedio		11.82		13.81		15.83		17.81	
	DENSIDAD SECA (cm³)		1.741		1.768		1.774		1.747	
	DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.775						C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 15.32			

Figura 103

Curva de compactación del suelo de la calicata 6 con adición de 3% de cemento

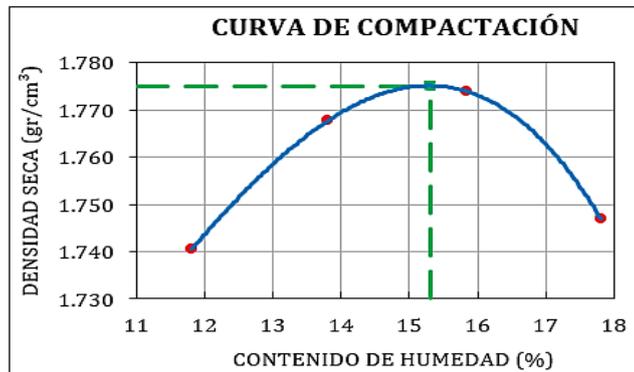


Tabla 105

Proctor modificado del suelo de la calicata 6 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m ³					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5714.00	5775.00	5808.00	5814.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1847.00	1908.00	1941.00	1947.00				
	Volumen del Molde (cm ³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
	Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.984	2.049	2.085	2.091				
HUMEDAD	Tara	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
	Peso Húmedo + Tara (gr)	215.40	220.00	179.80	187.80	159.10	155.90	220.20	223.20
	Peso Seco + Tara (gr)	195.20	199.40	160.90	168.50	140.80	138.10	190.40	193.30
	Peso Agua (gr)	20.20	20.60	18.90	19.30	18.30	17.80	29.80	29.90
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	170.00	175.00	134.90	142.60	114.70	112.70	165.60	167.70
	Contenido de Humedad (%)	11.88	11.77	14.01	13.53	15.95	15.79	18.00	17.83
	C. Humedad (%) promedio	11.83		13.77		15.87		17.91	
	DENSIDAD SECA (cm ³)	1.774		1.801		1.799		1.774	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³): 1.804				C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 14.72					

Figura 104

Curva de compactación del suelo de la calicata 6 con adición de 4% de cemento

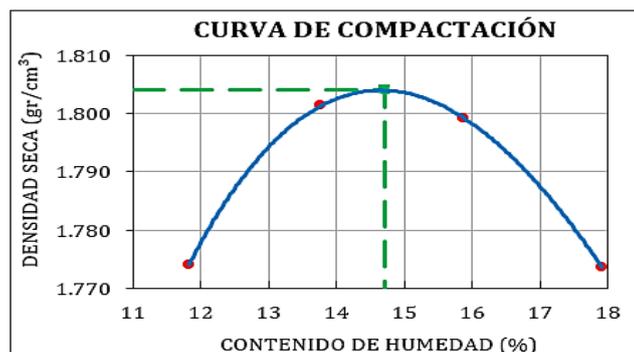


Tabla 106

Proctor modificado del suelo de la calicata 6 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Agosto 2023					
Método: A	Diámetro de molde: 4"	Condición de secado: 110°C		Energía de compactación: 2700 kN-m/m3					
Ensayo		1	2	3	4				
DENSIDAD	N° de Capas	5	5	5	5				
	N° de Golpes por Capa	25	25	25	25				
	Peso Húmedo+ Molde (gr)	5737.00	5795.00	5825.00	5827.00				
	Peso Molde (gr)	3867.00	3867.00	3867.00	3867.00				
	Peso Húmedo (gr)	1870.00	1928.00	1958.00	1960.00				
	Volumen del Molde (cm³)	931.00	931.00	931.00	931.00				
Densidad Húmeda (gr/cm³)		2.009	2.071	2.103	2.105				
HUMEDAD	Tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	Peso Húmedo + Tara (gr)	126.20	214.50	125.30	124.10	126.30	132.20	135.50	129.30
	Peso Seco + Tara (gr)	115.60	194.50	113.20	112.40	112.50	117.70	118.80	113.50
	Peso Agua (gr)	10.60	20.00	12.10	11.70	13.80	14.50	16.70	15.80
	Peso Tara (gr)	25.20	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60
	Peso Muestra Seca (gr)	90.40	170.10	87.20	86.50	86.40	92.30	94.00	87.90
	Contenido de Humedad (%)	11.73	11.76	13.88	13.53	15.97	15.71	17.77	17.97
	C. Humedad (%) promedio	11.74		13.70		15.84		17.87	
DENSIDAD SECA (cm³)		1.798		1.821		1.816		1.786	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3): 1.823					C. HUMEDAD ÓPTIMO (%): 14.35				

Figura 105

Curva de compactación del suelo de la calicata 6 con adición de 5% de cemento

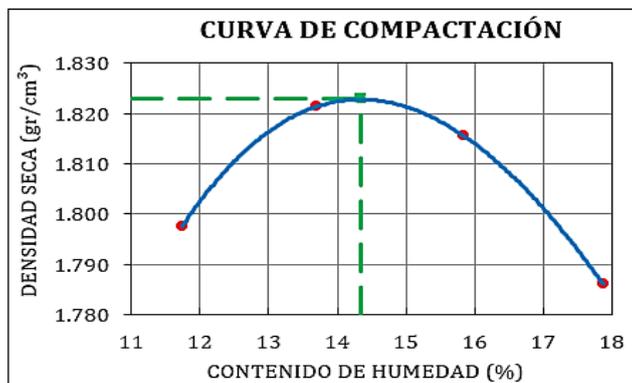


Tabla 107

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Julio 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	16		17		18					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10656.0	10980.0	12051.0	12262.0	11257.0	11380.0				
Peso Molde (gr)	7215.0	7215.0	8105.0	8105.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3441.0	3765.0	3946.0	4157.0	4161.0	4284.0				
Volumen del Molde (cm3)	2098.51	2098.51	2124.63	2124.63	2098.51	2098.51				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.640	1.794	1.857	1.957	1.983	2.041				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	161.00	158.10	148.60	159.70	160.20	147.40	149.30	150.60	150.80	
Peso Seco + Tara (gr)	141.30	139.10	122.00	140.30	140.80	126.10	131.20	132.20	129.40	
Peso Agua (gr)	19.70	19.00	26.60	19.40	19.40	21.30	18.10	18.40	21.40	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	116.90	113.10	96.10	114.20	115.40	101.30	105.60	108.30	103.70	
Contenido de Humedad %	16.85%	16.80%	27.68%	16.99%	16.81%	21.03%	17.14%	16.99%	20.64%	
C. Humedad Promedio	16.83%	27.68%	16.90%	21.03%	17.06%	20.64%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.404	1.405	1.589	1.617	1.694	1.692				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 16			Número de MOLDE N.º 17			Número de MOLDE N.º 18			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		Lectura Deform.	Hinchamiento (mm) (%)		
0	0	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	0.000	0.000 0.00	
24	1	0.195	4.953 3.93	0.164	4.166 3.31	0.146	3.708 2.94	0.146	3.708 2.94	
48	2	0.242	6.147 4.88	0.199	5.055 4.01	0.182	4.623 3.67	0.182	4.623 3.67	
72	3	0.266	6.756 5.36	0.223	5.664 4.50	0.199	5.055 4.01	0.199	5.055 4.01	
96	4	0.272	6.909 5.48	0.232	5.893 4.68	0.207	5.258 4.17	0.207	5.258 4.17	
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 16			MOLDE N° 17			MOLDE N°18		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm2) (Lb/Pulg2)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	9.19	0.47	6.78	11.63	0.60	8.59	13.19	0.68	9.74
1.27	0.050	18.49	0.96	13.65	25.66	1.33	18.94	29.57	1.53	21.83
1.91	0.075	28.63	1.48	21.14	38.55	1.99	28.46	45.76	2.36	33.78
2.54	0.100	37.87	1.96	27.96	47.60	2.46	35.14	58.76	3.04	43.38
3.18	0.125	42.68	2.21	31.51	55.21	2.85	40.76	70.17	3.63	51.81
3.81	0.150	46.31	2.39	34.19	62.04	3.21	45.80	79.56	4.11	58.74
4.45	0.175	49.08	2.54	36.23	67.66	3.50	49.95	87.27	4.51	64.43
5.08	0.200	51.67	2.67	38.15	72.24	3.73	53.33	94.29	4.87	69.61
7.62	0.300	57.99	3.00	42.81	85.33	4.41	63.00	113.36	5.86	83.69
10.16	0.400	61.66	3.19	45.52	94.53	4.89	69.79	126.63	6.54	93.49
12.70	0.500	64.05	3.31	47.29	99.38	5.14	73.37	135.88	7.02	100.32
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 16	29.00	38.50		1000	1500	2.90	2.57	1.404		
MOLDE 17	36.00	52.00		1000	1500	3.60	3.47	1.589		
MOLDE 18	45.00	66.00		1000	1500	4.50	4.40	1.694		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):		1.668		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		3.73 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		17.30		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		3.55 %				

Figura 106

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6

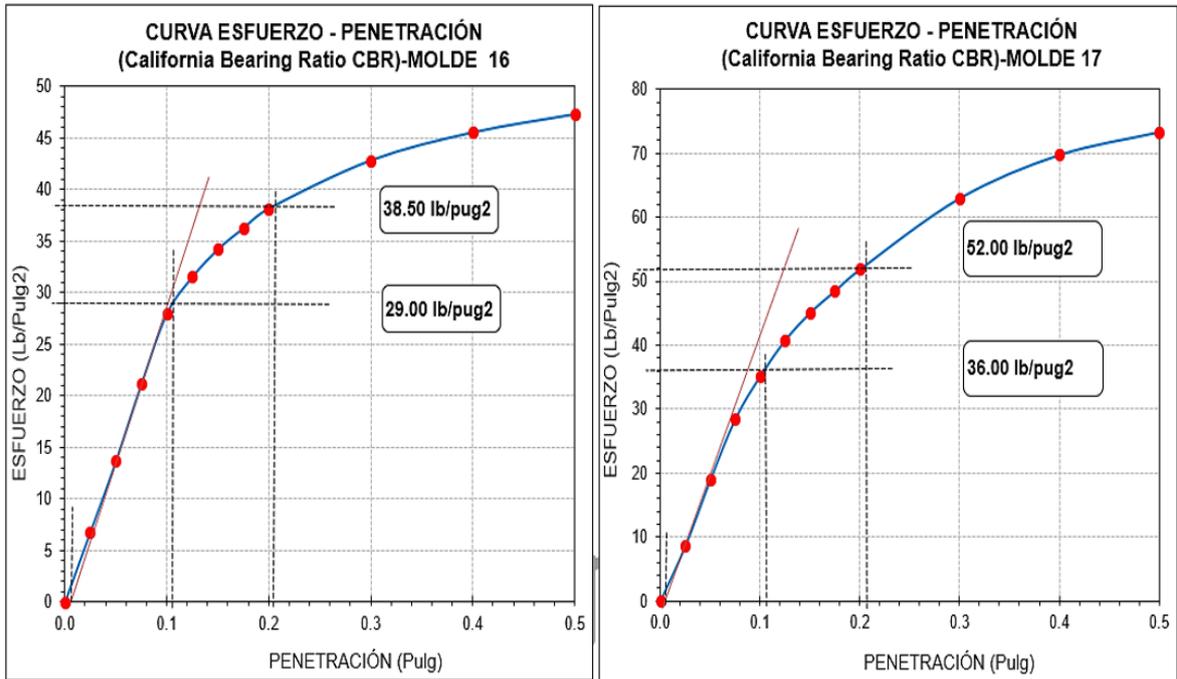


Figura 107

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6

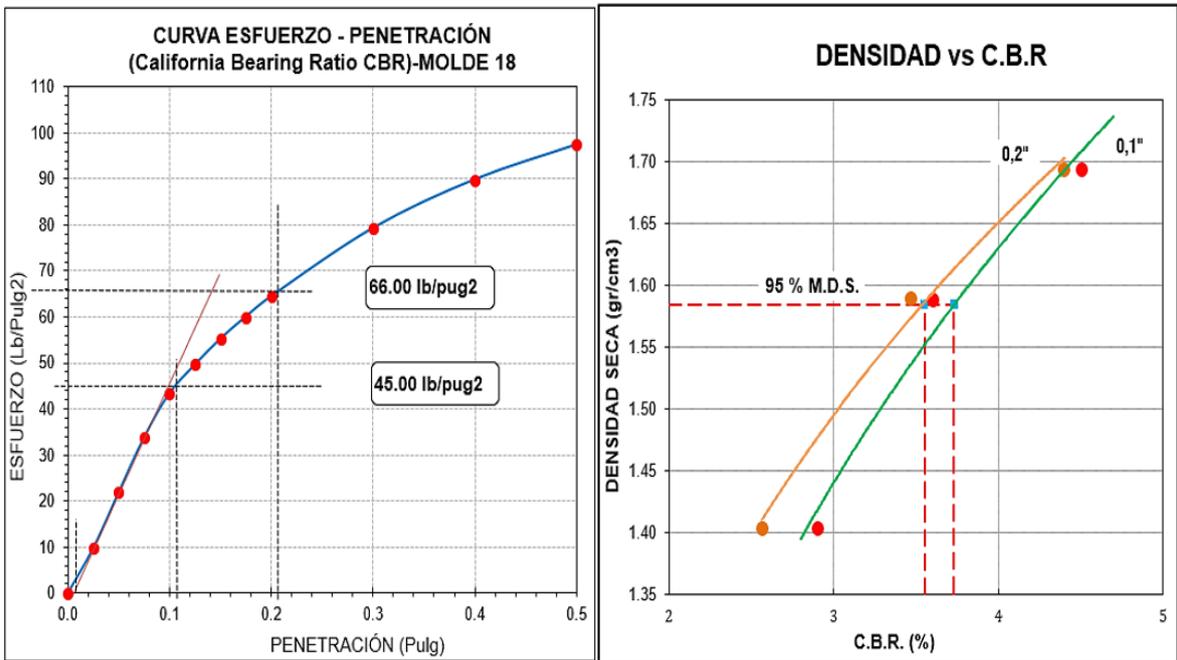


Tabla 108

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6 (3% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	16		17		18					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10937.0	11387.0	14210.0	14825.0	11331.0	11589.0				
Peso Molde (gr)	7215.0	7215.0	8105.0	8105.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3722.0	4172.0	6105.0	6720.0	4235.0	4493.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2120.15	2120.15	3197.04	3197.04	2098.51	2098.51				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.756	1.968	1.910	2.102	2.018	2.141				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	161.80	161.00	159.50	149.40	151.70	149.60	150.60	153.30	157.20	
Peso Seco + Tara (gr)	144.10	143.80	131.40	133.40	135.50	124.80	134.30	136.60	133.70	
Peso Agua (gr)	17.70	17.20	28.10	16.00	16.20	24.80	16.30	16.70	23.50	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	119.70	117.80	105.50	107.30	110.10	100.00	108.70	112.70	108.00	
Contenido de Humedad %	14.79%	14.60%	26.64%	14.91%	14.71%	24.80%	15.00%	14.82%	21.76%	
C. Humedad Promedio	14.69%	14.60%	26.64%	14.81%	14.71%	24.80%	14.91%	14.82%	21.76%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.531	1.531	1.554	1.663	1.663	1.684	1.756	1.756	1.758	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 16			Número de MOLDE N.º 17			Número de MOLDE N.º 18			
	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.144	3.658	2.90	0.126	3.200	2.54	0.108	2.743	2.18
48	2	0.177	4.496	3.57	0.153	3.886	3.08	0.130	3.302	2.62
72	3	0.195	4.953	3.93	0.167	4.242	3.37	0.142	3.607	2.86
96	4	0.206	5.232	4.15	0.170	4.318	3.43	0.135	3.429	2.72
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración (mm) (pulg)		MOLDE N° 16			MOLDE N° 17			MOLDE N°18		
		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)		Carga (KG)	Esfuerzo (Kg/Cm ²) (Lb/Pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	32.60	1.68	24.07	21.15	1.09	15.61	29.85	1.54	22.04
1.27	0.050	67.72	3.50	50.00	56.95	2.94	42.05	69.57	3.60	51.36
1.91	0.075	102.86	5.32	75.94	99.87	5.16	73.73	116.62	6.03	86.10
2.54	0.100	139.18	7.19	102.75	142.50	7.36	105.20	166.07	8.58	122.61
3.18	0.125	172.35	8.91	127.24	182.56	9.43	134.78	214.01	11.06	158.00
3.81	0.150	200.11	10.34	147.74	218.48	11.29	161.30	256.55	13.26	189.41
4.45	0.175	224.30	11.59	165.60	248.07	12.82	183.15	294.61	15.23	217.50
5.08	0.200	243.41	12.58	179.70	273.67	14.14	202.05	331.58	17.14	244.80
7.62	0.300	303.31	15.67	223.93	351.44	18.16	259.46	436.05	22.53	321.93
10.16	0.400	345.42	17.85	255.02	396.45	20.49	292.69	471.62	24.37	348.19
12.70	0.500	371.47	19.20	274.25	411.37	21.26	303.71	488.14	25.23	360.38
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)		C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm ³)		
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"			
MOLDE 16	109.00	185.00		1000	1500	10.90	12.33	1.531		
MOLDE 17	125.00	210.00		1000	1500	12.50	14.00	1.663		
MOLDE 18	144.00	260.00		1000	1500	14.40	17.33	1.756		
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)						VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)				
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):		1.775		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =		13.07 %				
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):		15.32		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =		15.30 %				

Figura 108

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6 (3% cemento)

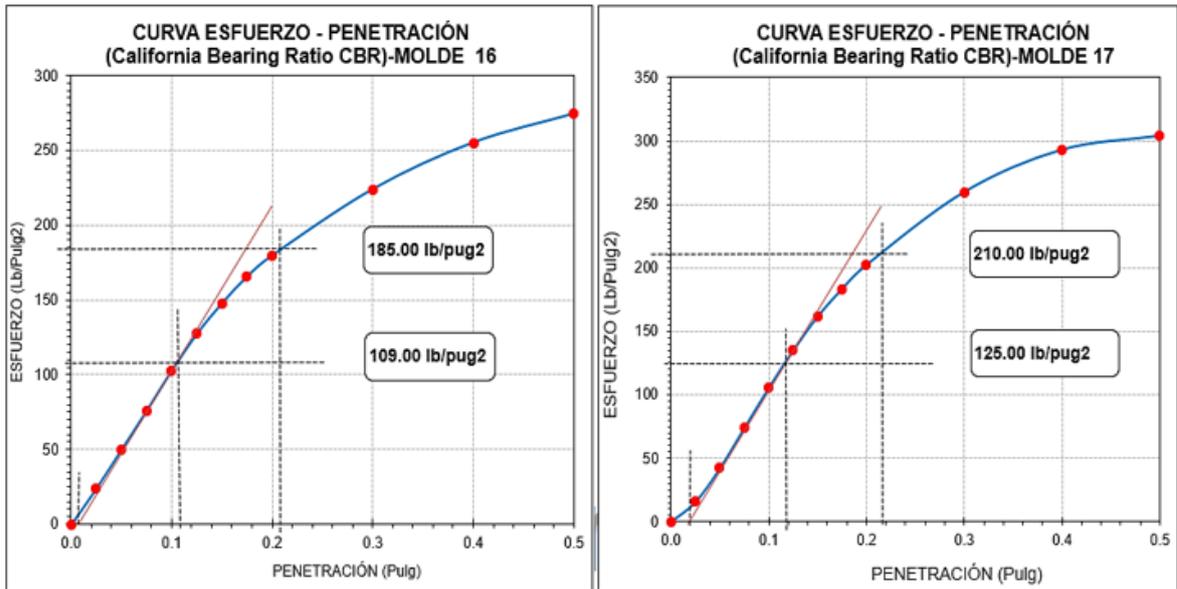


Figura 109

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6 (3% cemento)

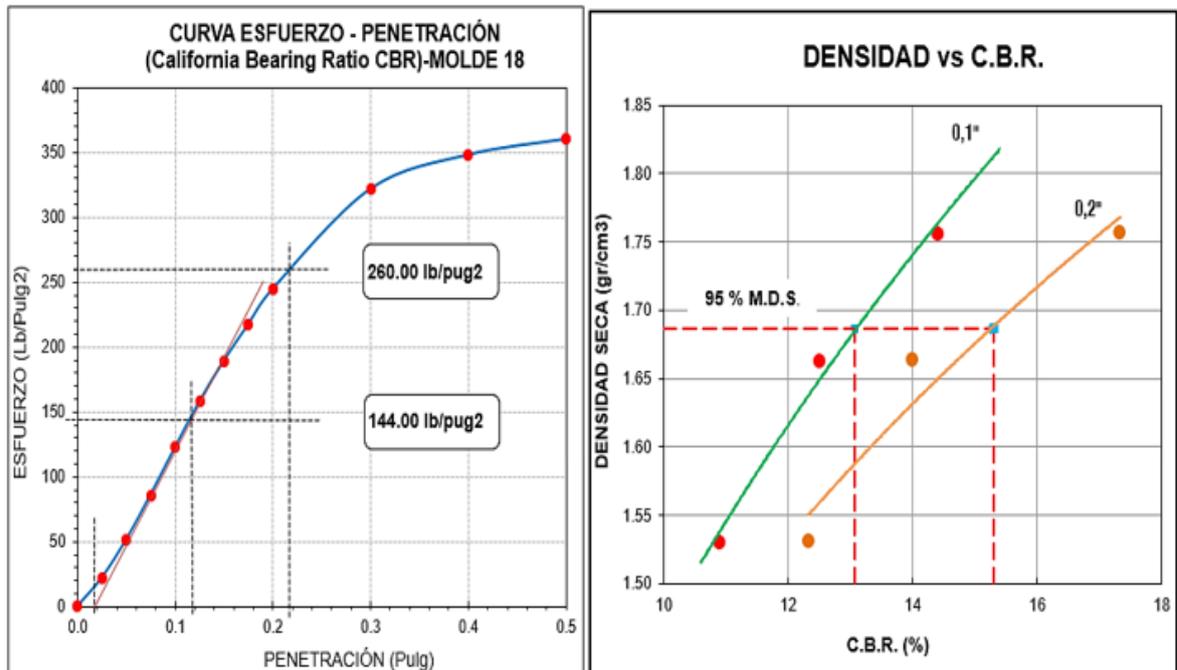


Tabla 109

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6 (4% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Setiembre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	16		17		18					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10940.0	11412.0	12161.0	12537.0	11374.0	11554.0				
Peso Molde (gr)	7215.0	7215.0	8105.0	8105.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3725.0	4197.0	4056.0	4432.0	4278.0	4458.0				
Volumen del Molde (cm3)	2120.15	2120.15	2124.63	2124.63	2098.51	2098.51				
Densidad Húmeda (gr/cm3)	1.757	1.980	1.909	2.086	2.039	2.124				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	
P. Húmedo + Tara (gr)	161.40	155.40	150.80	158.60	157.20	159.80	158.90	161.60	148.60	
Peso Seco + Tara (gr)	144.20	139.20	122.60	141.90	140.60	133.30	142.00	144.30	128.10	
Peso Agua (gr)	17.20	16.20	28.20	16.70	16.60	26.50	16.90	17.30	20.50	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	119.80	113.20	96.70	115.80	115.20	108.50	116.40	120.40	102.40	
Contenido de Humedad %	14.36%	14.31%	29.16%	14.42%	14.41%	24.42%	14.52%	14.37%	20.02%	
C. Humedad Promedio	14.33%	29.16%	14.42%	24.42%	14.44%	20.02%				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.537	1.533	1.669	1.677	1.781	1.770				
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo Acumulado (Hs) (Días)	Número de MOLDE N.º 16			Número de MOLDE N.º 17			Número de MOLDE N.º 18			
	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		
	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.118	2.997	2.38	0.098	2.489	1.98	0.075	1.905	1.51
48	2	0.147	3.734	2.96	0.123	3.124	2.48	0.096	2.438	1.94
72	3	0.162	4.115	3.27	0.137	3.480	2.76	0.107	2.718	2.16
96	4	0.169	4.293	3.41	0.140	3.556	2.82	0.110	2.794	2.22
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
Penetración		MOLDE N° 16			MOLDE N° 17			MOLDE N°18		
(mm)	(pulg)	Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo		Carga (KG)	Esfuerzo	
			(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)		(Kg/Cm2)	(Lb/Pulg2)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	29.77	1.54	21.98	36.34	1.88	26.83	34.25	1.77	25.29
1.27	0.050	77.56	4.01	57.26	88.84	4.59	65.59	93.04	4.81	68.69
1.91	0.075	127.63	6.60	94.23	149.81	7.74	110.60	159.89	8.26	118.04
2.54	0.100	180.37	9.32	133.16	212.11	10.96	156.60	225.43	11.65	166.43
3.18	0.125	230.47	11.91	170.15	269.93	13.95	199.28	294.17	15.20	217.18
3.81	0.150	277.82	14.36	205.11	327.76	16.94	241.98	360.73	18.64	266.32
4.45	0.175	314.97	16.28	232.54	375.15	19.39	276.97	418.58	21.63	309.03
5.08	0.200	346.22	17.89	255.61	412.13	21.30	304.27	469.89	24.28	346.91
7.62	0.300	436.02	22.53	321.90	510.26	26.37	376.71	620.01	32.04	457.74
10.16	0.400	486.18	25.13	358.94	548.49	28.35	404.94	664.76	34.35	490.78
12.70	0.500	517.52	26.75	382.07	568.85	29.40	419.97	659.27	34.07	486.73
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg2)			Presión patrón (Lb/pulg2)			C.B.R. (%)		Densidad seca (gr/cm3)	
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		
MOLDE 16	152.00	270.00		1000	1500		15.20	18.00	1.537	
MOLDE 17	171.00	310.00		1000	1500		17.10	20.67	1.669	
MOLDE 18	195.00	365.00		1000	1500		19.50	24.33	1.781	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3):			1.804		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			18.10 %		
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			14.72		C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			22.20 %		

Figura 110

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6 (4% cemento)

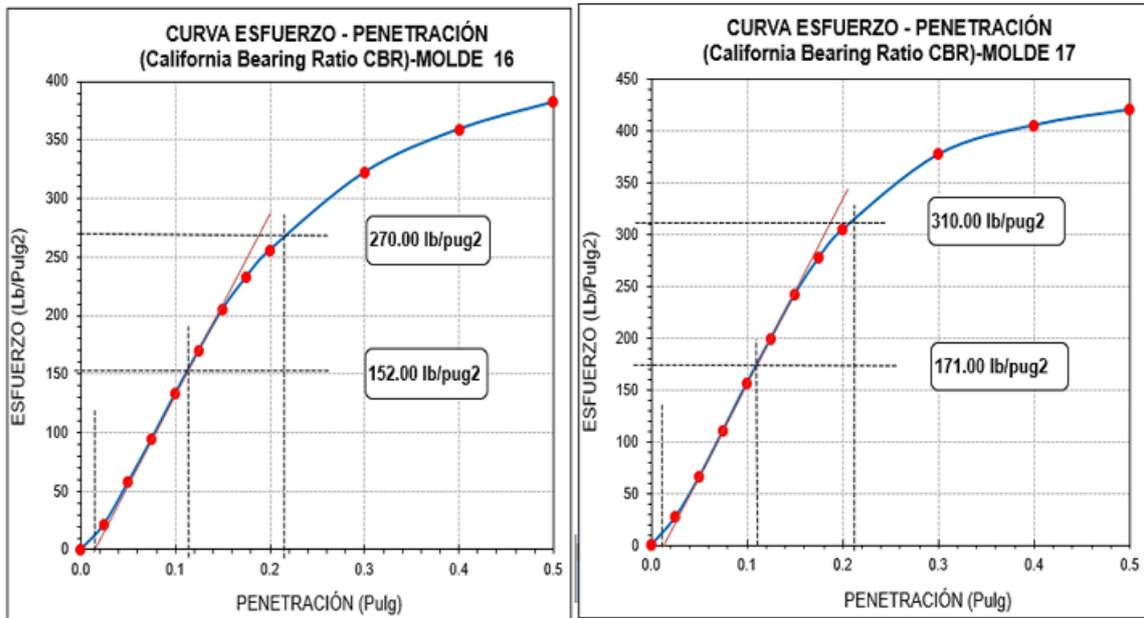


Figura 111

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6 (4% cemento)

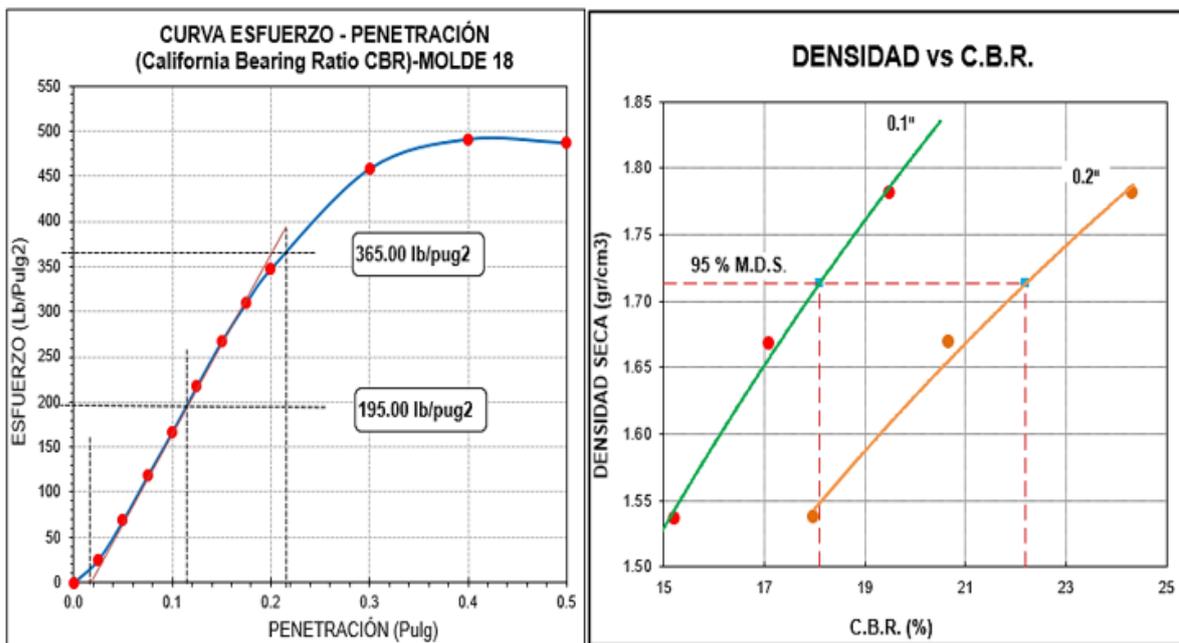


Tabla 110

Ensayo de CBR del suelo de la calicata 6 (5% cemento)

Tipo de suelo: A-7-6(19) / CL		Estrato: E-1		Fecha: Octubre 2023						
COMPACTACIÓN (CBR)										
Molde	16		17		18					
Altura Molde (mm)	126		126		126					
N° Capas	5		5		5					
N° Golpes x Capa	13		27		56					
Condición de Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS				
P. Húmedo + Molde (gr)	10896.0	11333.0	12130.0	12482.0	11382.0	11560.0				
Peso Molde (gr)	7215.0	7215.0	8105.0	8105.0	7096.0	7096.0				
Peso Húmedo (gr)	3681.0	4118.0	4025.0	4377.0	4286.0	4464.0				
Volumen del Molde (cm ³)	2120.15	2120.15	2120.15	2120.15	2098.51	2098.51				
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.736	1.942	1.898	2.064	2.042	2.127				
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Número de Ensayo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P. Húmedo + Tara (gr)	155.70	154.20	161.00	159.50	143.80	149.50	162.10	153.80	155.40	
Peso Seco + Tara (gr)	139.60	138.50	133.10	143.00	129.40	127.10	145.20	137.80	134.80	
Peso Agua (gr)	16.10	15.70	27.90	16.50	14.40	22.40	16.90	16.00	20.60	
Peso Tara (gr)	24.40	26.00	25.90	26.10	25.40	24.80	25.60	23.90	25.70	
P. Muestra Seca	115.20	112.50	107.20	116.90	104.00	102.30	119.60	113.90	109.10	
Contenido de Humedad %	13.98%	13.96%	26.03%	14.11%	13.85%	21.90%	14.13%	14.05%	18.88%	
C. Humedad Promedio	13.97%		26.03%	13.98%		21.90%	14.09%		18.88%	
DENSIDAD SECA (gr/cm³)	1.523		1.541	1.666		1.694	1.790		1.789	
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
Tiempo	Número de MOLDE N.º 16			Número de MOLDE N.º 17			Número de MOLDE N.º 18			
Acumulado	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	
(Hs) (Días)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.098	2.489	1.98	0.083	2.108	1.67	0.062	1.575	1.25
48	2	0.124	3.150	2.50	0.106	2.692	2.14	0.078	1.981	1.57
72	3	0.139	3.531	2.80	0.118	2.997	2.38	0.087	2.210	1.75
96	4	0.141	3.581	2.84	0.120	3.048	2.42	0.088	2.235	1.77
ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 16			MOLDE N° 17			MOLDE N°18		
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
		(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)	(KG)	(Kg/Cm ²)	(Lb/Pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	48.14	2.49	35.54	55.14	2.85	40.71	69.40	3.59	51.24
1.27	0.050	108.20	5.59	79.88	116.65	6.03	86.12	140.85	7.28	103.99
1.91	0.075	173.46	8.96	128.06	188.49	9.74	139.16	226.04	11.68	166.88
2.54	0.100	235.41	12.17	173.80	260.28	13.45	192.16	310.00	16.02	228.87
3.18	0.125	300.16	15.51	221.60	335.58	17.34	247.75	395.92	20.46	292.30
3.81	0.150	358.62	18.53	264.76	408.35	21.10	301.48	481.83	24.90	355.73
4.45	0.175	404.89	20.92	298.92	476.34	24.62	351.67	566.69	29.29	418.38
5.08	0.200	441.38	22.81	325.86	540.34	27.92	398.92	644.50	33.31	475.82
7.62	0.300	532.27	27.51	392.96	730.14	37.73	539.05	893.31	46.17	659.51
10.16	0.400	568.03	29.36	419.37	720.81	37.25	532.16	883.05	45.64	651.94
12.70	0.500	576.54	29.80	425.65	710.58	36.72	524.61	858.50	44.37	633.81
VALORES DE CBR CORREGIDOS										
Molde N°	Presión aplicada corregida (Lb/pulg ²)			Presión patrón (Lb/pulg ²)			C.B.R. (%)		Densidad seca	
	0.1"	0.2"		0.1"	0.2"		0.1"	0.2"	(gr/cm ³)	
MOLDE 16	183.00	330.00		1000	1500		18.30	22.00	1.523	
MOLDE 17	213.00	410.00		1000	1500		21.30	27.33	1.666	
MOLDE 18	248.00	500.00		1000	1500		24.80	33.33	1.790	
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (A.S.T.M. D 1557)					VALOR C.B.R. (A.S.T.M. D 1883)					
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³):			1.823	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.1") =			23.14 %			
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%):			14.35	C.B.R. Para el 95 % M.D.S. (0.2") =			30.50 %			

Figura 112

Esfuerzo - deformación para 13 y 27 golpes suelo de la calicata 6 (5% cemento)

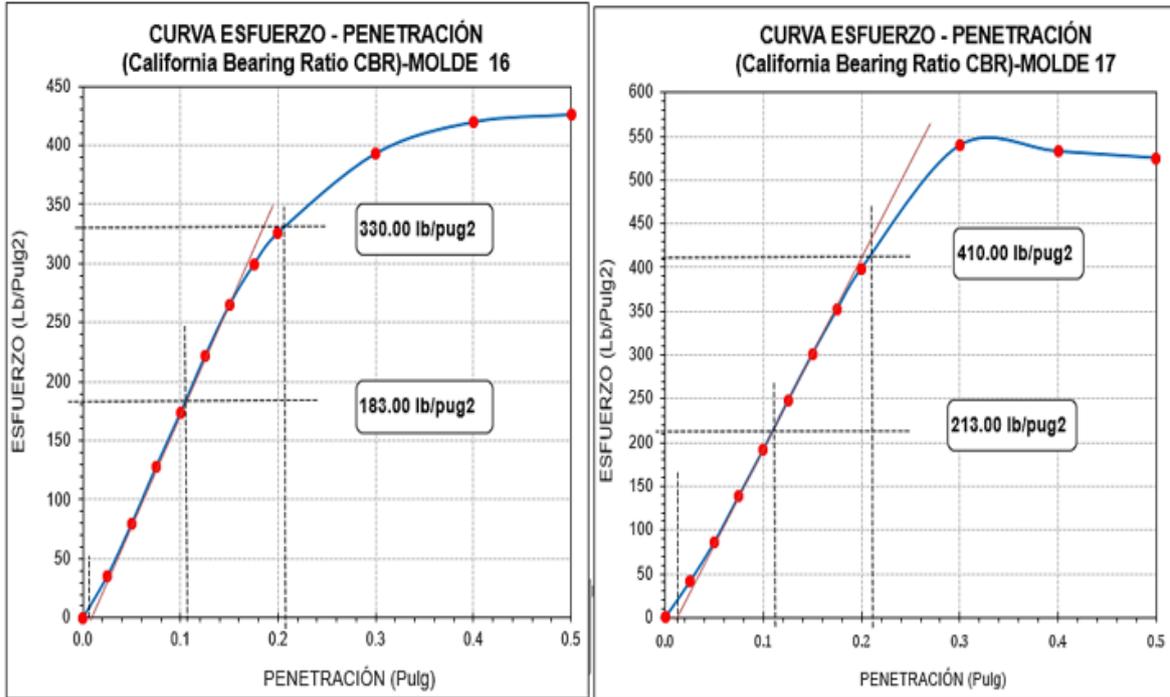
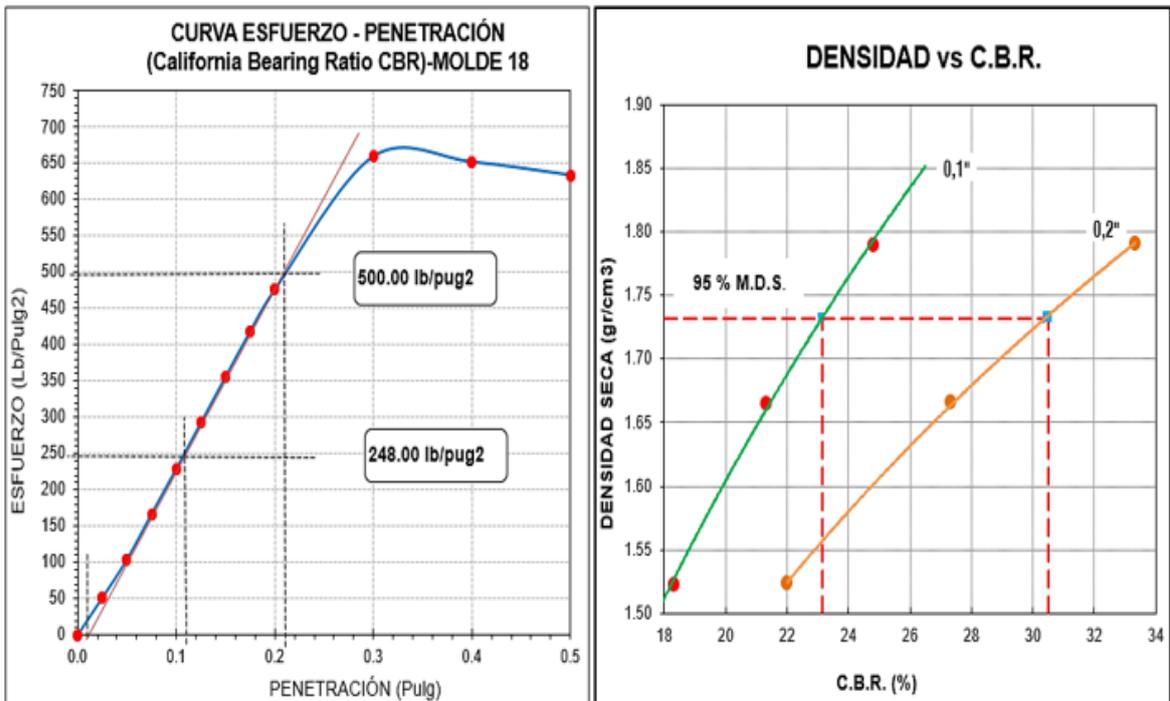


Figura 113

Esfuerzo - deformación para 56 golpes y CBR – densidad seca del suelo de la calicata 6 (5% cemento).



Anexo 3. Estudio de tráfico

Tabla 111

Estudio de tráfico de la carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante

DÍA	TRAMO	TIPO DE VEHÍCULO							
		EQUIPOS LIVIANOS						EQUIPOS PESADOS	
		MOTO 	MOTO CARGUERA 	AUTO 	STATION WAGON 	PICK UP 	COMBI 	C2 	C3 
MIÉRCOLES (29/03/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	24.00 22.00 46.00	4.00 4.00 8.00	1.00 1.00 2.00	3.00 3.00 6.00	7.00 7.00 14.00	0.00 0.00 0.00	4.00 4.00 8.00	2.00 2.00 4.00
JUEVES (30/03/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	27.00 25.00 52.00	7.00 7.00 14.00	2.00 2.00 4.00	4.00 4.00 8.00	8.00 8.00 16.00	1.00 1.00 2.00	6.00 6.00 12.00	1.00 1.00 2.00
VIERNES (31/03/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	26.00 31.00 57.00	6.00 7.00 13.00	0.00 0.00 0.00	5.00 5.00 10.00	4.00 4.00 8.00	1.00 1.00 2.00	4.00 4.00 8.00	0.00 0.00 0.00
SÁBADO (01/04/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	23.00 26.00 49.00	6.00 7.00 13.00	4.00 4.00 8.00	5.00 5.00 10.00	6.00 6.00 12.00	2.00 2.00 4.00	6.00 6.00 12.00	3.00 3.00 6.00
DOMINGO (02/04/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	14.00 20.00 34.00	2.00 2.00 4.00	1.00 1.00 2.00	1.00 1.00 2.00	3.00 3.00 6.00	0.00 0.00 0.00	1.00 1.00 2.00	0.00 0.00 0.00
LUNES (03/04/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	25.00 25.00 50.00	5.00 3.00 8.00	0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00	6.00 4.00 10.00	0.00 0.00 0.00	5.00 5.00 10.00	1.00 1.00 2.00
MARTES (04/04/2023)	EL DIAMANTE - SHUMBANA SHUMBANA - EL DIAMANTE TOTAL (Veh/día)	35.00 35.00 70.00	8.00 8.00 16.00	0.00 0.00 0.00	1.00 1.00 2.00	5.00 7.00 12.00	0.00 0.00 0.00	7.00 7.00 14.00	3.00 3.00 6.00
TOTAL (Veh/semana)		358.00	76.00	16.00	38.00	78.00	8.00	66.00	20.00
VEHÍCULOS LIVIANOS (L) Y PESADOS (P)		L = 574.00 veh/sem						P = 86.00 veh/sem	
ÍNDICE MEDIO DIARIO SEMANAL (IMDS)		IMDSEL = 82.00 Veh/día						IMDSEL = 12.29 Veh/día	
FACTOR DE CORRECCIÓN		Factor de corrección FCEL = 1						Factor de corrección FCEL = 1	
ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA)		IMDAEL = 82.00 Veh/día						IMDAEL = 12.29 Veh/día	
ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL (IMDA)		IMDA = 94.00 Veh/día							

Anexo 4. Panel fotográfico

Figura 114

Excavación de la calicata 1 y calicata 2



Figura 115

Excavación de la calicata 3 y calicata 4

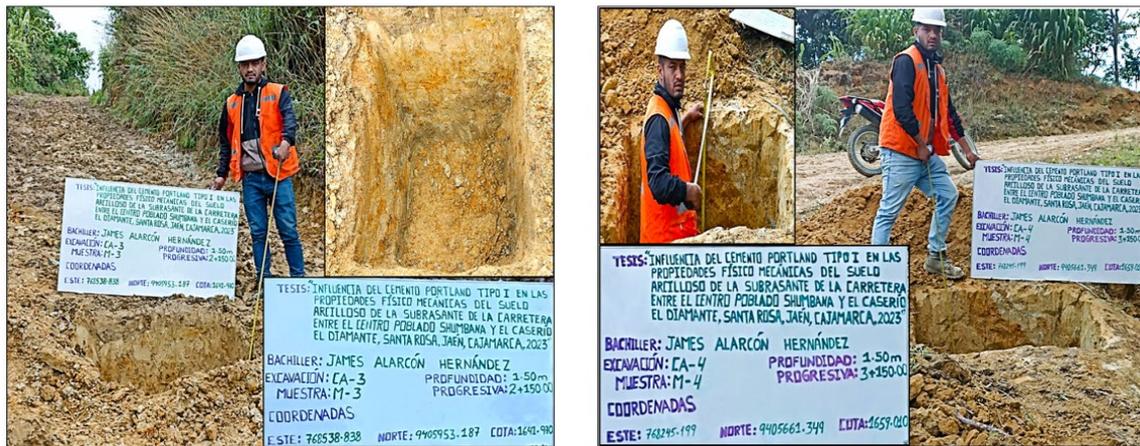


Figura 116

Excavación de la calicata 5 y calicata 6



Figura 117

Tamizado (CA-6/M-6) y lavado (CA3/M-3) - análisis granulométrico



Figura 118

Límite líquido del suelo de la CA-5/M-5 y, límite plástico del suelo de la calicata CA-3/M-3 con adición de 5% de cemento Portland Tipo I.



Figura 119

Compactación - ensayo proctor modificado suelo de la CA-5/M-5



Figura 120

Mezcla del suelo de la CA-6/M-6 con 3% de cemento Portland Tipo I, ensayo proctor modificado



Figura 121

CBR del suelo (CA-2/M-2) con 5% de cemento Portland Tipo I y, mezcla de suelo (CA-6/M-6) con adición de 4% de cemento Portland Tipo I



Figura 122

Saturación de muestra del suelo de la CA-4/M-4 (5% de cemento) y CA-5/M-5 (5% de cemento); respectivamente, para determinar el hinchamiento

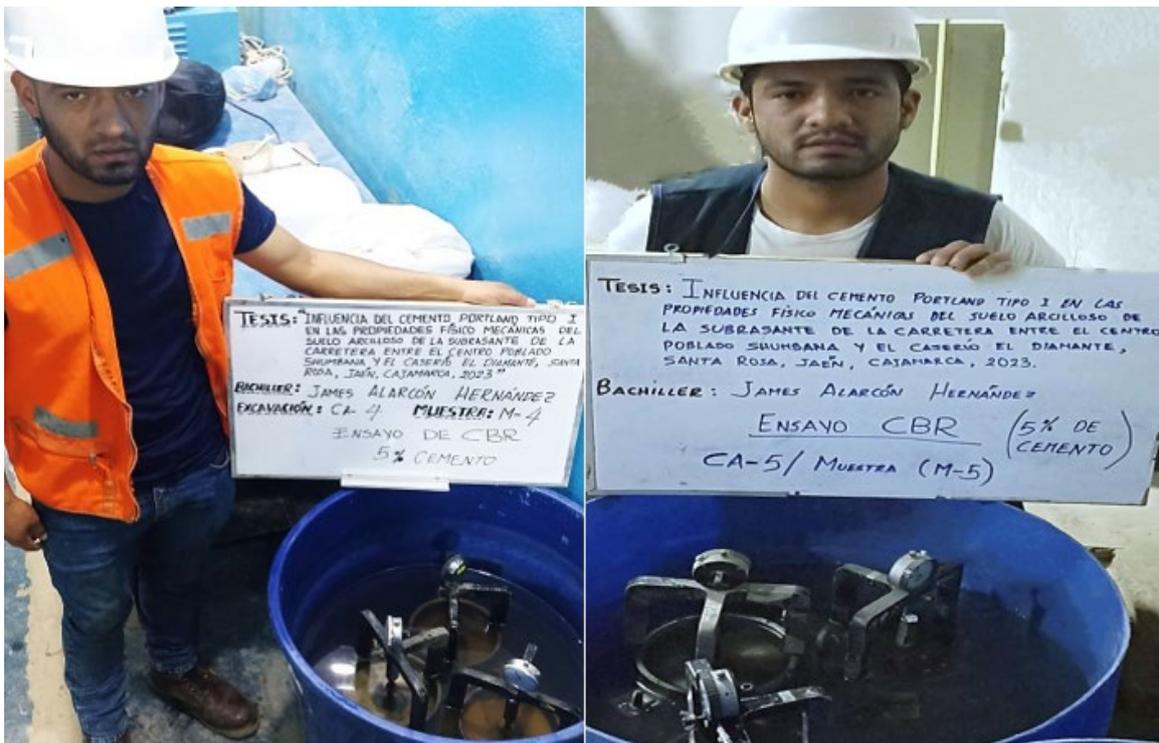


Figura 123

Penetración - CBR del suelo de la CA-3/M-3 (3% cemento Portland Tipo I) y, CBR suelo CA-5/M-5 (4% cemento Portland Tipo I)



Figura 124

Carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante en época de lluvias



Figura 125

Certificado otorgado por el laboratorio GEOCON VIAL



Certificado

Otorgado a:

Alarcón Hernández James

MG. ING. LUIS RAFAEL QUIROZ CHIHUÁN, Gerente General de la empresa **GEOCON VIAL INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.**

CERTIFICA,

Que, el **TESISTA ALARCÓN HERNÁNDEZ JAMES**, identificado con **DNI N° 76539719** ha realizado sus ensayos para la tesis: **"INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023"**, en los meses de Julio y Octubre del presente año, realizados en esta empresa, habiéndose alcanzado los objetivos programados de forma enteramente satisfactoria.

Para que conste donde sea oportuno firmo la presente.

Atentamente:



Rafael Quiroz Ch.
GERENTE GENERAL
GEOCON VIAL
INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.

11 de octubre del 2023

Mg. Ing. **LUIS RAFAEL QUIROZ CHIHUÁN**
GERENTE GENERAL
Jaén, 11 de octubre del 2023

Figura 126

Conteo vehicular en la carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante



Figura 127

Levantamiento topográfico de la carretera entre el C.P. Shumbana y el Cas. El Diamante

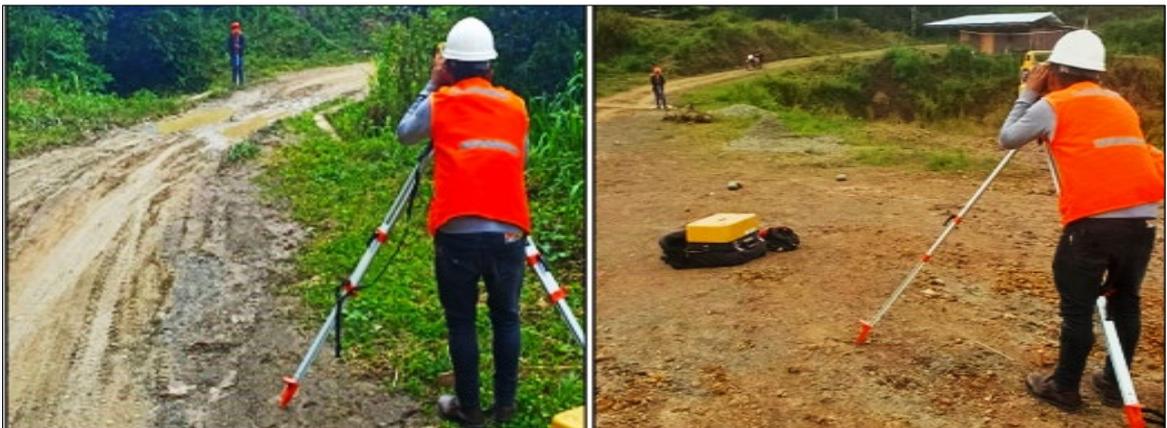
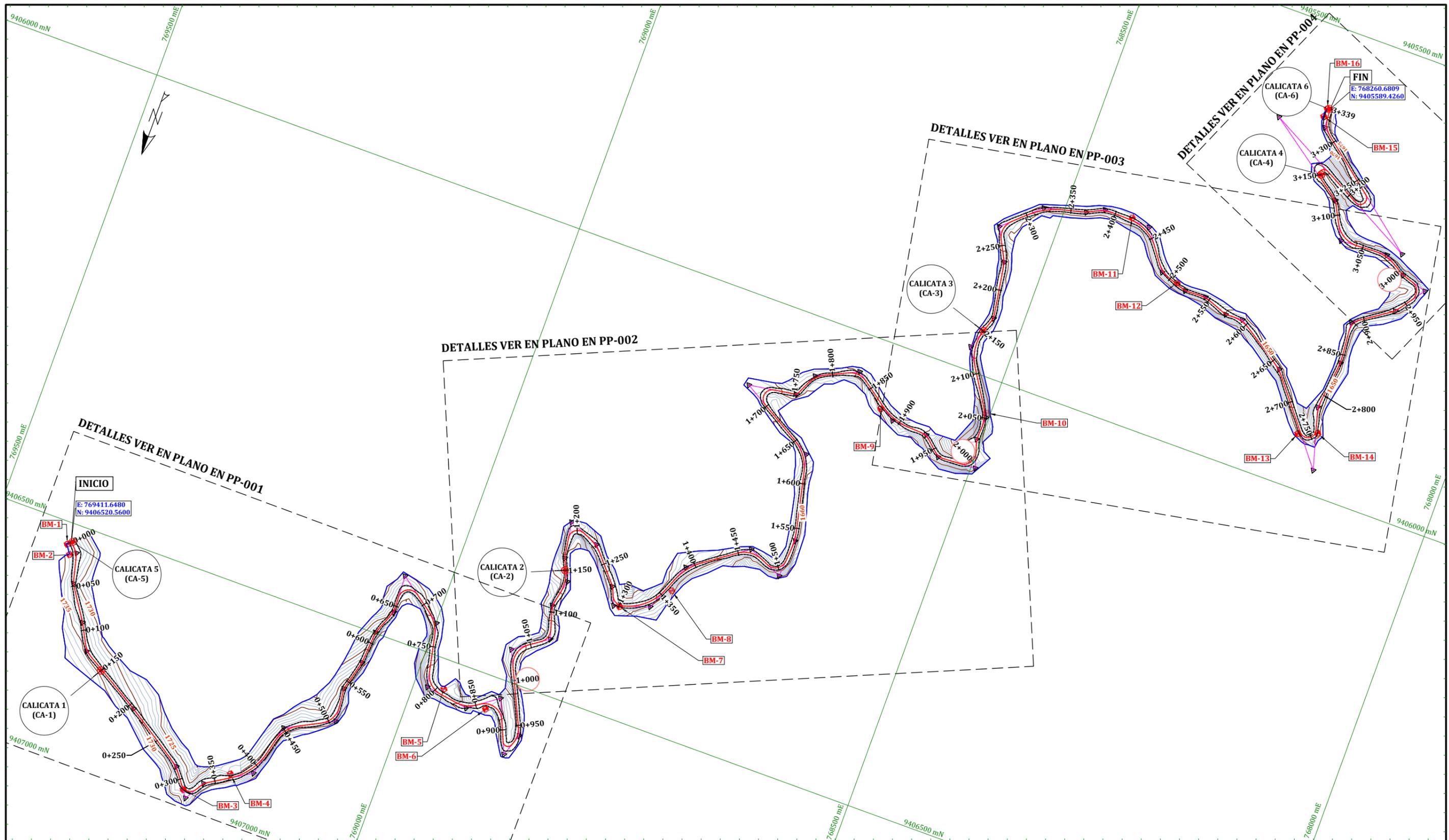


Figura 128

Bolsa del cemento Portland Tipo I usado en ensayos



Anexo 5. Planos.

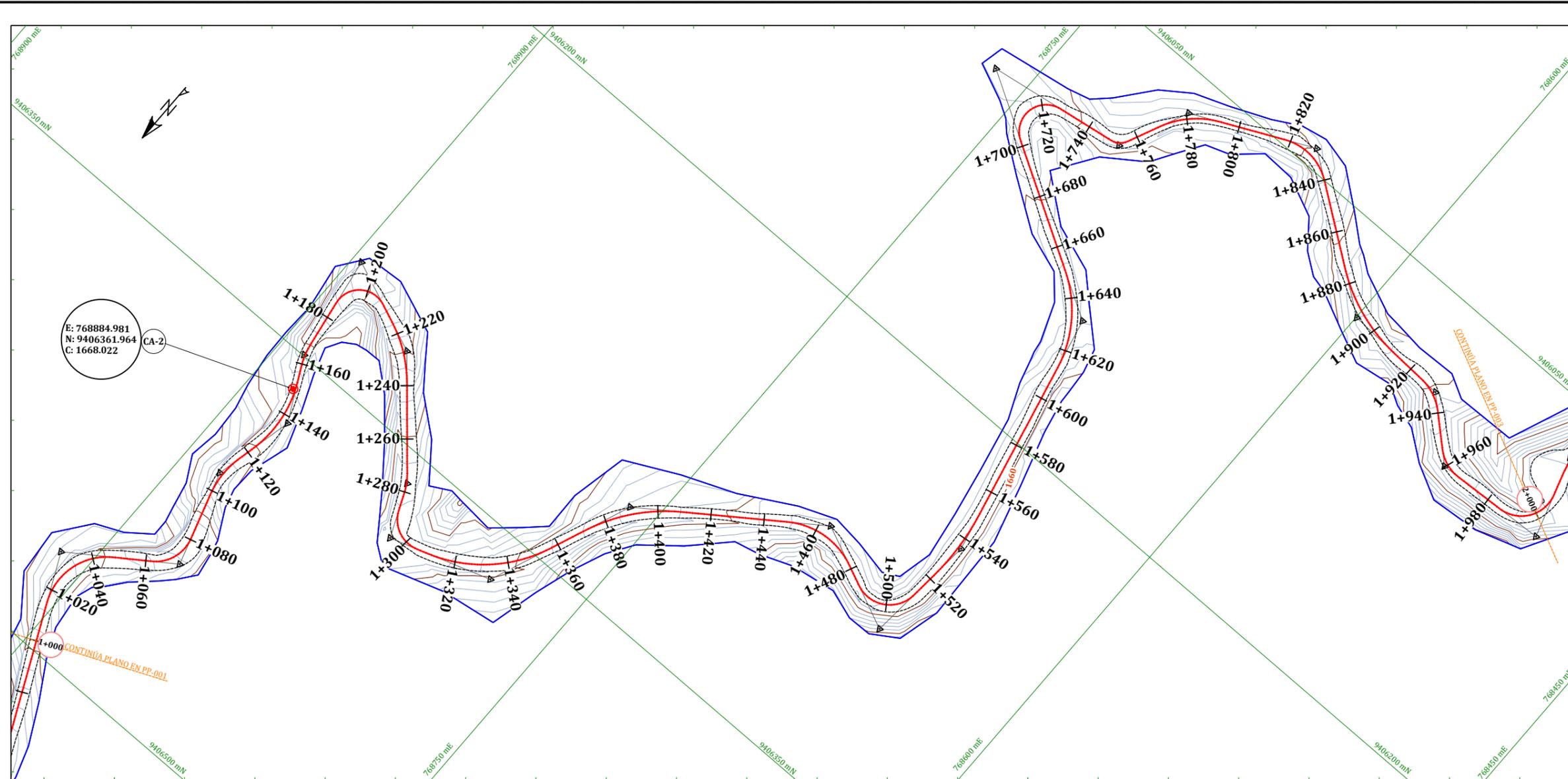


PLANO GENERAL EN PLANTA DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 0+000 - 3+339
 ESCALA 1:4000

LEYENDA - PLANTA	
	ALINEAMIENTO
	CURVA MAYOR CADA 5m
	CURVA MENOR CADA 1m
	PI: PUNTO DE INTERSECCIÓN DE TANGENTES
	BORDE DE CARRETERA
	CALICATA
	PUNTOS BM



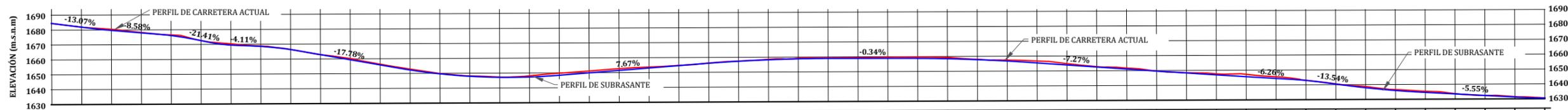
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023				
UBICACIÓN Departamento: Cajamarca Provincia: Jaén Distrito: Santa Rosa Centro Poblado: Shumbana Caserío: El Diamante				
PLANO PLANO GENERAL EN PLANTA DE LA CARRETERA ENTRE EL C.P. SHUMBANA Y EL CAS. EL DIAMANTE - KM 0+000 - 3+339				
ASESOR Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA	LÁMINA N°			
TESISTA Bach. JAMES ALARCÓN HERNÁNDEZ	PG-001			
FECHA: Mayo del 2023	ESCALA: INDICADA			



LEYENDA - PLANTA	
	ALINEAMIENTO
	CURVA MAYOR CADA 5m
	CURVA MENOR CADA 1m
	PI: PUNTO DE INTERSECCIÓN DE TANGENTES
	BORDE DE CARRETERA
	CALICATA

PLANTA - CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 1+000 - 2+000

ESCALA 1:1750



PROGRESIVA	NIVEL DE SUBRASANTE	GEOMETRÍA HORIZONTAL CARRETERA ACTUAL
1+000	1684.428m	
1+020	1681.957m	L=21.77m R=21.33m
1+040	1679.672m	
1+060	1677.947m	L=18.31m R=14.51m
1+080	1676.063m	L=17.58m R=51.49m
1+100	1672.612m	L=31.28m R=44.59m
1+120	1669.490m	L=9.09m R=28.89m
1+140	1668.548m	L=21.22m R=10.03m
1+160	1666.373m	L=23.01m R=48.88m
1+180	1662.905m	L=67.9m R=21.06m
1+200	1659.350m	L=17.6m R=11.9m
1+220	1655.794m	L=47.58m R=54.79m
1+240	1652.333m	L=37.77m R=66.16m
1+260	1649.670m	L=29.50m R=28.53m
1+280	1647.946m	L=24.57m R=12.91m
1+300	1647.163m	L=27.90m R=91.83m
1+320	1647.319m	
1+340	1648.416m	
1+360	1649.949m	
1+380	1651.483m	
1+400	1653.017m	
1+420	1654.551m	
1+440	1656.066m	
1+460	1657.315m	
1+480	1658.219m	
1+500	1658.780m	
1+520	1658.997m	
1+540	1658.948m	
1+560	1658.880m	
1+580	1658.792m	
1+600	1658.443m	
1+620	1657.761m	
1+640	1656.744m	
1+660	1655.399m	
1+680	1653.946m	
1+700	1652.493m	
1+720	1651.041m	
1+740	1649.619m	
1+760	1648.243m	
1+780	1646.913m	
1+800	1645.628m	
1+820	1644.375m	
1+840	1642.921m	
1+860	1640.413m	
1+880	1637.891m	
1+900	1635.943m	
1+920	1634.578m	
1+940	1633.468m	
1+960	1632.358m	
1+980	1631.248m	
2+000	1630.554m	

PERFIL - CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 1+000 - 2+000

ESCALA 1:3000

PUNTOS CALICATAS					
NÚMERO DE PUNTO	PROGRESIVA	COTA	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
2190	PG: 1+150	1668.022	9406361.964	768884.981	CA-2

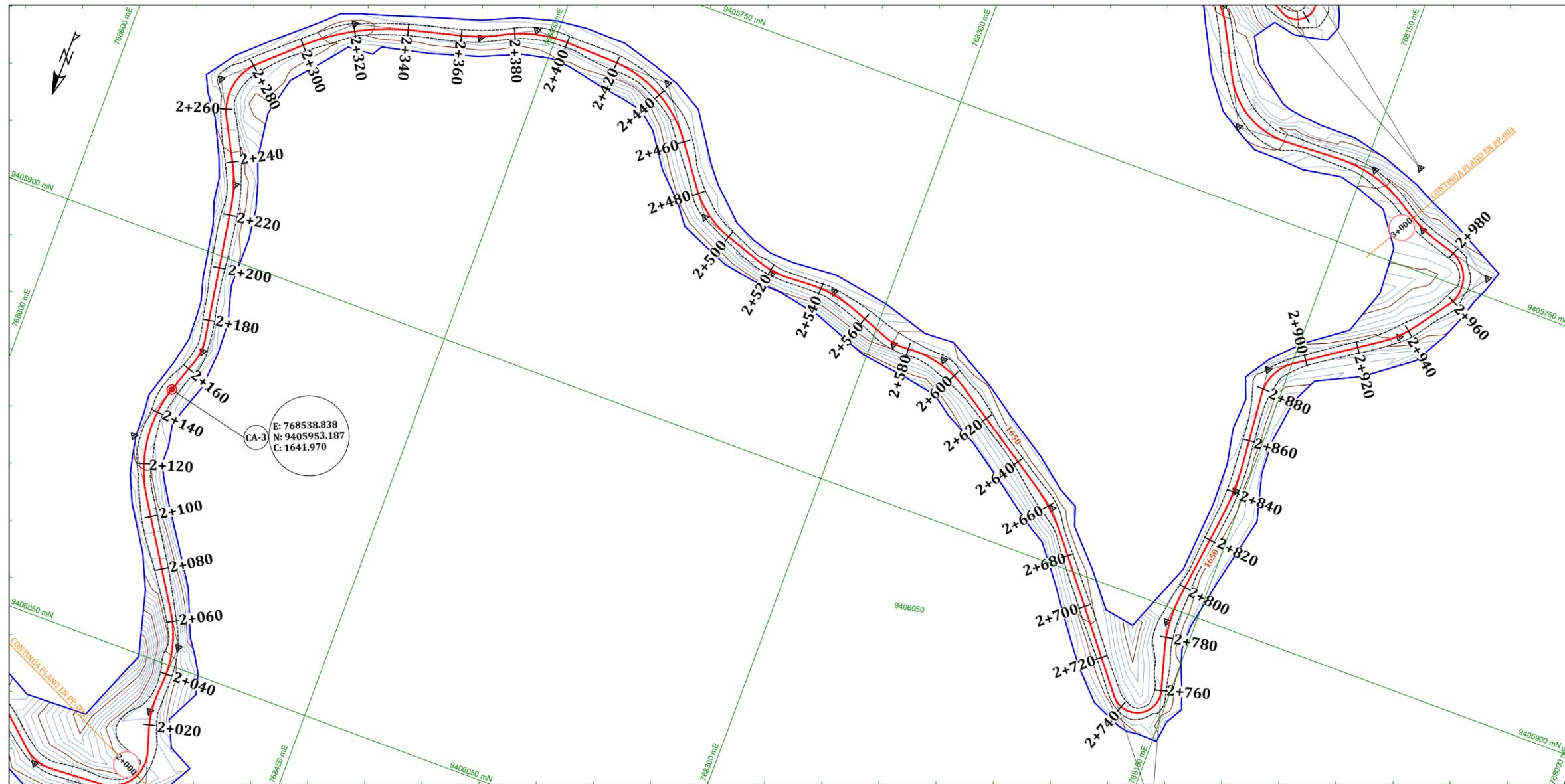


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS	INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023			
UBICACIÓN	Departamento: Cajamarca	Provincia: Jaén	Distrito: Santa Rosa	Centro Poblado: Shumbana
PLANO	PLANO DE PLANTA Y PERFIL - CARRETERA ENTRE EL C.P. SHUMBANA Y EL CAS. EL DIAMANTE - KM 1+000 - 2+000			
ASESOR	Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA			
TESISTA	Bach. JAMES ALARCÓN HERNÁNDEZ			
FECHA:	Mayo del 2023			ESCALA: INDICADA

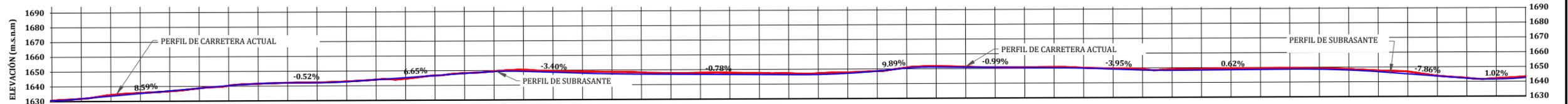
LÁMINA N°
PP-002



LEYENDA - PLANTA	
	ALINEAMIENTO
	CURVA MAYOR CADA 5m
	CURVA MENOR CADA 1m
	PI: PUNTO DE INTERSECCIÓN DE TANGENTES
	BORDE DE CARRETERA
	CALICATA

PLANTA - CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 2+000 - 3+000

ESCALA 1: 1750



PROGRESIVA	NIVEL DE SUBRASANTE	GEOMETRÍA HORIZONTAL CARRETERA ACTUAL
2+000	-1630.568	L=24.28m R=13.45m
2+020	-1631.056	L=14.92m R=40.45m
2+040	-1633.574	L=26.78m R=42.62m
2+060	-1635.292	
2+080	-1637.011	
2+100	-1638.729	
2+120	-1640.435	L=43.49m R=48.63m
2+140	-1641.660	
2+160	-1642.171	L=9.72m R=19.16m
2+180	-1642.116	
2+200	-1642.702	
2+220	-1644.023	L=17.33m R=52.39m
2+240	-1645.352	
2+260	-1646.681	L=35.28m R=19.20m
2+280	-1648.010	
2+300	-1649.221	L=42.79m R=65.61m
2+320	-1649.301	
2+340	-1648.623	
2+360	-1647.943	L=15.84m R=66.01m
2+380	-1647.395	L=23.92m R=46.40m
2+400	-1647.108	
2+420	-1646.953	L=41.17m R=45.04m
2+440	-1646.798	
2+460	-1646.643	
2+480	-1646.488	L=23.22m R=36.22m
2+500	-1646.333	
2+520	-1646.382	L=12.23m R=32.11m
2+540	-1647.113	L=19.63m R=46.97m
2+560	-1648.545	
2+580	-1650.484	L=7.37m R=17.84m
2+600	-1651.099	L=24.38m R=36.53m
2+620	-1650.902	
2+640	-1650.704	L=22.13m R=71.00m
2+660	-1650.507	
2+680	-1650.309	
2+700	-1649.981	
2+720	-1649.291	
2+740	-1648.536	L=24.73m R=9.04m
2+760	-1648.264	
2+780	-1648.380	L=21.54m R=58.16m
2+800	-1648.503	
2+820	-1648.626	
2+840	-1648.749	L=22.78m R=102.82m
2+860	-1648.616	
2+880	-1647.973	L=17.45m R=16.39m
2+900	-1648.819	
2+920	-1645.274	
2+940	-1643.702	L=13.70m R=40.08m
2+960	-1642.130	L=23.53m R=12.48m
2+980	-1641.581	
3+000	-1642.583	L=11.06m R=58.24m

PERFIL - CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 2+000 - 3+000

ESCALA 1:3000

PUNTOS CALICATAS					
NÚMERO DE PUNTO	PROGRESIVA	COTA	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
2191	PG: 2+150	1641.970	9405953.187	768538.838	CA-3

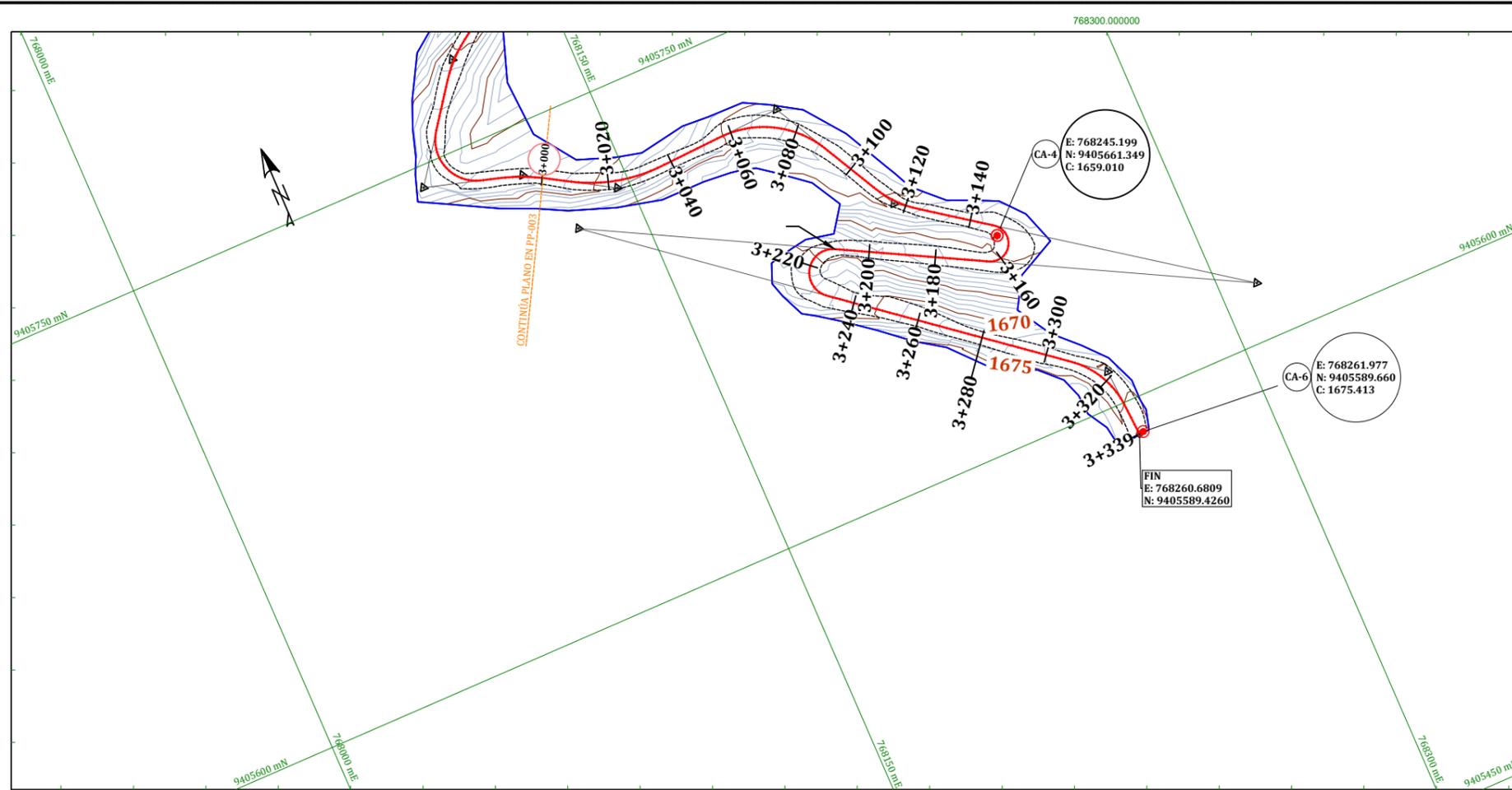


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS	INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023			
UBICACIÓN	Departamento: Cajamarca	Provincia: Jaén	Distrito: Santa Rosa	Centro Poblado: Shumbana Caserío: El Diamante
PLANO	PLANO DE PLANTA Y PERFIL - CARRETERA ENTRE EL C.P. SHUMBANA Y EL CAS. EL DIAMANTE - KM 2+000 - 3+000			
ASESOR	Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA			
TESISTA	Bach. JAMES ALARCÓN HERNÁNDEZ			
FECHA:	Mayo del 2023	ESCALA:	INDICADA	

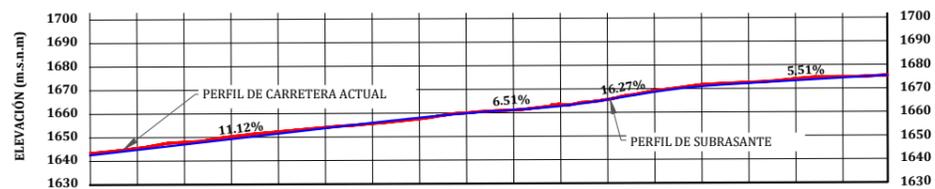
LÁMINA N°
PP-003



LEYENDA - PLANTA	
	ALINEAMIENTO
	CURVA MAYOR CADA 5m
	CURVA MENOR CADA 1m
	PI: PUNTO DE INTERSECCIÓN DE TANGENTES
	BORDE DE CARRETERA
	CALICATA

PLANTA - CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 3+000 - 3+339.00

ESCALA 1: 1750



PROGRESIVA	NIVEL DE SUBRASANTE	GEOMETRÍA HORIZONTAL CARRETERA ACTUAL
3+000	-1642.580	L=15.06m R=58.24m
3+020	-1644.801	L=28.44m R=48.07m
3+040	-1647.024	
3+060	-1649.248	L=33.58m R=29.63m
3+080	-1651.471	
3+100	-1653.695	L=14.34m R=31.19m
3+120	-1655.918	
3+140	-1658.068	L=16.48m R=5.48m
3+160	-1659.831	
3+180	-1661.206	
3+200	-1662.755	
3+220	-1665.412	L=21.11m R=71.4m
3+240	-1668.620	
3+260	-1670.938	
3+280	-1672.197	
3+300	-1673.299	
3+320	-1674.401	L=21.20m R=25.38m
3+339	-1675.446	

PERFIL - CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE - KM 3+000 - 3+339.00

ESCALA 1:3000

PUNTOS CALICATAS

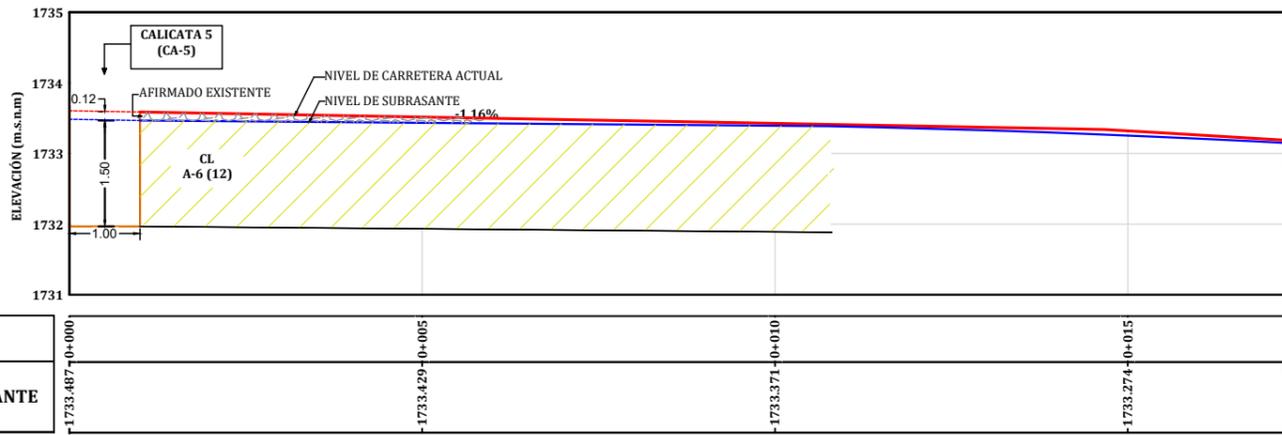
NÚMERO DE PUNTO	PROGRESIVA	COTA	NORTE	ESTE	DESCRIPCIÓN
2192	PG: 3+150	1659.010	9405661.349	768245.199	CA-4
2194	PG: 3+339	1675.413	9405589.660	768261.977	CA-6



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

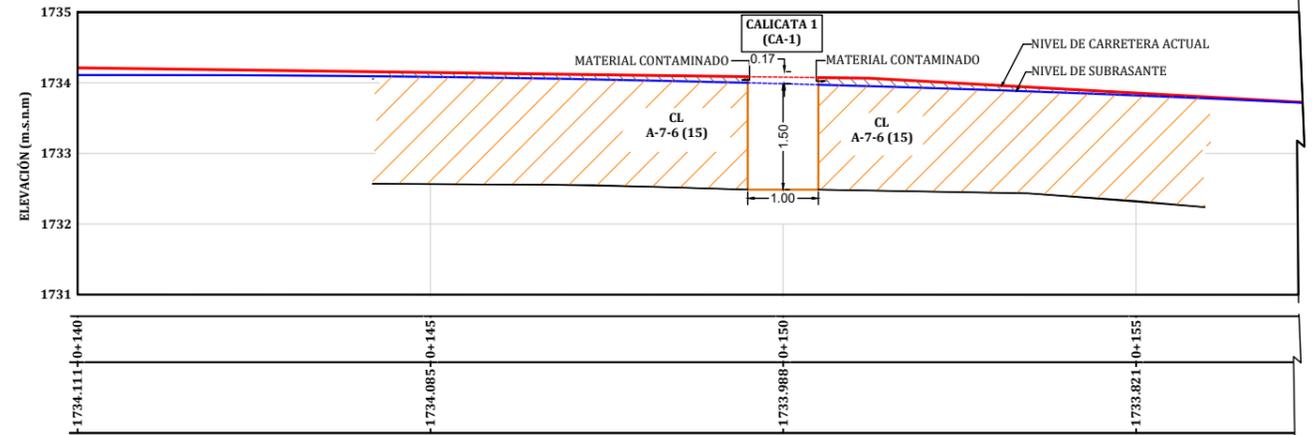


TESIS	INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023				
UBICACIÓN	Departamento: Cajamarca	Provincia: Jaén	Distrito: Santa Rosa	Centro Poblado: Shumbana	Caserío: El Diamante
PLANO	PLANO DE PLANTA Y PERFIL - CARRETERA ENTRE EL C.P. SHUMBANA Y EL CAS. EL DIAMANTE - KM 3+000 - 3+339				
ASESOR	Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA				LÁMINA N°
TESISTA	Bach. JAMES ALARCÓN HERNÁNDEZ				PP-004
FECHA:	Mayo del 2023			ESCALA: INDICADA	



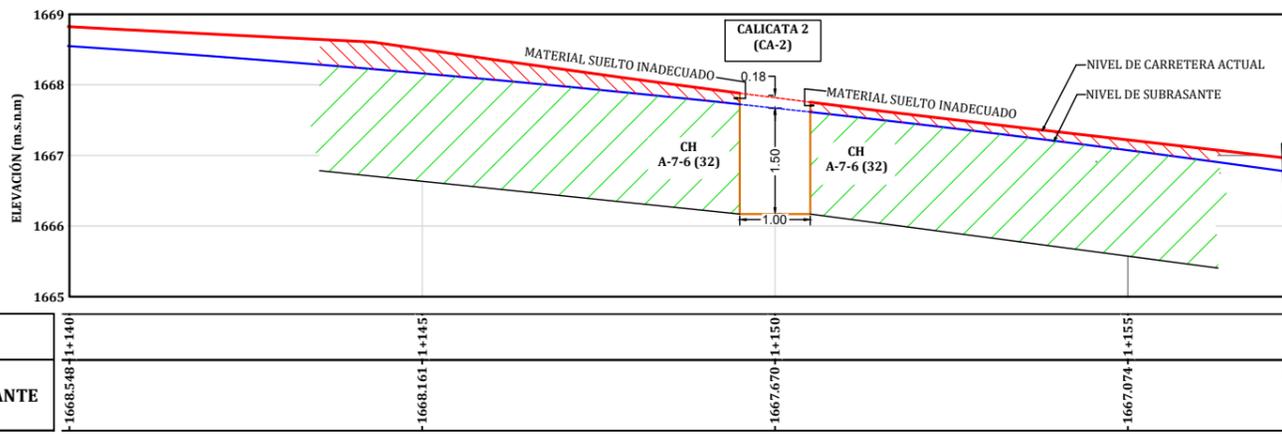
PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE (CALICATA CA-5)
ESCALA 1:100

PROGRESIVA	0+000	0+005	0+010	0+015
NIVEL DE SUBRASANTE	1733.487	1733.429	1733.371	1733.274



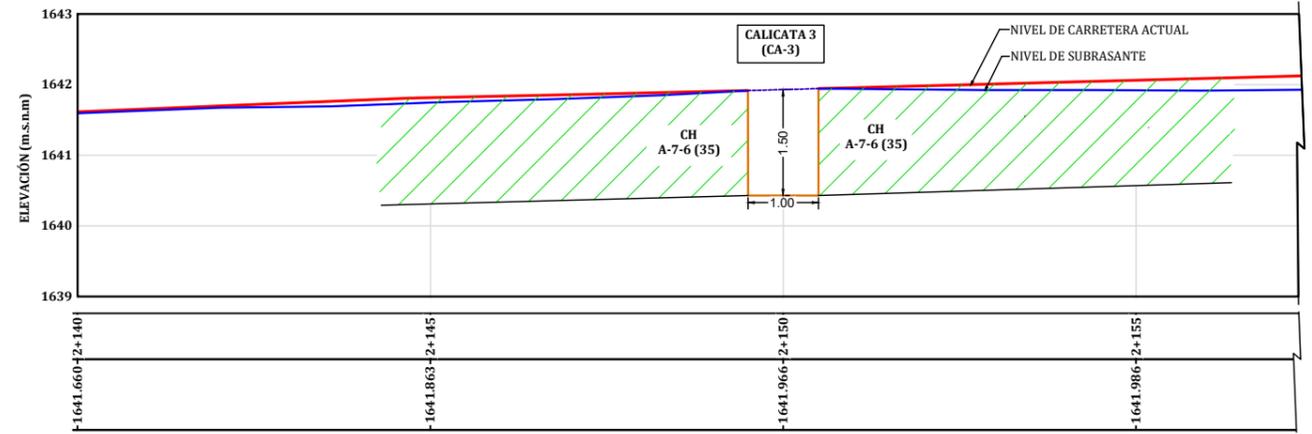
PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE (CALICATA CA-1)
ESCALA 1:100

PROGRESIVA	0+140	0+145	0+150	0+155
NIVEL DE SUBRASANTE	1734.111	1734.085	1733.988	1733.821



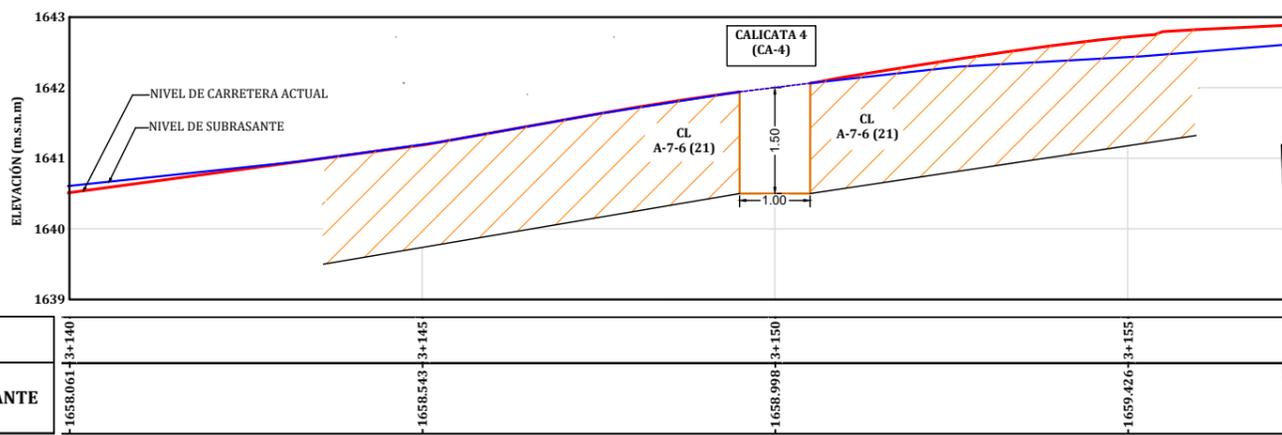
PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE (CALICATA CA-2)
ESCALA 1:100

PROGRESIVA	1+140	1+145	1+150	1+155
NIVEL DE SUBRASANTE	1668.548	1668.161	1667.670	1667.074



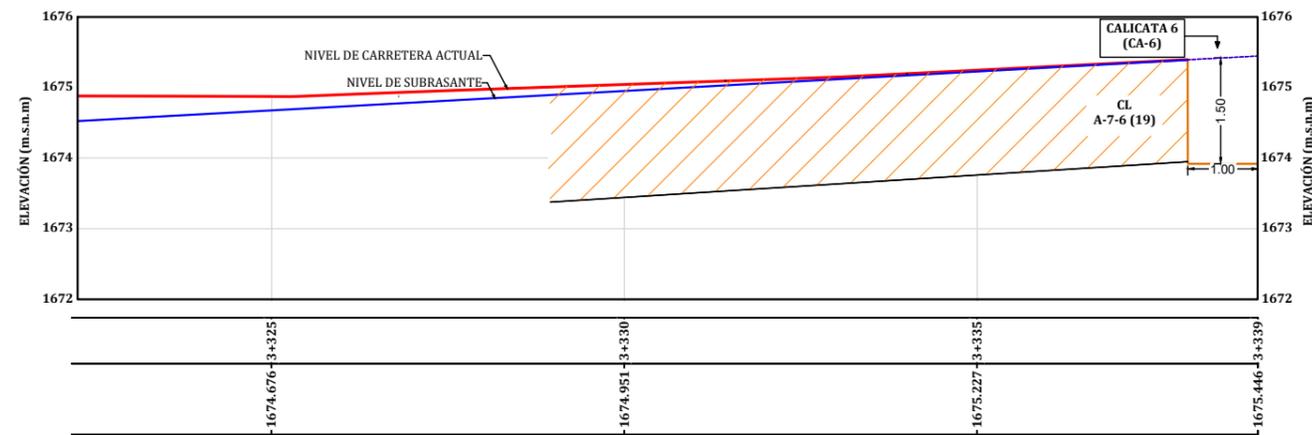
PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE (CALICATA CA-3)
ESCALA 1:100

PROGRESIVA	2+140	2+145	2+150	2+155
NIVEL DE SUBRASANTE	1641.660	1641.863	1641.966	1641.986



PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE (CALICATA CA-4)
ESCALA 1:100

PROGRESIVA	3+140	3+145	3+150	3+155
NIVEL DE SUBRASANTE	1658.061	1658.543	1658.998	1659.426



PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE (CALICATA CA-6)
ESCALA 1:100

PROGRESIVA	3+325	3+330	3+335	3+339
NIVEL DE SUBRASANTE	1674.676	1674.951	1675.227	1675.446

LEYENDA	
NIVEL DE TERRENO ACTUAL	SUELOS SUELTOS INADECUADOS (Suelos sedimentarios arrastrados por agua pluvial)
NIVEL DE SUBRASANTE	SUELOS CONTAMINADOS (Mezcla entre hierba existente y suelo orgánico)
LÍNEA DE CORTE DE CALICATA	AFIRMADO EXISTENTE
SUELOS DE TIPO "CL"/"A-7-6"	
SUELOS DE TIPO "CH"/"A-7-6"	
SUELOS DE TIPO "CL"/"A-6"	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS	INFLUENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA ENTRE EL CENTRO POBLADO SHUMBANA Y EL CASERÍO EL DIAMANTE, SANTA ROSA, JAÉN, CAJAMARCA, 2023				
UBICACIÓN	Departamento: Cajamarca	Provincia: Jaén	Distrito: Santa Rosa	Centro Poblado: Shumbana	Caserío: El Diamante
PLANO	PLANO ESTRATIGRÁFICO DE LA CARRETERA ENTRE EL C.P. SHUMBANA Y EL CAS. EL DIAMANTE - KM 0+000 - 3+339				
ASESOR	Ing. ALEJANDRO CUBAS BECERRA				
TESISTA	Bach. JAMES ALARCÓN HERNÁNDEZ				
FECHA:	Mayo del 2023			ESCALA: INDICADA	
					LÁMINA N°
					ES-001