

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**“INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA RESISTENCIA DEL SUELO
DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE ISAAC NEWTON, JAEN-
CAJAMARCA”**

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

PRESENTADA:

Bach. MARIA MEDALIT CRUZ CHANTA

ASESOR:

ING. MARCO WILDER HOYOS SAUCEDO

Cajamarca - Perú

2023

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** MARIA MEDALIT CRUZ CHANTA
DNI: 45372606
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
- Asesor:** MARCO WILDER HOYOS SAUCEDO
Facultad: FACULTAD DE INGENIERÍA
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
"INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE ISAAC NEWTON, JAEN – CAJAMARCA"
- Fecha de evaluación:** 29/11/2023
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 19%
- Código Documento:** 3117:290535114.
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 29/11/2023



FIRMA DEL ASESOR

MARCO WILDER HOYOS SAUCEDO
DNI: 26604620



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258001 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 29/11/2023 20:34:22-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

COPYRIGHT © 2023 by

MARIA MEDALIT CRUZ CHANTA

Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme determinación, paciencia y sobre todo sabiduría y permitirme llegar a este punto de mi vida, que lo añoraba bastante y que se me hacía un sueño extenso del cual pensé que no era posible por muchas circunstancias que se presentaron en mi camino.

Gracias a mi Universidad Nacional de Cajamarca, mi alma mater, por permitirme formarme en ella y a cada persona que en transcurso de mi trayectoria universitaria influyo de manera directa e indirecta, y que ahora son responsables de que culmine mi paso por la universidad.

Gracias a mis padres por la paciencia y por creer en mí, y brindarme todo su apoyo incondicional, sin ustedes todo esto no sería posible hoy. Y gracias a mis hijos: Ryan y Matthew, por su aliento, siempre me dijeron que todo es posible.

MEDALIT CRUZ

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor a mis hijos: Ryan Monsalve y Matthew Monsalve, con ellos recorrí el camino más largo para llegar a este logro que es muy importante para mí, la culminación de mi paso por la vida universitaria y el inicio de nuevos caminos profesionales. Se lo dedico a mi madre: Eusebia Chanta Chinguel, una grandiosa mujer, por todo su apoyo incondicional y la paciencia que tiene hacia mí. A mi padre, Maximino Cruz Crisanto, por creer en mí y brindarme todo su apoyo incondicionalmente.

MEDALIT CRUZ

INDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
INDICE.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN DE LA TESIS.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. Selección del Problema	1
1.1.2. Formulación del problema.....	1
1.1.3. Justificación de la investigación	2
1.1.4. Alcances	2
1.1.5. Delimitación	2
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. Objetivo principal.....	2
1.2.2. Objetivos específicos:.....	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.2 BASES TEÓRICAS	4
2.1.1. SUELO	4
2.1.2. SUBRASANTE.....	7
2.2.2.1 Características de la subrasante	8
2.2.2.2 Propiedades fundamentales de la subrasante	8
2.1.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELO	16

2.2.3.1	Propiedades del suelo a mejorar	18
2.2.3.2	Tipos de estabilización.....	19
2.1.4.	ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	21
2.2.4.1	Materiales para la estabilización	23
2.2.4.2	Ventajas de la estabilización con cemento.....	28
2.2.4.3	Limitaciones de la estabilización con cemento.....	29
2.2.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		31
3.1.	UBICACIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA	31
3.2.	HIPÓTESIS	31
3.2.1.	Hipótesis general	31
3.3.	VARIABLES	31
3.4.	METODOLOGÍA	32
3.4.1.	Tipo de investigación	32
3.4.2.	Nivel de investigación	32
3.4.3.	Diseño.....	32
3.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
3.5.1.	Población	32
3.5.2.	Muestra.....	32
3.5.3.	Unidad de análisis.....	33
3.6.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	34
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.8.	MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS	35
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		36
4.1.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	36
4.1.1.	Clasificación del suelo de la calle Isaac Newton.....	36

4.1.2. Influencia del cemento en el límite de consistencia.....	37
4.1.3. Influencia del cemento en el índice CBR.....	38
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
4.3. CONTRATACIÓN DE HIPÓTESIS.....	46
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
5.1. CONCLUSIONES.....	47
5.2. RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	50
ANEXO 01 ENSAYOS DE SUELO.....	51
ANEXO 02 PANEL FOTOGRÁFICO.....	120
ANEXO 03 CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE SUELOS.....	125
ANEXO 04 CONSTANCIA DEL LABORATORIO DEL LABORATORIO.....	126
ANEXO 05 PLANOS.....	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del suelo según el tamaño de partícula	9
Tabla 2 Clasificación de suelos según el Índice de plasticidad	10
Tabla 3. Categoría de Subrasante	16
Tabla 4. Condiciones de efectividad de los agentes estabilizadores	20
Tabla 5. Suelos óptimos para ser estabilizados con cemento en forma económica	21
Tabla 6. Clasificación de suelos (SUCS) ASTM D 2487.....	24
Tabla 7. Clasificación de suelos método AASHTO para el diseño de suelo cemento ..	25
Tabla 8. Clasificación de grupo AASHTO.....	26
Tabla 9. Rango de cemento requerido en estabilización suelo cemento	27
Tabla 10. Características del agua	28
Tabla 11. Ubicación de calicatas en la Calle Isaac Newton.	32
Tabla 12. Matriz experimental de diseño y niveles de las variables en estudio.	33
Tabla 13. Ensayos de laboratorio realizados en la investigación	34
Tabla 14. Clasificación de las muestras de suelo natural.	36
Tabla 15. Propiedades mecánicas del suelo de natural.....	37
Tabla 16. Límites de Consistencia del suelo con Cemento Portland Tipo I.....	37
Tabla 17. Propiedades mecánicas C-1 estabilizado con cemento.	38
Tabla 18. Propiedades mecánicas C-2 estabilizado con cemento.	38
Tabla 19. Propiedades mecánicas C-3 estabilizado con cemento.	39
Tabla 20.. Análisis granulométrico, C-1.	51
Tabla 21. Contenido de humedad, C-1.	52
Tabla 22. Límite Líquido, C-1.....	53
Tabla 23. Límite plástico, C-1.	53
Tabla 24. Índice Plástico, C-1.	53
Tabla 25. Limite liquido con el 2% cemento, C-1.....	54
Tabla 26. Limite plástico con el 2% cemento, C-1.	54
Tabla 27. Índice Plástico, C1-IP-2%.....	54
Tabla 28. Límite líquido con el 4% cemento, C-1.....	55
Tabla 29. Limite plástico con el 4% cemento, C-1.	55
Tabla 30. Índice Plástico, C1-IP-4%	55
Tabla 31. Límite líquido con el 6% cemento, C-1.....	56
Tabla 32. Limite plástico con el 6% cemento, C-1.	56

Tabla 33. Índice Plástico, C1-IP-6%	56
Tabla 34. Proctor modificado, C-1.	57
Tabla 35 Proctor modificado con el 2% cemento, C-1.....	58
Tabla 36. Proctor modificado con el 4% cemento, C-1.....	59
Tabla 37. Proctor modificado con el 6% cemento, C-1.....	60
Tabla 38. CBR, C-1.	61
Tabla 39. Expansión CBR, C-1.	61
Tabla 40. Penetración - CBR, C-1.....	62
Tabla 41. CBR con el 2% de cemento, C-1.....	65
Tabla 42.Penetración con el 2% de cemento, C-1.....	65
Tabla 43. CBR con el 4% de cemento, C-1.....	68
Tabla 44. Penetración con el 4% de cemento, C-1.....	68
Tabla 45. CBR con el 6% de cemento, C-1.....	71
Tabla 46. Penetración con el 6% de cemento, C-1.....	71
Tabla 47. Análisis granulométrico, C-2.....	74
Tabla 48. Contenido de humedad, C-2.	75
Tabla 49. Límite Líquido, C-2.....	76
Tabla 50. Límite plástico, C-2.	76
Tabla 51. Índice Plástico C-2.	76
Tabla 52. Limite liquido con el 2% cemento, C-2.....	77
Tabla 53. Limite plástico con el 2% cemento, C-2.	77
Tabla 54. Índice de plasticidad C2-IP-2%	77
Tabla 55. Límite líquido con el 4% cemento, C-2.....	78
Tabla 56. Limite plástico con el 4% cemento, C-2.	78
Tabla 57. Índice de plasticidad C2-IP-4%	78
Tabla 58. Límite líquido con el 6% cemento, C-2.....	79
Tabla 59. Limite plástico con el 6% cemento, C-1.	79
Tabla 60. Índice de plasticidad C2-IP-6%	79
Tabla 61. Proctor modificado, C-2.	80
Tabla 62 Proctor modificado con el 2% cemento, C-2.....	81
Tabla 63. Proctor modificado con el 4% cemento, C-2.....	82
Tabla 64. Proctor modificado con el 6% cemento, C-2.....	83
Tabla 65. CBR, C-2.	84
Tabla 66. Expansión CBR, C-2.	84

Tabla 67. Penetración - CBR, C-2.....	85
Tabla 68. CBR con el 2% de cemento, C-2.....	88
Tabla 69. Penetración con el 2% de cemento, C-2.....	88
Tabla 70. CBR con el 4% de cemento, C-2.....	91
Tabla 71. Penetración con el 4% de cemento, C-2.....	91
Tabla 72. CBR con el 6% de cemento, C-2.....	94
Tabla 73. Penetración con el 6% de cemento, C-2.....	94
Tabla 74. Análisis granulométrico, C-3.....	97
Tabla 75. Contenido de humedad, C-3.....	98
Tabla 76. Límite Líquido, C-3.....	99
Tabla 77. Límite plástico, C-3.....	99
Tabla 78. Índice de plasticidad C-3.....	99
Tabla 79. Límite líquido con el 2% cemento, C-3.....	100
Tabla 80. Límite plástico con el 2% cemento, C-3.....	100
Tabla 81. Índice de plasticidad C3-IP-2%.....	100
Tabla 82. Límite líquido con el 4% cemento, C-3.....	101
Tabla 83. Límite plástico con el 4% cemento, C-3.....	101
Tabla 84. Índice de plasticidad C3-IP-4%.....	101
Tabla 85. Límite líquido con el 6% cemento, C-3.....	102
Tabla 86. Límite plástico con el 6% cemento, C-3.....	102
Tabla 87. Índice de plasticidad C3-IP-4%.....	102
Tabla 88. Proctor modificado, C-3.....	103
Tabla 89. Proctor modificado con el 2% cemento, C-3.....	104
Tabla 90. Proctor modificado con el 4% cemento, C-3.....	105
Tabla 91. Proctor modificado con el 6% cemento, C-3.....	106
Tabla 92. CBR, C-3.....	107
Tabla 93. Expansión CBR, C-3.....	107
Tabla 94. Penetración - CBR, C-3.....	108
Tabla 95. CBR con el 2% de cemento, C-3.....	111
Tabla 96. Penetración con el 2% de cemento, C-3.....	111
Tabla 97. CBR con el 4% de cemento, C-3.....	114
Tabla 98. Penetración con el 4% de cemento, C-2.....	114
Tabla 99. CBR con el 6% de cemento, C-3.....	117
Tabla 100. Penetración con el 6% de cemento, C-3.....	117

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límite Líquido Vs % cemento Portland	40
Figura 2. Límite Plástico Vs % Cemento Portland Tipo I.....	40
Figura 3. Índice de plasticidad VS %Cemento Portland Tipo I	40
Figura 4. Densidad máxima seca VS % Cemento Portland Tipo I - C1-DMS	41
Figura 5. Contenido de Humedad Optimo % Cemento Portland Tipo I - C1-DMS	41
Figura 6. CBR VS % Cemento Portland Tipo I. Muestra C1-CBR	41
Figura 7. Límite Líquido Vs % cemento Portland - C2-IP.....	42
Figura 8. Límite Plástico Vs % Cemento Portland Tipo -C2-IP	42
Figura 9. Índice de plasticidad VS %Cemento Portland Tipo I – C2-IP.....	42
Figura 10. Densidad máxima seca VS % Cemento Portland Tipo I - C2-DMS	43
Figura 11. Contenido de Humedad Optimo % Cemento Portland Tipo I – C2-DMS....	43
Figura 12. CBR VS % Cemento Portland Tipo I. Muestra C2-CBR	43
Figura 13. Límite Líquido Vs % cemento Portland – C3-IP.....	44
Figura 14. Límite Plástico Vs % Cemento Portland Tipo -C3-IP	44
Figura 15. Índice de plasticidad VS %Cemento Portland Tipo I – C2-IP.....	44
Figura 16. Densidad máxima seca VS % Cemento Portland Tipo I - C3-DMS	45
Figura 17. Contenido de Humedad Optimo % Cemento Portland Tipo I – C3-DMS....	45
Figura 18. CBR VS % Cemento Portland Tipo I. Muestra C3-CBR	45
Figura 19. Análisis granulométrico, C-1	52
Figura 20. curva de limite líquido, C-1.	53
Figura 21. Curva de limite líquido con el 2% de cemento, C-1	54
Figura 22. Curva de limite líquido con el 4% de cemento, C-1	55
Figura N° 23. Curva de limite líquido con el 6% de cemento, C-1.....	56
Figura 24. Proctor Modificado, C-1.	57
Figura 25. Curva del Proctor Modificado con el 2% cemento, C-1.....	58
Figura 26. Curva del Proctor Modificado con el 4% cemento, C-1.....	59
Figura 27. Curva del Proctor Modificado con el 6% cemento, C-1.....	60
Figura 28. Curvas esfuerzo - deformación corregidas para el ensayo CBR, C-1.....	63
Figura 29. Curva CBR – densidad seca de la muestra de suelo, C-1.	64
Figura 30. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 2%, C-1.....	66
Figura 31. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 2% de cemento, C-1	67
Figura 32. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 4%, C-1.....	69

Figura 33. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 4% de cemento, C-1.	70
Figura 34. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 6%, C-1.....	72
Figura 35. Curva CBR – Densidad seca de la muestra con el 6% de cemento, C-1.	73
Figura 36. Análisis granulométrico, C-2	75
Figura 37. Curva de limite líquido, C-2	76
Figura 38. Curva de limite líquido con el 2% de cemento, C-2	77
Figura 39. Curva de limite líquido con el 4% de cemento, C-2	78
Figura N° 40. Curva de limite líquido con el 6% de cemento, C-1.....	79
Figura 41. Proctor Modificado, C-2.	80
Figura 42. Curva del Proctor Modificado con el 2% cemento, C-2.....	81
Figura 43. Curva del Proctor Modificado con el 4% cemento, C-2.....	82
Figura 44. Curva del Proctor Modificado con el 6% cemento, C-2.....	83
Figura 45. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR, C-2.....	86
Figura 46. Curva CBR – densidad seca de la muestra de suelo, C-1.	87
Figura 47. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 2%, C-2.....	89
Figura 48. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 2% de cemento, C-2	90
Figura 49. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 4%, C-2.	92
Figura 50. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 4% de cemento, C-2.	93
Figura 51. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 6%, C-2.	95
Figura 52. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 6% de cemento, C-2.	96
Figura 53. Análisis granulométrico, C-3	98
Figura 54. Curva de limite líquido, C-3	99
Figura 55. Curva de limite líquido con el 2% de cemento, C-2	100
Figura 56. Curva de limite líquido con el 4% de cemento, C-3	101
Figura N° 57. Curva de limite líquido con el 6% de cemento, C-3.....	102
Figura 58. Proctor Modificado, C-3.	103
Figura 59. Curva del Proctor Modificado con el 2% cemento, C-3.....	104
Figura 60. Curva del Proctor Modificado con el 4% cemento, C-3.....	105
Figura 61. Curva del Proctor Modificado con el 6% cemento, C-3.....	106
Figura 62. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR, C-3.	109
Figura 63. Curva CBR – densidad seca de la muestra de suelo, C-3.	110
Figura 64. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 2%, C-3.	112
Figura 65. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 2% de cemento, C-3. ...	113
Figura 66. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 4%, C-3.	115

Figura 67. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 4% de cemento, C-3.	116
Figura 68. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 6%, C-3.	118
Figura 69. Curva CBR – Densidad seca de la muestra con el 6% de cemento, C-3. ...	119
Figura 70. Replanteo de calicata en calle Isaac Newton #01.	120
Figura 71. Excavación de calicata C-1, h=2.00m.....	120
Figura 72. Replanteo de calicata en calle Isaac Newton #04.	121
Figura 73. Excavación de calicata C-2, h=2.00m.....	121
Figura 74. Excavación de calicata C-3, h=2.00m Calle Isaac Newton #8.	121
Figura 75. Profundidad de excavación h=2.00m.....	121
Figura 76. Análisis granulométrico, tamizado. Muestra C-1	122
Figura 77. Determinación del Límite Líquido, muestra C2-IP-2%.....	122
Figura 78. Determinación del Límite plástico, muestra C3-IP-2%.	123
Figura 79. Peso de la muestra C-2, Proctor Modificado.	123
Figura 80. Ensayo de CBR al 2% para la muestra C-3.	124
Figura 81. Peso de la muestra C1-CBR-2	124

RESUMEN DE LA TESIS

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad determinar la influencia del cemento en la resistencia del suelo de la subrasante de la Calle Isaac Newton, San Camilo, de la ciudad de Jaén. por lo que se ha determina tres muestras de suelo de donde la muestra C-1, es un suelo fino arcilloso arenoso de baja plasticidad (SUCS) y A-4(5) (AASHTO), que presenta las propiedades físico-mecánicas más desfavorables, con un índice CBR 3.8%, y de acuerdo a la norma técnica peruana del MTC, es una subrasante pobre. Al ser estabilizado con el 2%, 4% y 6% presenta una disminución del índice de plasticidad en un 12.5% por porcentaje de cemento que se adicione y presenta un incremento del índice CBR, al 2% CBR es 5.9%, con el 4% CBR es 7.2% y con el 6% de cemento el CBR es 11.8%. Con el 2% y 4% de cemento se obtiene una subrasante regular y con el 6% de cemento Portland tipo I se obtiene una subrasante buena. Determinando así la influencia del cemento Portland Tipo I, de manera favorable ya que incrementa índice CBR y en la reducción el índice de plasticidad.

Palabras clave: cemento, estabilización, subrasante, índice de plasticidad, índice CBR.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to determine the influence of cement on the soil resistance of the subgrade of Isaac Newton Street, San Camilo, in the city of Jaén. Therefore, three soil samples have been determined, where sample C-1 is a fine sandy clay soil of low plasticity (SUCS) and A-4(5) (AASHTO), which presents the most unfavorable physical-mechanical properties. , with a CBR index of 3.8%, and according to the Peruvian technical standard of the MTC, it is a poor subgrade. When stabilized with 2%, 4% and 6%, it presents a decrease in the plasticity index by 12.5% per percentage of cement that is added and presents an increase in the CBR index, at 2% CBR is 5.9%, with 4 % CBR is 7.2% and with 6% cement the CBR is 11.8%. With 2% and 4% cement a regular subgrade is obtained and with 6% Portland cement type I a good subgrade is obtained. Thus determining the influence of Portland cement Type I, in a favorable way since it increases the CBR index and reduces the plasticity index.

Keywords: cement, stabilization, subgrade, plasticity index, CBR index.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Selección del Problema

En la actualidad la construcción de los pavimentos tiene que ser eficiente, rentable, confiable y sostenible, pero en muchos casos no es posible realizar una pavimentación adecuada por diferentes factores, uno de ellos es la inestabilidad que presentan los suelos de la subrasante. Como la subrasante es el soporte directo de la estructura del pavimento, tanto flexible como rígido, debe presentar un suelo adecuado y estable con un $CBR \geq 6\%$ para evitar fallas futuras en la estructura, caso contrario, al estar frente a una subrasante pobre e inadecuada, surge dos posibilidades para mejorar la calidad del suelo: remoción y reemplazo por un suelo seleccionado de mejor calidad, o llevar a cabo la estabilización con un aditivo químico como el cemento, cal, emulsiones, enzimas, aditivos, entre otros. Para emplear la mejor opción dependerá de la factibilidad de aplicación, economía e impacto ambiental.

En la ciudad de Jaén hay zonas que aún no han sido pavimentadas, por ello, llevar a cabo la estabilización del suelo de la subrasante con cemento Portland Tipo I es una opción adecuada y al mismo tiempo marcar un precedente para futuros proyectos. Finalmente se busca determinar la influencia del cemento en la capacidad de soporte de la subrasante y mejorar las propiedades físicas – mecánicas de suelos de baja calidad.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del cemento Portland Tipo I en la resistencia del suelo de la subrasante de la calle Isaac Newton?

1.1.3. Justificación de la investigación

Esta investigación da a conocer la importancia de llevar a cabo la estabilización con cemento en subrasantes, ya que viene hacer una alternativa de solución para suelos de baja calidad, mejoramiento las propiedades físico – mecánicas del suelo y su resistencia del suelo.

1.1.4. Alcances

Los resultados obtenidos en esta investigación solo se aplican en la subrasante de la Calle Isaac Newton o en suelos con características similares que se encuentren en otro tipo de proyectos.

1.1.5. Delimitación

La investigación se aplica en subrasantes que presentan suelos finos arcillosos de baja plasticidad de la calle Isaac Newton, Ciudad de Jaén. La adición del cemento Portland Tipo I es 2%, 4% y 6% del peso seco de la muestra del suelo.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo principal

Determinar la influencia del cemento Portland Tipo I en la resistencia del suelo de la subrasante de la calle Isaac Newton.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físico – mecánicas del suelo natural de la Calle Isaac Newton.
- Determinar las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con cemento Portland tipo I con dosificaciones 2%, 4% y 6%.
- Comparar los resultados de las propiedades físico – mecánicas de un suelo natural y el suelo estabilizado con cemento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

INTERNACIONAL

Celi y Mendoza (2022), realizó el Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo, el estudio se llevó a cabo en la ciudad Portoviejo, Ecuador. El suelo estabilizado es ML (Limo de Baja Plasticidad) (clasificación SUCS) y Suelo A-7-6 (según clasificación AASHTO). Los ensayos de caracterización clasifican como una subrasante muy pobre con un CBR inferior al 3%, y al estabilizarlo con el 6% de cemento el CBR incrementa hasta 62.9%.

NACIONAL

Cuzco (2019), plantea el Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019. Las muestras obtenidas para el estudio de suelos fueron del distrito de Carabayllo en la provincia y departamento de Lima. De acuerdo al estudio de granulometría, el suelo estudiado es un suelo fino que presenta el índice CBR es de 4.9% del suelo en estado natural (Subrasante pobre) y al estabilizarlo con 1%, 1.5% y 2% cemento Portland tipo I, determinó Cuzco que: al 1% de cemento es el más óptimo para ese tipo de suelo. El CBR estabilizado con 1% cemento es 20.7%, pasando a ser una subrasante muy buena. También varia la máxima densidad seca de 1.804 g/cm³ a 1.865 g/cm³ mostrándonos un incremento, pero en cambio para el óptimo contenido de humedad paso de 16.5% a 15.6% mostrándonos la disminución de ella.

Castro y Navarro (2020), realizaron una 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. Las muestras obtenidas para su estudio de suelo se obtuvieron de la Av. Padre Salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco. De acuerdo a la granulometría realizada, el suelo natural es una arcilla de alta plasticidad (CH-

SUCS) o un suelo A-7-6 (45) (AASHTO) con Límite líquido igual a 66.1%, Límite plástico equivalente a 26.9% y un Índice de plasticidad equivalente a 36.9%, encontrándose a una humedad de 14.3%. el índice CBR del suelo natural es de 2.3%, siendo una subrasante inadecuada. El suelo estabilizado con cemento Portland reduce el índice de plasticidad un 7.18% con respecto al suelo natural, y también presenta una mejora del CBR al adicionar el 10% de Cemento Portland, incrementando el índice CBR a un 91.9% con respecto del suelo natural y de acuerdo con las normas técnicas del MTC, se obtiene una subrasante extraordinaria.

LOCAL

Núñez y Olivera (2021), realizaron el estudio de la estabilización química de suelos arcillosos para conformación de estructura de pavimento rígido utilizando cemento Portland Tipo I Jaén - Cajamarca. Para las muestras de estudio de suelos fueron obtenidas de la Calle La Unión, Sector EL Huito, Jaén- Cajamarca y de acuerdo al estudio de granulometría el suelo natural según la clasificación SUCS es un suelo de Tipo GC; y para el sistema AASTHO, es un suelo de tipo A-2-4(0). El índice de CBR al 95% es 82.60%, al adicionar el 4% de cemento Portland con respecto a su peso, el índice CBR al 95% es 161.00% y al adicionar el 8% de cemento Portland obtuvieron un índice CBR al 95% de 226.39%, determinado a mayor porcentaje de cemento, mayor incremento de índice CBR.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.1.1. SUELO

Juárez Badillo; Rico Rodríguez (2005), define el suelo como un conjunto de partículas orgánicas e inorgánicas, producto de la desintegración mecánica y descomposición química de las rocas. El termino de desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por los agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de la congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, etc. Por descomposición química lo define la acción

de agentes que atacan las rocas modificando su constitución mineralógica o química. El principal agente viene hacer el agua y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, la hidratación y la carbonatación.

Crespo (2004), define al suelo como una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan. Cuando el suelo proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas presentan características diferentes si la alteración es física o química. Cuando el efecto de las rocas se lleva a cabo por un medio físico se produce un suelo con la misma composición de ellas. Cuando es de efecto químico el proceso por medio del cual se produce el suelo, la constitución mineralógica del suelo es diferente a los que poseía la roca madre.

Crespo (2004), también plantea que entre los agentes físicos que producen cambios en las rocas figuran el sol, el agua, el viento y los glaciares.

- Al actuar sobre las rocas, el sol calienta más su exterior que su interior, provocando diferencias de expansión que generan esfuerzos muy fuertes, los cuales dan como resultado un rompimiento de la capa superficial y el desprendimiento de la misma. Este proceso es conocido como exfoliación y cambia de carácter en diferentes localidades, a distintas alturas sobre el nivel del mar y en las diversas épocas de cada año, y con cada tipo de roca. Los cambios de temperatura producen más efecto en las rocas duras como las ígneas (granito, andesita, riolita) que en las rocas blandas como las sedimentarias (caliza, travertino, dolomita), especialmente cuando aquéllas son de grano grueso y se componen de diversos minerales, cuyos coeficientes de dilatación difieren mucho unos de otros.
- El agua en movimiento es un importante elemento de erosión, al arrastrar los fragmentos angulosos de las rocas y provocar la fricción de unos con otros, haciéndolos redondeados como los cantos rodados de los ríos. El agua también deja sentir sus efectos cuando, en forma de lluvia, cae en las superficies pétreas, llena sus cavidades, abre grietas y tiende a llenar los espacios huecos de las

rocas; si entonces se congela, ejerce fuerte poder de fracturación en la roca que la encierra, y se produce la desintegración en un corto periodo de tiempo. El impacto directo del agua sobre las rocas, como el que provoca el oleaje, también es causa de erosión de las mismas.

- El viento también contribuye a la erosión del suelo, cuando arrastra arenas, como el caso de los médanos y los loess (suelos eólicos)

Y de los agentes químicos los principales son la oxidación, la carbonatación y la hidratación.

- La oxidación es la reacción química que puede ocurrir en las rocas al recibir el agua de lluvia, ya que el oxígeno del aire, en presencia de humedad, reacciona químicamente produciéndose el fenómeno de oxidación, principalmente si las rocas contienen hierro, como se puede observar por el color pardo rojizo de algunas afloraciones.
- La carbonatación es el ataque que el ácido carbónico [anhídrido carbónico (CO_2) y agua (H_2O)] efectúa sobre las rocas que contienen fierro, calcio, magnesio, sodio o potasio. Así, las rocas ígneas, que en su mayoría contienen dichos elementos, pueden ser descompuestas de esa manera. Como ejemplo de este ataque se puede mencionar la carbonatación de la ortoclasa (feldespato potásico perteneciente a las rocas ígneas extrusivas y generalmente de color rosado) con la producción de la arcilla denominada caolinita. Las calizas son muy atacables por el ácido carbónico, formándoles cavernas por disolución.
- La hidratación es la acción y efecto de combinar un cuerpo con agua para formar hidratos, o sea compuestos químicos que contienen agua en combinación. El agua se absorbe y se combina químicamente formando nuevos minerales.

2.1.2. SUBRASANTE

El MTC (2014), define la subrasante como la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. También indica que, la subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. El MTC (2014), también nos indica que la subrasante es la capa superior del terraplén o el fondo de las excavaciones en terreno natural, que soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño de la estructura del pavimento que se colocará encima. En la etapa constructiva, los últimos 0.30m de suelo debajo del nivel superior de la sub rasante, deberán ser compactados al 95% de la máxima densidad seca obtenida del ensayo Proctor Modificado (MTC EM 115). Y por último el MTC (2014), considera como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (sub rasante pobre o sub rasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

EL ICPA (2016), plantea que la subrasante es el suelo natural o de relleno compactado, por encima del cual se construye el paquete estructural. Una de sus funciones principales es la de proporcionar un apoyo uniforme y estable en el tiempo, bajo la acción del tránsito y de las condiciones climáticas presentes, durante toda la vida útil del pavimento. Las buenas prácticas de diseño y construcción para la conformación de una subrasante adecuada incluyen:

- Separación apropiada del nivel freático, para evitar la disminución del Valor Soporte, el bombeo o la acción de heladas en climas fríos.
- Tratamiento con cal o cemento para subrasantes de mala calidad, o aporte de suelos de calidad aceptable.
- Utilización de los mejores materiales disponibles en la parte superior del terraplén, para la conformación de la subrasante.
- Mezcla de los suelos de subrasante para obtener una transición gradual en zonas de cambio abrupto del material.
- Compactación con contenidos de humedad y a una densidad que aseguren un soporte uniforme y estable al pavimento.

Montejo Fonseca (2002), define que depende de la calidad de la subrasante, para determinar el espesor que debe tener un pavimento, sea rígido o flexible. Así mismo, como parámetro de evaluación de la subrasante se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito.

2.2.2.1 Características de la subrasante

El MTC (2014), indica que una subrasante para que sea considerado regular, debe presentar un índice CBR $\geq 6\%$, en el caso que el suelo sea CBR $<6\%$, lo más conveniente es llevar a cabo una estabilización de suelo. Con la finalidad de mejorar sus propiedades y obtener una subrasante de mejor calidad.

2.2.2.2 Propiedades fundamentales de la subrasante

El Manual de carreteras; suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC (2014), presenta las propiedades fundamentales a tener en cuenta para llevar a cabo el estudio de la subrasante, como: La granulometría, la plasticidad, humedad natural, clasificación de suelos y ensayos de CBR.

a. Granulometría

El MTC (2014), representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene

por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo definen los siguientes términos:

Tabla 1 Clasificación del suelo según el tamaño de partícula.

TIPO DE MATERIAL		TAMAÑO DE PARTÍCULAS
Grava		75mm – 7.75mm
Arena		Arena gruesa: 4.75mm-2.00mm
		Arena media: 2.00mm-0.4725mm
		Arena fina: 0.425mm – 0.075mm
Material fino	Limo	0.075mm-0.005mm
	Arcilla	Menor a 0.005mm

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC-2014

b. La Plasticidad

El MTC (2014), define la plasticidad como la propiedad de estabilidad que presentan los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por lo tanto, la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. Los Límites de Atterberg o Limite de Consistencia establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110) y el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111). Además del LL y del LP, se obtiene el Índice de plasticidad (IP) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo.

Tabla 2 Clasificación de suelos según el Índice de plasticidad

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

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC-2014

c. Humedad natural

El MTC (2014), presenta otra característica importante de los suelos como la humedad natural; puesto que la resistencia de los suelos de sub rasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. La determinación de la humedad natural (ensayo MTC E 108) permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo (ensayo MTC E 132). Sí la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Sí la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado.

d. Clasificación de suelos.

El MTC (2014), define que para la clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado clasificación AASHTO y ASTM (SUCS). Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

Montejo Fonseca (2002) de acuerdo la clasificación ASSHTO, los suelos presentan un comportamiento y están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8. En este sistema de clasificación los suelos

inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A-1 al A-7. Estos a su vez se dividen en un total de 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-8. **Suelos granulares:** Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

- **Grupo A-1:** El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también en este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.
 - Subgrupo A-1a: Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.
 - Subgrupo A-1b: Incluye aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa bien graduada, con o sin ligante.
- **Grupo A-2:** Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.
 - Subgrupos A-2-4 y A-2-5: Pertenecen a estos Subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente.
Estos grupos incluyen aquellos suelos gravosos y arenosos (arena gruesa), que tengan un contenido de limo, o índices de Grupo, en exceso a los indicados por el grupo A-1. Así mismo, incluyen aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.
Subgrupos A-2-6 Y 1-2-7: Los materiales de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7, respectivamente.

- **Grupo A-3:** En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye, además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

Suelos finos limo arcillosos: Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz número 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

- **Grupo A-4:** Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz número 200. Además, se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%.
- **Grupo A-5:** Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos y tienen un límite líquido elevado.
- **Grupo A-6:** El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz número 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.
- **Grupo A-7:** Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.
 - Grupo A-7-5: Incluye aquellos materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.
 - Subgrupo A-7-6: Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos y que, además, experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

Y Montejo Fonseca (2002) nos indica que el método SUCS es propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos. Esta clasificación divide los suelos en:

- **Suelos gruesos**

Se dividen en gravas (G) y arenas (S) y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo G, si más del 50% del peso de su fracción gruesa queda retenido en el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo S, en caso contrario.

Tanto las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC) y (SW, SP, SM, SC), respectivamente, como se explica a continuación.

- **Gravas**

Si el porcentaje de finos, contenidos en la grava, es menor del 5% la grava puede ser bien gradada (GW) si cumple que el coeficiente de curvatura (Cc) presente un valor entre 1 y 3 y el coeficiente de uniformidad (Cu) sea mayor de 4, si no cumple los coeficientes anteriores la grava será mal gradada (GP).

En el símbolo GW, el prefijo G (gravel) se refiere a las gravas y W (Well graded) quiere decir bien graduado.

De igual modo el símbolo GP indica gravas pobremente graduadas o mal graduadas (poorly graded gravel).

- Si el porcentaje de finos, contenido en la grava, es mayor del 12% la grava puede ser GC si los finos son arcilla y GM si los finos son limo. El símbolo GM indica gravas limosas, en la que el sufijo M proviene del sueco mo, y el símbolo GC indica gravas arcillosas. El sufijo C indica arcilla (clay).
- Si el porcentaje de finos está entre 5 y 12%, se usa símbolo doble, por ejemplo, GW-GC.

- **Arenas**

Si el porcentaje de finos, contenido en la arena, es menor del 5%, la arena puede ser, bien gradada (SW) si cumple que $1 < C_c < 3$ y $C_u > 6$ si no cumple los coeficientes anteriores, la arena será mal gradada (SP).

- Si el porcentaje de finos, contenido en la arena, es mayor del 12%, la arena puede ser arcillosa (SC), si los finos son arcilla, o limosa (SM) si los finos son limo.
- Si el porcentaje de finos está entre 5 y 12% se usa símbolo doble, por ejemplo, SP - SM.

Los coeficientes de curvatura (C_c) y de uniformidad (C_u) que permiten comparar y calificar granulometrías se definen así:

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$$

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

- **Suelos finos**

El sistema unificado considera los suelos finos divididos en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicos (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez, según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $LI = 50\%$. Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (Low Compressibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (high compressibility). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

- ML = Limos inorgánicos de baja compresibilidad.
- OL = Limos y arcillas orgánicas de baja compresibilidad.
- CL = Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.
- CH = Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.
- MH Limos orgánicos de alta compresibilidad.
- OH Arcillas y limos orgánicos de alta compresibilidad.

Los suelos altamente orgánicos, como las turbas, se designan con el símbolo Pt.

e. Ensayo CBR

El MTC (2014), define el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, que estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm. Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente:

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.
2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100 m.
3. Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de subrasante, según tabla 2.
4. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Tabla 3. Categoría de Subrasante

CARACTERÍSTICAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR<3%
S1: Subrasante insuficiente	De CBR \geq 3% a CBR<6%
S3: Subrasante regular	De CBR \geq 6% a CBR<10%
S4: Subrasante buena	De CBR \geq 10% a CBR<20%
S5: Subrasante muy Buena	De CBR \geq 20% a CBR<30%
S6: Subrasante Excelente	De CBR \geq 30

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC-2014

2.1.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELO

Montejo Fonseca, A. y Montejo Piratova, A. (2018), la estabilización consiste en mezclar al suelo cohesivo una cantidad suficiente de aditivo, para producir reacciones químicas que cementen las partículas de suelo, de tal manera que la resistencia del suelo aumente de forma significativa.

El MTC (2014). define la estabilización de suelos como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. De donde las estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, conocidas como estabilización de suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En el caso de estabilizar una subbase granular o base granular con el fin de obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada.

ANCADE, IECA y ANTER (2013), determina que los suelos estabilizados buscan obtener un material insensible al agua, estable y capaz de resistir a largo plazo las deformaciones producidas por el tráfico. Los objetivos de estabilizar son los siguientes:

- Permitir el aprovechamiento de suelos de deficiente calidad, evitando su extracción y transporte a vertedero, así como el tener que aportar otros diferentes que en ocasiones pueden hallarse a distancias importantes.
- Reducir la sensibilidad al agua de los suelos, y con ello aumentar su resistencia a la erosión, a la helada, y a otros agentes climáticos.
- Permitir la circulación por terrenos intransitables.
- Obtener una plataforma estable de apoyo para el pavimento.

Solminihaç Tampier, Echeverría Gomes y Thenoux Zeballos. (2012), mencionan que la estabilización de suelo busca mejorar las propiedades ingenieriles, mejorando la calidad de la base, subbase o el suelo de subrasante de un pavimento y de este modo mejorar la estabilidad de la estructura completa del pavimento como la estabilidad estructural de caminos no pavimentados. Por otro lado, la estabilización no se debe presentar solamente como medida correctiva sino también como medida preventiva o de seguridad contra condiciones adversas que se desarrollen durante la construcción o durante la vida de la estructura del pavimento.

Kraemer, Pardillo, Rocci, Romana, Sánchez Blanco y Del Val (2004), define a la estabilización del suelo como un proceso que tiene por objeto aumentar su resistencia a la deformación, disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión y los cambios de volumen, etc. Se puede aprovechar suelos pobres e inadecuados y hacerlo suelos firmes. La estabilización puede ser mecánica, por mezcla de dos o más suelos de diferentes características, a fin de obtener un suelo de características suficientes en cuanto granulometría, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad, etc. Uno de los suelos es el existente en la traza y el otro es de aportación para mejorar sus propiedades. Se trata de una técnica de posibilidades muy limitadas y que en la actualidad se utiliza sólo en vías de baja intensidad de tráfico. También, la estabilización se lleva a cabo incorporando aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo. Los más utilizados son el cemento y la cal, pero también se emplean escorias granuladas, cenizas volantes, ligantes hidrocarbonados fluidos, cloruro sódico, cloruro cálcico, etc. En los procesos de estabilización con aditivos, el grado de estabilización que puede alcanzarse depende fundamentalmente del tipo de suelo, del aditivo utilizado, de la cantidad añadida (aunque algunos suelos

de buena granulometría y reducida plasticidad pueden resultar muy modificados aun con proporciones muy bajas de aditivo). Cuando se trata únicamente de mejorar ligeramente las propiedades de un suelo por adición de una pequeña cantidad de un aditivo, es usual hablar de «suelo mejorado con...»; en cambio, la mezcla que ofrece finalmente una resistencia y rigidez apreciables suele designarse como «suelo estabilizado con...».

2.2.3.1 Propiedades del suelo a mejorar

a. Estabilidad volumétrica

Rico Rodríguez, Del Castillo (2005), se refiere por lo general a los problemas relacionados con los suelos expansivos por cambio de humedad, la estabilización suele ofrecer una alternativa de tratamiento para estos suelos, diferente del uso de cargas, capas permeables, introducción de agua, etc. Se trata de transformar la masa de arcilla expansiva bien sea en una masa rígida o en una granulada, con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones internas de expansión.

Montejo Fonseca A. (2002), determina que hay formas de dar solución a los cambios volumétricos de los suelos expansivos y consiste en introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibren la presión de expansión, utilizar membranas impermeables y apoyar la estructura a profundidades tales, que no se registre variación estacional en la humedad. Otro medio que plantea es en modificar la arcilla expansiva transformándola en una masa rígida o granular cuyas partículas estén lo suficientemente ligadas para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, lo cual puede lograrse por medios químicos o térmicos. En estos casos, cuando la capa a estabilizar sea de poco espesor, deberá tenerse en cuenta que el suelo subyacente es aún susceptible de expandirse, pero tales movimientos podrían tolerarse, siempre y cuando la capa estabilizada se mueva en forma uniforme.

b. Resistencia

Montejo Fonseca A. (2002), determina que hay varios métodos de estabilización para mejorar la resistencia de los suelos. La compactación es de hecho una manera

de estabilización mecánica a la que se recurre para incrementar la resistencia de los suelos, pero el empleo de mayores intensidades de compactación no siempre conduce a valores más altos de resistencia. Uno de los ensayos para determinar el índice de resistencia de los suelos es el denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio), este ensayo evalúa la capacidad de soporte de los suelos. Sin embargo, que el empleo de mayores intensidades de compactación no siempre conduce a valores más altos de la resistencia, muy especialmente si se considera la necesidad de mantener dicho parámetro en valores razonables durante tiempos largos, por lo que se está empleando la estabilización del suelo con cemento, cal o aditivos líquidos.

2.2.3.2 Tipos de estabilización

a. Estabilización Mecánica

Rico Rodríguez, Del Castillo (2005), determinaron que la estabilización mecánica consiste en mezclar el suelo con otros, sometiéndolos a lo más común y rutinario de tratamiento mecánico, que es la compactación. Para obtener un buen diseño de mezcla del suelo y obtener las propiedades deseables, la granulometría suele ser el requisito más relevante en la fracción gruesa, en tanto que la plasticidad lo es, en la fina. El tamaño máximo de las partículas de la mezcla tiene importancia, ya que demasiado grandes son difíciles de trabajar y producen superficies muy rugosas. La presencia de contenidos importantes de materiales finos, menores que la malla 40, hace difícil lograr buenas características de resistencia y de deformabilidad, además producen superficies demasiado lisas y fangosas, cuando están húmedas y pulverulentas, cuando están secas.

El MTC (2014), argumenta que en la estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

b. Estabilización química

Hernán de Solminihac, Gerardo Echeverría y Guillermo Thenoux (2012), la estabilización química consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo mezclado con el suelo, normalmente produce un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y en algunos casos, pega los granos entre sí de modo de producir un incremento en su resistencia. Los aditivos comúnmente utilizados para la estabilización de suelos son: cal, cemento Portland y asfalto. La estabilización química produce las siguientes ventajas:

- mejora materiales marginales
- mejora la resistencia
- mejora la durabilidad
- controla el cambio de volumen del suelo
- mejora la trabajabilidad del suelo
- reduce los requerimientos de espesor de los pavimentos
- provee un suelo impermeable
- reduce el polvo

Tabla 4. Condiciones de efectividad de los agentes estabilizadores

Tipo de Suelo	Arcillas finas	Arcillas Gruesas	Limos Finos	Limos Gruesos	Arenas Finas	Arenas Gruesas
Tamaño de partícula (mm)	<0.0006	0.0006 - 0.002	0.002-0.01	0.01-0.06	0.06-0.4	0.4-2.0
Estabilidad Volumétrica	Muy Pobre	Regular	Regular	Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno
Cal	Si	Si	Si			
Cemento	No	No	No	No	Si	Si
Asfalto					Si	Si

Fuente: Norma Técnica CE.020 Estabilización de Suelo y Taludes.

Rico Rodríguez, Del Castillo (2005), Los estabilizantes químicos pueden ser todavía de naturaleza inorgánica y orgánica, así como el cemento, cal y el asfalto, de donde el cemento y el atacan químicamente los componentes del suelo, especialmente los minerales de arcilla, produciéndose en la reacción nuevos compuestos de naturaleza cementante. Los estabilizantes neutros principalmente alteran las propiedades físicas del suelo, como el peso volumétrico.

2.1.4. ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

Solminihaç Tampier, Echeverría Gomes y Thenoux Zeballos (2012) la estabilización de suelos con cemento consiste en agregar cemento Portland a un suelo previamente pulverizado y permitir que esta mezcla se endurezca por la hidratación del cemento. Los principales factores que afectan las propiedades físicas de un suelo cemento son: tipo de suelo, cantidad de cemento, grado de mezclado, tiempo de curado y densidad seca de la mezcla compactada. También indican, que hay un amplio rango de suelos que se pueden llevar a cabo la estabilización con cemento Portland, pero que se tiene que tener en cuenta la mayor eficiencia y economía en comparación con otros aditivos. Si el índice de plasticidad excede en 30%, la mezcla del cemento y el suelo se hace muy difícil. Si el cemento se va a usar para estabilizar suelos de muy alta plasticidad, entonces primero se debe agregar cal para reducir el índice de plasticidad y mejorar la trabajabilidad y luego agregar el cemento.

Tabla 5. Suelos óptimos para ser estabilizados con cemento en forma económica

MAXIMUM SIZE	3"
PASSING N°4 SIEVE ASTM	>50%
PASSING N°40 SIEVE ASTM	> 15 %
PASSING N°400 SIEVE ASTM	< 18 %

Fuente: Highway Research Board, HRB 1943

MTC (2014) define que la resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. Los suelos (A-1, A-2, A-3, A-4 A- 5, A-6 y A-7) pueden estabilizarse con cemento con excepción de los

que contiene altos porcentajes de materia orgánica que perjudiquen el fraguado o la resistencia. Además, el tamaño máximo no podrá ser mayor de 5 cm (2") del espesor de la capa compactada. Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

Kraemer, Pardillo, Rocci, Romana, Sánchez Blanco y Del Val, M.A (2004) determina que los suelos mejorados con cemento son materiales con menor sensibilidad a la acción del agua y mayor capacidad de soporte que los suelos en estado natural. Esta técnica consiste en conseguir explanadas de mejor calidad aprovechando los suelos algo plásticos. También indican que, para que sea un mejoramiento se emplea como máximo el 3% de cemento sobre su masa seca del suelo y la calidad final del material depende de dos factores: la calidad del suelo y la proporción de conglomerante añadido. Por su parte, el material denominado propiamente suelo estabilizado con cemento se obtiene por la mezcla de un suelo granular, suficientemente disgregado, con cemento, agua y eventuales adiciones seguida de una compactación y de un curado adecuados. Sin embargo, a diferencia de los hormigones, los granos del suelo no están envueltos en pasta de cemento, sino que están puntualmente unidos entre sí, por lo que este material tiene una resistencia y un módulo de elasticidad moderados. Las propiedades finales dependen de: del tipo de suelo, las proporciones de cemento, del agua, el curado y la edad de la mezcla compactada.

Das (2015), define que el cemento puede ser utilizado para estabilizar suelos arenosos y arcillosos. Al igual que en el caso de la cal, el cemento ayuda a disminuir el límite líquido y aumentar el índice de plasticidad y manejabilidad de los suelos arcillosos. La estabilización con cemento es eficaz para suelos arcillosos cuando el límite líquido es menor que 45 a 50 y el índice de plasticidad es menor de aproximadamente 25.

Kraemer, C; Pardillo, J.A; Rocci, S.; Romana, M; Sánchez Blanco, V. y Del Val, M.A (2004), afirman que los suelos mejorados con cemento son materiales que cabe seguir calificando como suelos, aunque con menor sensibilidad a la acción del agua y mayor capacidad de soporte que los suelos de partida. Es una técnica destinada

fundamentalmente a conseguir explanadas de mejor calidad aprovechando el mismo suelo de fundación.

Rico y Del Castillo, (1997), define a la estabilización de suelo con cemento como un fenómeno químico que ocurre entre el suelo y el cemento, cuando se llegan a mezclar con el contenido apropiado de agua, que aún no se ha comprendido del todo, pero básicamente parece que consisten en reacciones de cemento con los componentes silicosos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las graves, arenas y limos; este es el efecto básico en los suelos gruesos. Además, el hidrato de calcio que se forma como consecuencia del contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio, muy ávidos de agua, que la toman de la que existe entre las laminillas de arcilla; el resultado de este proceso es la disminución de la porosidad y la plasticidad del suelo arcilloso, así como el aumento en su resistencia y su durabilidad.

2.2.4.1 Materiales para la estabilización

a. Suelo

ANCADE, IECA y ANTER (2013), plantea que los materiales a estabilizar con cemento no deben contener materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales. No debe afectar al fraguado. Todos los suelos pueden estabilizarse con cemento Portland con excepción de los suelos muy plásticos, de alto contenido de materia orgánica o con un alto contenido de sales nocivas para el cemento.

Tabla 6. Clasificación de suelos (SUCS) ASTM D 2487

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO				CLASIFICACIÓN DE SUELOS		
				Símbolo de grupo	Nombre del grupo	
Suelos de grano grueso más del 50% es retenido en la malla N°200	Gravas más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4.	Gravas Limpias menos del 5% pasa la malla N°200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos más del 12% pasa la malla N°200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
			IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa	
		Gravas Limpias y con finos entre el 5 y 12% pasa malla N°200	Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para GW y GC	GW - GC	Grava bien graduada con arcilla	
	Cumple los criterios para GP y GM		GP - GM	grava mal graduada con limo		
		Cumple los criterios para GP y GC	GP - GC	grava mal graduada con arcilla		
	Arenas el 50% o más de la fracción gruesa pasa por la malla N° 4.	Arenas limpias menos del 5% pasa malla N°200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
			$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena más graduada	
		Arena con finos más del 12% pasa malla N°200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	arena limosa	
			IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	arena arcillosa	
		Arenas limpias y con finos entre el 5 y 12% pasa malla N°200	Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para SW y SC	SW - SC	Arena graduada con arcilla	
Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM		Arena mal graduada con limo			
	Cumple los criterios para SP y SC	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla			
Suelos de partículas finas el 50% o más pasa la malla N°200	Limos y arcillosos (LL<50)	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	ML	limo de baja Plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno	< 0.75	OL	Arcilla orgánica
			Limite liquido - no secado		Limo orgánica	
	Limos y arcillosos (LL>50)	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Limite liquido - secado al horno	< 0.75	OH	Arcilla orgánica
			Limite liquido - no secado		Limo Orgánica	
Suelos Altamente Orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro		Pt	Turba		

Fuente: Ing. Iván Matus Lazo y Ing. Marvin Blanco Rodríguez.

Tabla 7. Clasificación de suelos método AASHTO para el diseño de suelo cemento

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES 35% MÍNIMO QUE PASA POR EL TAMIZ DE 0.008MM							SUELOS FINOS MÁS DE 35% PASA POR EL TAMIZ DE 0.08MM						
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7			
Grupo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6		
Símbolo	A1-a	A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6		
Análisis granulométrico														
% que pasa por el tamiz de														
	2mm	máx. 50												
	0.5mm	máx. 30	máx. 50	mín. 50										
	0.08mm	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	
Límites de Atterberg														
	Límite de liquidez			máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40		
	Índice de plasticidad		máx. 6	máx. 6	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	mín. 10	
											IP<LL-30	IP<LL-30		
	Índice de grupo		0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos				
Estimación general del suelo como subrasante	De excelente a bueno							De pasable a malo						

Fuente: Norma Técnica Peruana del MTC – 2013.

Tabla 8. Clasificación de grupo AASHTO.

Clasificación AASHTO	Descripción
A-7-5; A-7-6	Materiales orgánicos y arcillosos de alta compresibilidad.
A-6	Materiales orgánicos y arcillosos de alta compresibilidad.
A-5	Arcillas y limos de baja compresibilidad.
A-4	Arenas arcillosas.
A-3	Arena de pobre gradación.
A-2-6 y A-2-7	Arenas limosas.
A-2-4 y A-2-5	Arenas bien gradadas.
A-1-b	Gravas de pobre gradación.
A-1-a	Gravas bien gradadas.

Fuente: Método de clasificación "American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)".

b. Cemento Portland

ANCADE, IECA y ANTER (2013), define los cementos Pórtland se obtienen por molturación conjunta de su clinker, de adiciones activas, en su caso, y de la cantidad adecuada de un regulador de fraguado, normalmente piedra de yeso natural. El clinker es el producto resultante de calcinar mezclas de calizas y arcillas preparadas adecuadamente, hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes. Los principales componentes del clinker son el silicato tricálcico (SC₃), el silicato bicálcico (SC₂), el aluminato tricálcico (AC₃) y el ferritoaluminato tetracálcico (CAF), a los que hay que añadir otros componentes secundarios. Algunos de ellos, como el silicato y aluminato tricálcico, presentan un calor de hidratación, una velocidad de fraguado y una resistencia inicial elevada. Los cementos Pórtland sin adiciones no suelen utilizarse en estabilizaciones, siendo lo más habitual recurrir a cementos con cenizas volantes, escorias de horno alto u otros tipos de adiciones puzolánicas o con hidraulicidad latente.

Tabla 9. Rango de cemento requerido en estabilización suelo cemento

Clasificación de Suelos AASHTO	Clasificación de Suelos ASTM	Porcentaje de Volumen de los Suelos	Porcentaje de Peso de los Suelos
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP,	5-7	3-5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7-9	5-8
A-2	GM, GC, SM, SC	7-10	5-9
A-3	SP	8-12	7-11
A-4	CL, ML	8-12	7-12
A-5	ML, MH, CH	8-12	8-19
A-6	CL, CH	10-14	9-15
A-7	OH, MH, CH	10 - 14	10-16

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA).

El MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones), en la Sección 306B (2005), recomienda que el cemento utilizado en estabilizaciones de suelos será del Tipo Portland que cumpla con la Norma Técnica Peruana NTP334.090, NTP335.090, Norma AASHTO M 85-12 o la Norma ASTM C 150-12, por tal se usará el cemento Portland Tipo I, que es de uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales.

El cemento portland Tipo I es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150-12, se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso que le brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

c. Agua

ANCADE, IECA y ANTER (2013) determina las características que debe presentar el agua debe ser de acuerdo a la siguiente tabla y también indica que no conviene emplear aguas cuyo pH sea inferior a 5, ni las que contengan aceites, grasas, hidratos de carbono o materias sólidas en suspensión (limos o arcillas).

Tabla 10. Características del agua

CARACTERÍSTICAS	LIMITACIÓN	CAUSA DE LA LIMITACIÓN
PH	≥ 5	Alteraciones en el fraguado y endurecimiento. Disminución de resistencias y de durabilidad.
Sustancias disueltas	≤ 15 g/l	Pérdida de resistencias mecánicas. Fenómenos expansivos a largo plazo.
Contenido en sulfatos	$SO_4 \leq 1$ g/l	Alteraciones en el fraguado y endurecimiento. Pérdidas de resistencia. Merma importante de la durabilidad
Hidratos de carbono	No debe apreciarse	Impide el fraguado o produce alteraciones en el mismo y en el endurecimiento
Sustancias orgánicas solubles en éter	≤ 15 g/l	Graves alteraciones del fraguado y/o endurecimiento. Fuertes caídas de resistencias.

2.2.4.2 Ventajas de la estabilización con cemento

ANCADE, IECA y ANTER (2013), plantea las siguientes ventajas que se tiene al llevar a cabo la estabilización de suelo con cemento:

a. Ventajas medioambientales

- El empleo de suelos de la traza evita explotar nuevos yacimientos y disminuye la necesidad de vertederos.
- La eliminación del transporte de los suelos disminuye las emisiones de CO₂ y otros contaminantes y reduce el daño que generan los combustibles y aceites, así como los impactos colaterales (polvo, erosiones y otros) que provoca sobre las carreteras y flora adyacentes.
- Se trata de una técnica especialmente adaptada al empleo de cementos con alto contenido de adiciones. Esto se traduce en una disminución de las emisiones durante su fabricación, al reducir la cantidad de clinker empleado e incorporar subproductos industriales como escorias o

cenizas volantes, lo que favorece el cumplimiento del protocolo de Kioto y de los compromisos de desarrollo sostenible.

- Es una técnica en frío que consume poca energía. Se disminuyen con ello notablemente la contaminación y las emisiones de vapores nocivos.

b. Ventajas técnicas

- Permite el empleo de los suelos de la traza, mejorando sus características hasta el grado deseado.
- Proporciona una elevada capacidad de soporte a la explanada, disminuyendo las tensiones que llegan a las capas del firme, con lo que aumenta la vida de servicio del mismo.
- Asegura la estabilidad de los suelos, tanto por la reducción de su sensibilidad al agua y a la helada, como por el incremento de su resistencia a la erosión.
- Puede permitir en ciertos casos el paso inmediato del tráfico de obra.
- Se disminuyen las molestias por el tráfico de obra y los daños a la red de carreteras adyacentes debido a que se evita transportar los suelos a vertedero y aportar otros nuevos.

c. Ventajas económicas

- El empleo de los suelos de la traza y la eliminación del transporte suponen una reducción importante en los costos.
- La obtención de cimientos de mayor calidad permite una economía en los firmes y en el volumen total de áridos empleados en los mismos.
- Se reducen los plazos de ejecución dado que la estabilización se realiza con equipos de alto rendimiento y que se disminuye el espesor total de la explanada frente a las alternativas con suelos sin tratar.
- Las ventajas técnicas y ambientales citadas también se traducen en beneficios económicos.

2.2.4.3 Limitaciones de la estabilización con cemento

ANCADE, IECA y ANTER (2013) determina que las limitaciones para llevar a cabo la estabilización con cemento es que el suelo tenga un alto contenido de sulfatos solubles por encima del 1% se puede formar ettringita muy expansiva o de

materia orgánica que puede inhibir el endurecimiento de la mezcla, aunque se puede resolver con altos contenidos de cemento.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Cemento Portland Tipo I**

Cemento de uso general, se emplea cuando no se requiere propiedades especiales.

- **Estabilización**

Proceso físico o químico, mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas de un suelo.

- **Mejoramiento de suelo**

Las técnicas de mejoramiento de suelos consisten en modificar las características de un suelo por una acción física (vibraciones, por ejemplo) o por la inclusión en el suelo de una la mezcla del suelo con un material más resistente.

- **Subrasante**

Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

- **Suelo orgánico**

Suelos esponjosos, con grumos, comprensibles. Prohibido para soporte de estructuras de ingeniería.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN TEMPORAL Y GEOGRÁFICA

La investigación se realizó en la calle Isaac Newton, ubicada en el sector San Camilo parte baja, distrito de Jaén, Provincia de Jaén y Departamento de Cajamarca, durante el periodo de marzo a mayo del año 2023.



Figura 1. Ubicación referencial de la calle Isaac Newton.

Fuente: Adaptado de Google Maps 2023.

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis general

La adición de 2%, 4% y 6% de cemento Portland Tipo I reduce el índice de plasticidad e incrementa el índice de CBR a más de 10% de la subrasante de la Calle Isaac Newton de la Ciudad de Jaén.

3.3. VARIABLES

Variable independiente	Porcentajes de cemento Portland Tipo I
Variables dependientes	Índice de plasticidad
	Proctor modificado
	Índice CBR

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada, ya que utiliza técnicas y procedimientos ya establecidos en otras investigaciones.

3.4.2. Nivel de investigación

La investigación es explicativa – correlacional, ya que busca explicar y relacionar el comportamiento de las variables dependientes (índice de plasticidad, Proctor modificado e índice CBR) en función de la variable independiente (porcentaje de cemento Portland Tipo I).

3.4.3. Diseño

El diseño de esta investigación es de tipo experimental siguiendo los lineamientos y procedimientos establecidos en la Norma Técnica como es el MTC, ASTM y AASHTO.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

Suelos que conforman la subrasante de la Calle Issac Newton de la ciudad de Jaén, Provincia de Jaén y Departamento de Cajamarca.

3.5.2. Muestra

Tres muestras de suelo, obtenidas de cada calicata ubicadas en la Calle Isaac Newton. Se ha realizado excavaciones en cada calicata a 1.50m.

Tabla 11. Ubicación de calicatas en la Calle Isaac Newton.

Subrasante	Cuadra	Símbolo	Coordenadas	
			Este	Norte
Muestra 1	01	C1	743888.00	9368709.00
Muestra 2	04	C3	744072.00	9368776.00
Muestra 3	08	C3	744327.00	9368881.00

Tabla 12. Matriz experimental de diseño y niveles de las variables en estudio.

PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS	% CEMENTO PORTLAND TIPO I			
	0%	2%	4%	6%
Análisis granulométrico	C-1		NP	
	C-2		NP	
	C-3		NP	
Análisis de consistencia (%)	C1-IP	C1-IP-2%	C1-IP-4%	C1-IP-6%
	C2-IP	C2-IP-2%	C2-IP-4%	C2-IP-6%
	C3-IP	C3-IP-2%	C3-IP-4%	C3-IP-6%
Máxima Densidad Seca (gr/cm³)	C1-DMS	C1-DMS-2%	C1-DMS-4%	C1-DMS-6%
	C2-DMS	C2-DMS-2%	C2-DMS-4%	C2-DMS-6%
	C3-DMS	C3-DMS-2%	C3-DMS-4%	C3-DMS-6%
CBR (%)	C1-CBR	C1-CBR-2%	C1-CBR-4%	C1-CBR-6%
	C2-CBR	C2-CBR-2%	C2-CBR-4%	C2-CBR-6%
	C3-CBR	C3-CBR-2%	C3-CBR-4%	C3-CBR-6%

Donde:

- Dosificación = % de Cemento Portland Tipo I
- IP = Índice de Plasticidad.
- Dms = Densidad Seca Máxima.
- CBR = CBR.
- C1 = Calicata 1
- C2 = Calicata 2
- C3 = Calicata 3

El número total de ensayos realizados son 39

3.5.3. Unidad de análisis

Suelo de la subrasante con aditivo y sin aditivo

3.6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación es experimental, por lo que se manipula los porcentajes de cemento (2%, 4% y 6%) para poder controlar una o más variables del estudio (índice de plasticidad, Proctor modificado y CBR), para controlar el aumento o disminución de las variables dependientes y determinar la conducta observada. Los ensayos de mecánica de suelos se realizan de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 13. Ensayos de laboratorio realizados en la investigación

ENSAYO	NORMA TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Contenido de humedad	MTC E 108 ASTM D 2216 AASHTO T 265	Método operativo para determinar el contenido de humedad de un suelo. El contenido de humedad de un suelo, es la relación entre el peso del agua presente en la masa de suelo, al peso de las partículas sólidas del mismo.
Análisis granulométrico	MTC E 107 ASTM D 422 AASHTO T 88	Método para determinar de manera cuantitativa la distribución del tamaño de las partículas de un suelo. También permite determinar los porcentajes de suelo que pasan los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el tamiz 75 μm (No. 200).
Límite líquido	MTC E 110 ASTM D 4318 AASHTO T 89	Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, del suelo secado en horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
Límite plástico	MTC E 111 ASTM D 4318 AASHTO T 90	Es la humedad más baja con la que pueden formarse cilindros de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos cilindros se desintegren.
Proctor modificado	MTC E 115 ASTM D 1557 AASHTO T 180	Método de prueba establecido para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco del suelo, compactados en un molde de 4" o 6" de diámetro con pistón de 10 lb, que cae de una altura de 18", produciendo una energía de compactación de 56 000 lbf – pie ³
CBR	MTC E 132 ASTM D 1883 AASHTO T 193	Método de prueba para determinar un índice de resistencia de los suelos, denominado valor de la relación de soporte, conocido como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de subbase, base y de afirmado de un pavimento

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica para la recolección de datos de esta investigación es la observación, porque se da a través de la observación de laboratorio o controlada, llevándose a cabo en un ambiente controlado en el que las variables independientes (2%, 4% y 6% de cemento) y las variables dependientes (índice de plasticidad, densidad máxima seca y índice CBR) que se intervienen son conocidas y modificadas a voluntad.

3.8. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

El método de análisis datos es cuantitativo, se recopila datos y se procesa a través de método estadístico, de donde los resultados obtenidos serán presentados a través de cuadros, gráficos o figuras, con la finalidad de obtener resultados ordenados y confiables.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1.1. Clasificación del suelo de la calle Isaac Newton

Para determinar las propiedades físicas del suelo de la calle Issac Newton, en estado natural se ha realizado en análisis granulométrico de acuerdo a la norma técnicas ASTM D 244 y se determinó que los suelos de las diferentes calicatas son suelos finos.

Tabla 14. Clasificación de las muestras de suelo natural.

Calle	ISAAC NEWTON		
Cuadra	N°01	N°04	N°08
Profundidad (m)	0.2-2.0	0.2-2.0	0.2-2.0
Calicata	C - 1	C - 2	C - 3
Contenido de humedad (%)	14.90	14.50	20.2
Análisis por tamices (Porcentaje que pasa)			
% que pasa N°10 (%)	81.6	79.4	98.0
% que pasa N°40 (%)	70.6	65.1	85.5
% que pasa N°200 (%)	57.8	55.8	71.3
Características de la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (No. 40)			
Límite Líquido (%)	28	24	29
Límite plástico (%)	20	20	23
Índice de plasticidad (%)	8	4	6
Clasificación			
Clasificación AASHTO (AASHTO M 145)	A-4(5)	A-4(5)	A-4(8)
Clasificación SUCS (ASTM D 2487)	CL Arcilla arenosa de baja plasticidad	CL-ML Arcilla limo arenoso de baja plasticidad	ML Limo de baja plasticidad con arena

Como se puede apreciar en la Tabla N°11, estamos frente a tres tipos de muestras. La muestra de la C-1, de acuerdo a la clasificación SUCS es una arcilla arenosa de

baja plasticidad; la muestra de la C-2, es una arcilla limo arenoso de baja plasticidad y de la muestra C-3 es un limo de baja plasticidad con arena. De acuerdo a la clasificación ASSTHO, las tres muestras son un suelo regular – malo.

Con la finalidad de determinar el CBR 95% para subrasantes, se realizó el ensayo Proctor estándar, obteniendo la densidad máxima seca y el óptimo contenido de humedad.

Tabla 15. Propiedades mecánicas del suelo de natural

N° de Muestra	Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	Contenido de humedad Óptimo (%)	CBR al 95% (%)	Hinchamiento (%)
C-1	1.693	10.0	3.8	1.38
C-2	1.742	11.1	4.4	0.97
C-3	1.688	8.4	4.0	0.95

De la table 12. Se puede observar presenta una subrasante pobre e inadecuados en las tres diferentes muestras de suelo.

4.1.2. Influencia del cemento en el límite de consistencia.

A cada muestra, se le ha estabilizado con diferentes porcentajes (2%,4% y 6%) de cemento Portland Tipi I para determinar la influencia del cemento con el suelo y determinar Los límites de consistencia o Limites de Atterberg

Tabla 16. Límites de Consistencia del suelo con Cemento Portland Tipo I

Calicatas	% Cemento Portland Tipo I								
	2%			4%			6%		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1	27	20	7	26	21	5	24	21	3
C-2	24	21	3	23	21	2	22	20	2
C-3	28	23	5	27	23	4	26	23	3

4.1.3. Influencia del cemento en el índice CBR.

Tabla 17. Propiedades mecánicas C-1 estabilizado con cemento.

Calle	ISAAC NEWTON		
Cuadra	N°01		
Profundidad (m)	0.4-2.0		
Calicata	C - 1		
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO		
Muestra	C1-MDS-2%	C1-MDS-4%	C1-MDS-6%
Densidad máxima seca (gr/cm ²)	1.807	1.904	1.997
Humedad óptima (%)	14	15	15.9
ENSAYO	CBR		
Muestra	C1-CBR-2%	C1-CBR-4%	C1-CBR-6%
CBR AL 95% a 1'' (%)	5.9	7.2	11.8

Tabla 18. Propiedades mecánicas C-2 estabilizado con cemento.

Calle	ISAAC NEWTON		
Cuadra	N°04		
Profundidad (m)	0.2-2.0		
Calicata	C - 2		
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO		
Muestra	C2-MDS-2%	C2-MDS-4%	C2-MDS-6%
Densidad máxima seca (gr/cm ²)	1.813	1.868	2.036
Humedad óptima (%)	13.3	14.6	15.7
ENSAYO	CBR		
Muestra	C2-CBR-2%	C2-CBR-4%	C2-CBR-6%
CBR AL 95% a 1'' (%)	6.3	8.8	11.6

Tabla 19. Propiedades mecánicas C-3 estabilizado con cemento.

Calle	ISAAC NEWTON		
Cuadra	N°08		
Profundidad (m)	0.2-2.0		
Calicata	C - 3		
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO		
Muestra	C2-MDS-2%	C2-MDS-4%	C2-MDS-6%
Densidad máxima seca (gr/cm ²)	1.817	1.865	2.094
Humedad óptima (%)	12.5	13.8	14.8
ENSAYO	CBR		
Muestra	C3-CBR-2%	C3-CBR-4%	C3-CBR-6%
CBR AL 95% a 1'' (%)	7.7	10.5	14.4

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los objetivos trazados en esta investigación, con la finalidad de determinar la influencia del cemento en la resistencia del suelo de la subrasante de la calle Isaac Newton al estabilizarlas con cemento Portland Tipo I, se determinó:

De acuerdo a la Tabla 11 y Tabla 12, el estudio granulométrico de las tres muestras de suelo natural son suelos finos, la C-1 de acuerdo a la clasificación ASSTHO es un suelo regular – malo y de acuerdo a la clasificación SUCS es un limo de baja plasticidad con arena; para C-2 acuerdo a la clasificación ASSTHO es un suelo regular – malo y de acuerdo a la clasificación SUCS es una arcilla limo arenosa de baja plasticidad y para la muestra C-3 1 de acuerdo a la clasificación ASSTHO es un suelo regular – malo y de acuerdo a la clasificación SUCS es una arcilla de baja plasticidad. De acuerdo al estudio de análisis de consistencia, las tres muestras presentan un índice de plasticidad bajo. El Proctor modificado se realiza en un molde de Proctor estándar (ASTM D-1557, MTC-115) por tratarse de un suelo fino, determinando así la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad para cada muestra. El valor del CBR al 95% para subrasantes, determino que las tres muestras presentan una **SUBRASANTE POBRE**.

La muestra de suelo más desfavorable en la subrasante de la Calle Isaac Newton, sector San Camilo de la Ciudad de Jaén, es la que se obtuvo de la muestra C-1.

Al realizar la estabilización del suelo con cemento con diferentes porcentajes (2%,4% y 6%) se determinó que:

En la tabla 14, se puede observar el cambio de propiedades mecánicas del suelo al estabilizarlo con cemento en tres diferentes porcentajes de cemento Portland Tipo I (2%,4% y 6%), presentando un cambio favorable en las propiedades del suelo estabilizado.

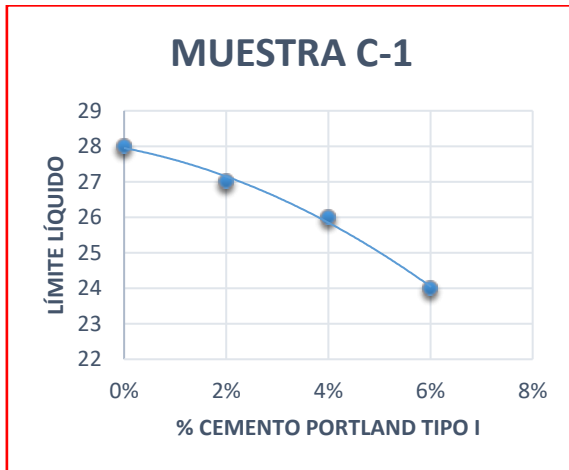


Figura 1. Límite Líquido Vs % cemento Portland

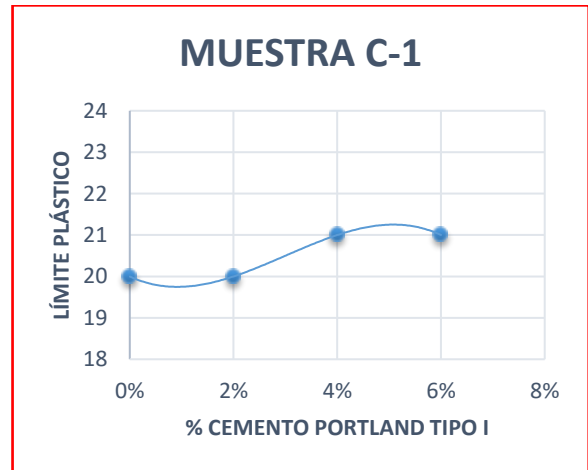


Figura 2. Límite Plástico Vs % Cemento Portland Tipo I

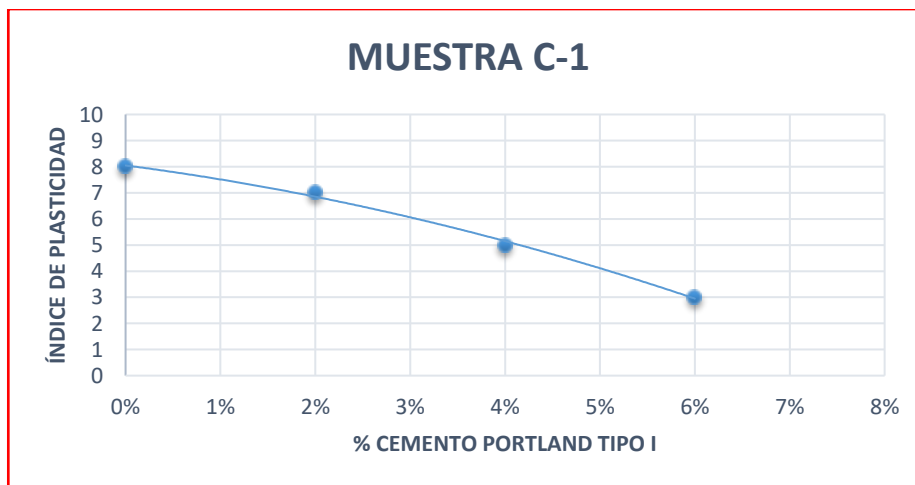


Figura 3. Índice de plasticidad VS %Cemento Portland Tipo I

En la muestra C-1, a más porcentaje de cemento tiende a bajar el límite líquido (figura 2), a mayor porcentaje de cemento aumento de Límite plástico (figura 3) y a mayor porcentaje de cemento el índice de plasticidad disminuye favorablemente (figura 4).

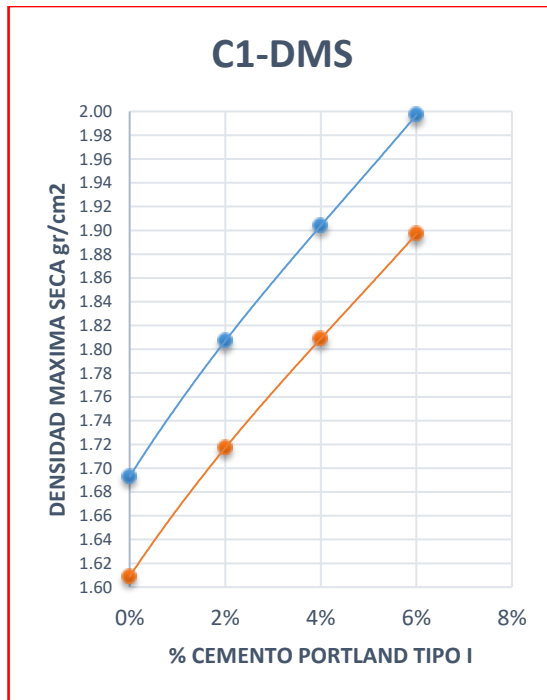


Figura 4. Densidad máxima seca VS % Cemento Portland Tipo I - C1-DMS

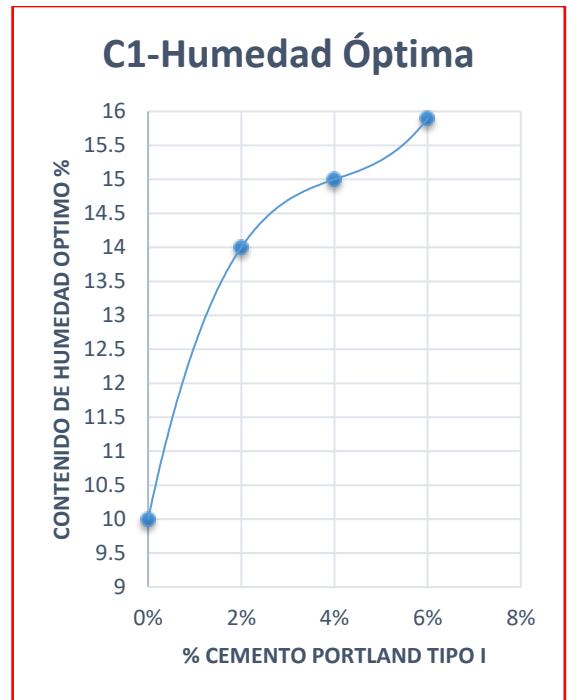


Figura 5. Contenido de Humedad Optimo % Cemento Portland Tipo I - C1-DMS

La Densidad máxima seca a mayor porcentaje (%) de cemento, mayor aumento de densidad (figura 5) y mayor contenido de humedad optima (figura 6).

El CBR al 95% para subrasantes estabilizado con cemento (Figura 7): al 2% presenta un efecto de 55.26% de incremento, al 4% incrementa en un 89.47% y al 6% incrementa 210.56%, con respecto al CBR al 95% del suelo natural. Transformando una subrasante pobre en una subrasante regular al estabilizarlo con el 2% - 4% con cemento y es una subrasante buena al estabilizarlo con 6% cemento Portland Tipo I.

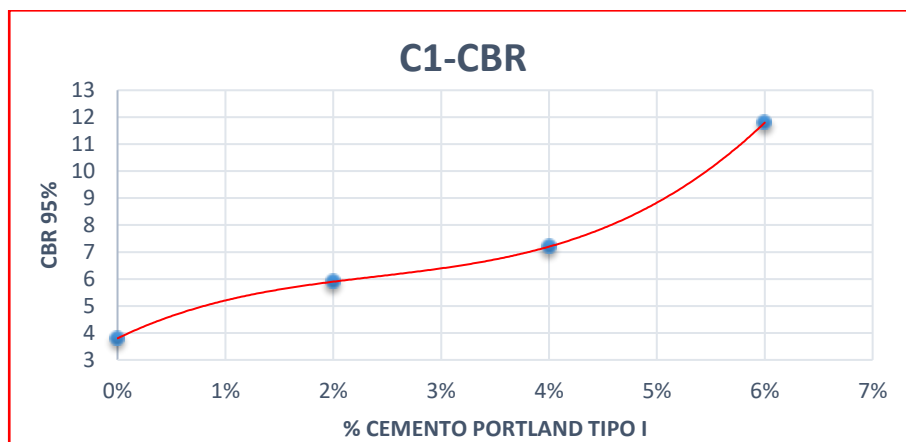


Figura 6. CBR VS % Cemento Portland Tipo I. Muestra C1-CBR

En la tabla 15, se indica todas las propiedades del suelo al ser estabilizados con diferentes porcentajes de cemento Portland Tipo I (2%, 4% y 6%) con respecto al suelo natural en subrasante. A mayor porcentaje de cemento el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad tiende a disminuir 4.17% en promedio (figura 8, 9 y 10).

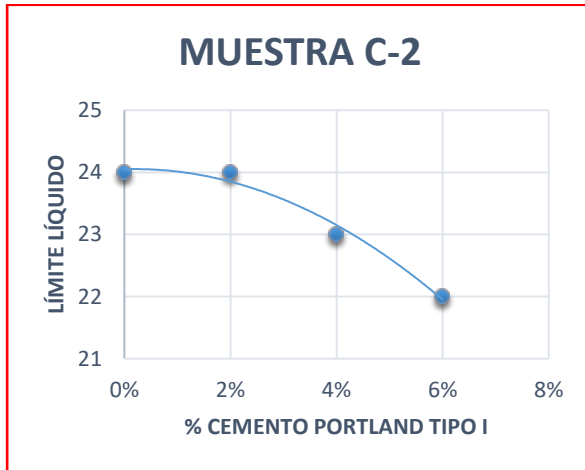


Figura 7. Límite Líquido Vs % cemento Portland - C2-IP

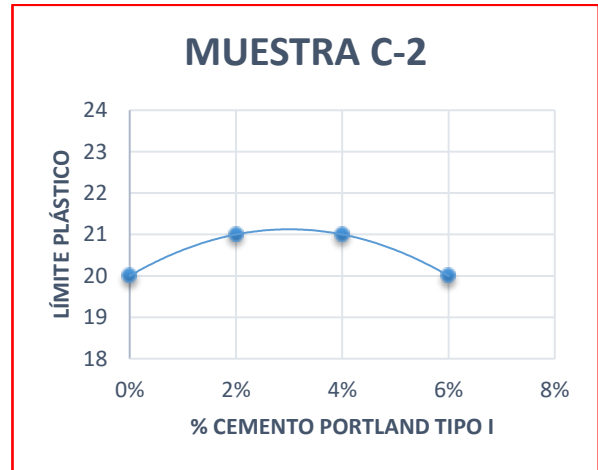


Figura 8. Límite Plástico Vs % Cemento Portland Tipo I - C2-IP

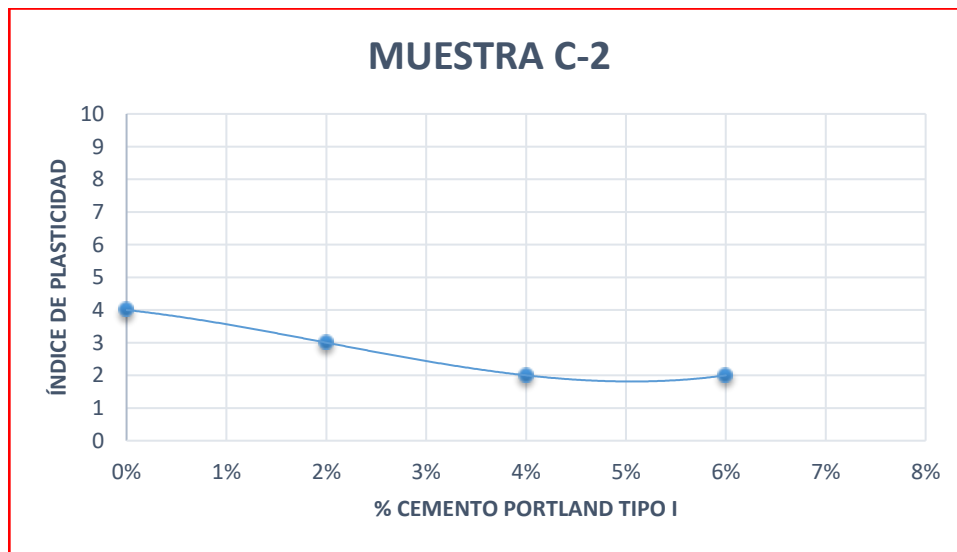


Figura 9. Índice de plasticidad VS %Cemento Portland Tipo I – C2-IP

En la muestra C2 la densidad máxima seca al 95%, se determinó: a mayor porcentaje (%) de cemento Portland Tipo I mayor aumento de densidad (figura 11 y a mayor porcentaje de cemento Portland Tipo I mayor contenido de humedad óptima (figura 12).

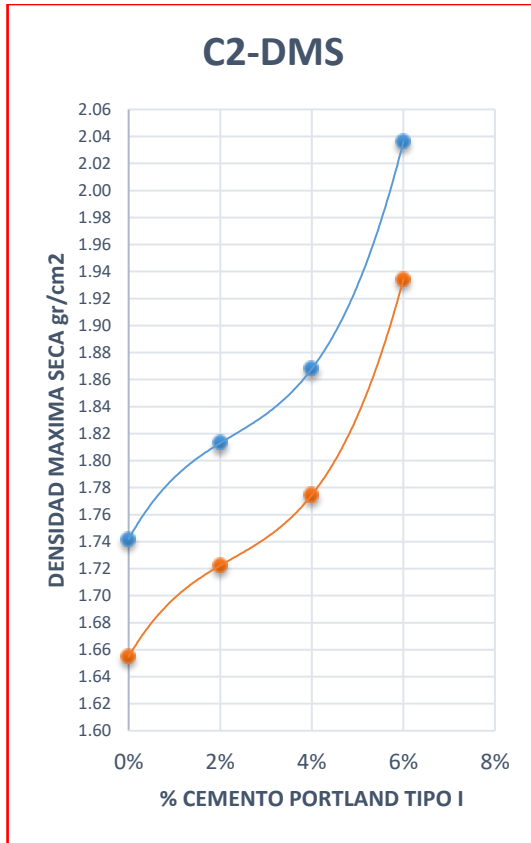


Figura 10. Densidad máxima seca VS % Cemento Portland Tipo I - C2-DMS

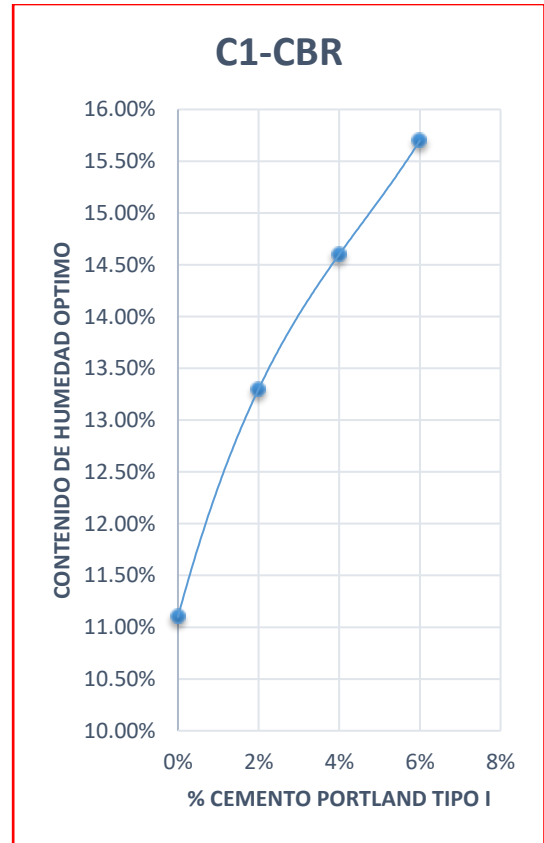


Figura 11. Contenido de Humedad Optimo % Cemento Portland Tipo I – C2-DMS

El CBR al 95% para subrasantes estabilizado con cemento (Figura 13): al 2% presenta un efecto de 43.18% de incremento, al 4% incrementa en un 100% y al 6% incrementa 163.64%, con respecto al CBR al 95% del suelo natural. Transformando una subrasante pobre en una subrasante regular al estabilizarlo con el 2% al 4% con cemento y es una subrasante buena al estabilizarlo con 6% cemento Portland Tipo I.

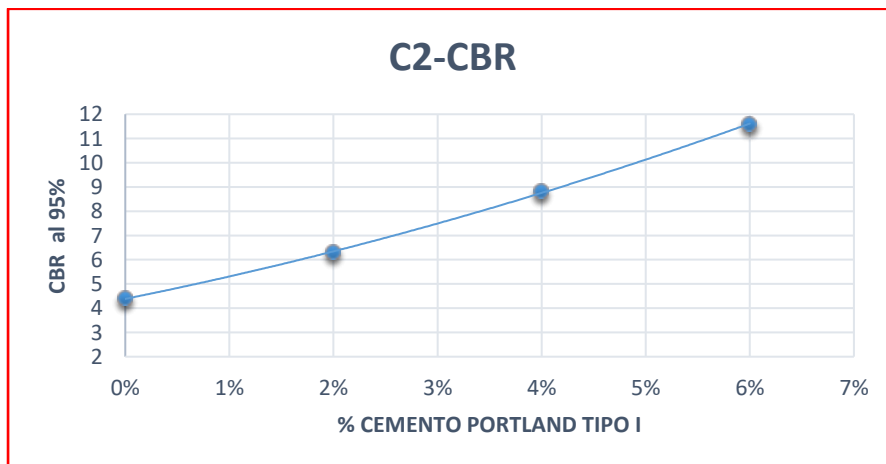


Figura 12. CBR VS % Cemento Portland Tipo I. Muestra C2-CBR

En la tabla 16. se indica todas las propiedades del suelo al ser estabilizados con diferentes porcentajes de cemento Portland Tipo I (2%, 4% y 6%) con respecto al suelo natural en subrasante. A mayor porcentaje de cemento el límite líquido (figura14) e índice de plasticidad (figura 16) tiende a disminuir 4.17% en promedio y con el índice de plástico se a mayor porcentaje de cemento se mantiene constante.

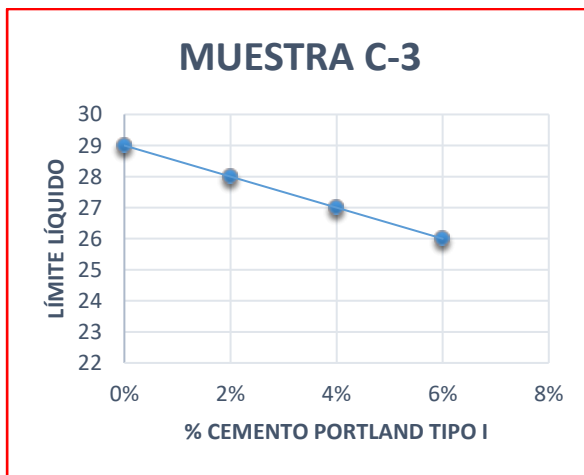


Figura 13. Límite Líquido Vs % cemento Portland – C3-IP.

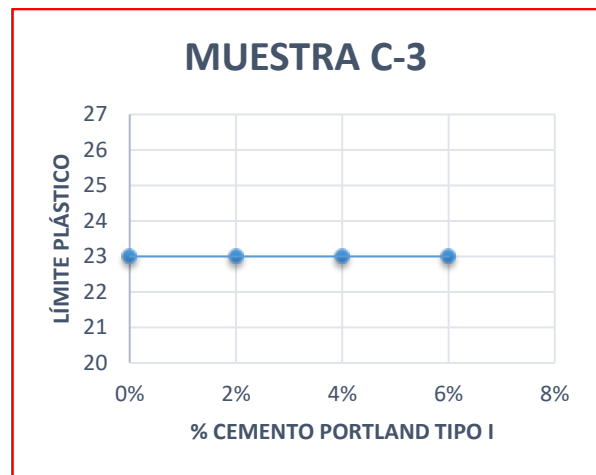


Figura 14. Límite Plástico Vs % Cemento Portland Tipo - C3-IP

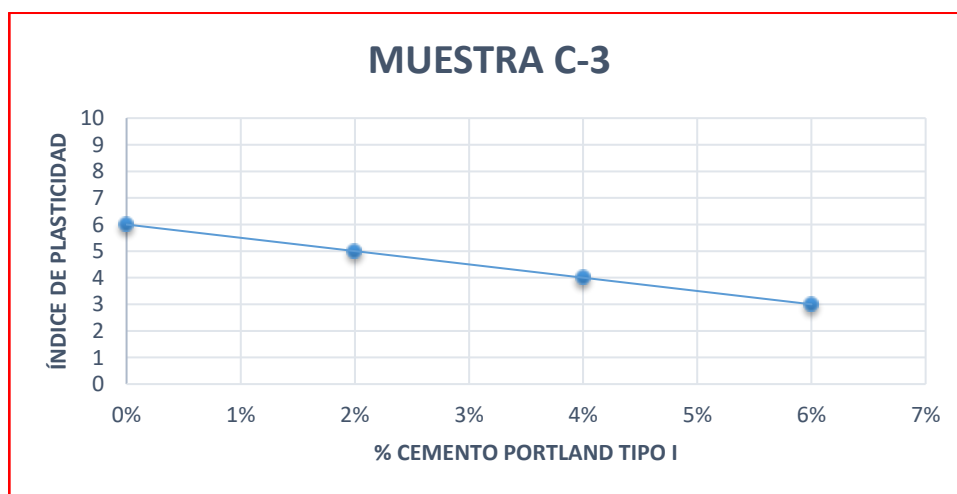


Figura 15. Índice de plasticidad VS %Cemento Portland Tipo I – C2-IP

En la muestra C3 la densidad máxima seca al 95%, se determinó: a mayor porcentaje (%) de cemento Portland Tipo I mayor aumento de densidad (figura 17) y a mayor porcentaje de cemento Portland Tipo I mayor contenido de humedad optima (figura 18).

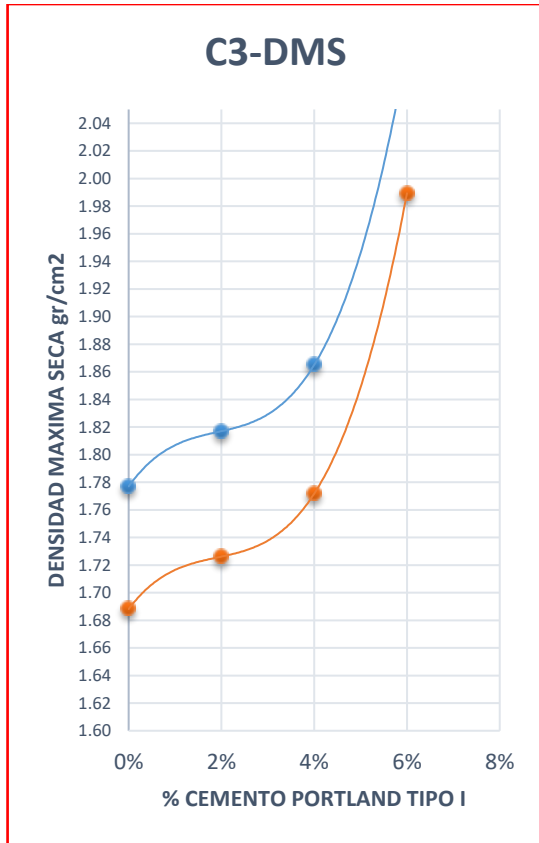


Figura 16. Densidad máxima seca VS % Cemento Portland Tipo I - C3-DMS

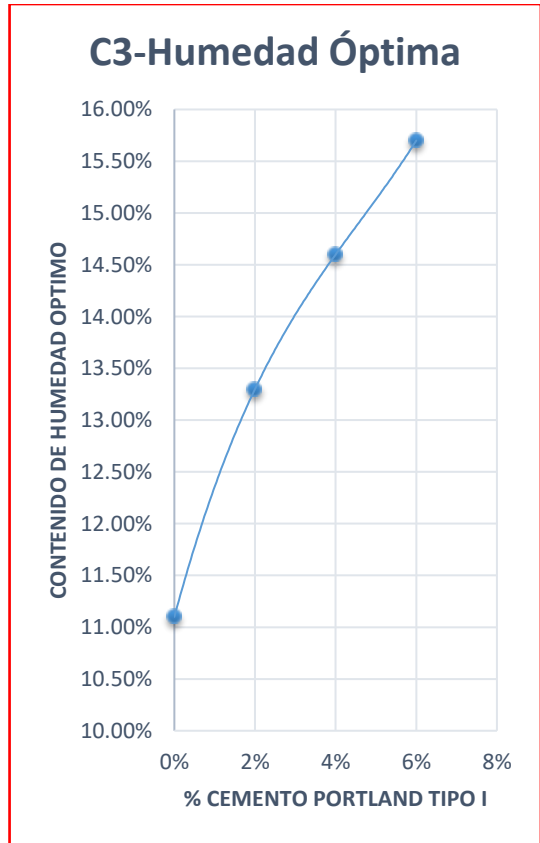


Figura 17. Contenido de Humedad Óptimo % Cemento Portland Tipo I – C3-DMS

El CBR al 95% para subrasantes estabilizado con cemento (Figura 19): al 2% presenta un efecto de 92.5% de incremento, al 4% incrementa en un 162.5% y al 6% incrementa 260.0%, con respecto al CBR al 95% del suelo natural. Transformando una subrasante pobre en una subrasante regular al estabilizarlo con el 2% al 4% con cemento y es una subrasante buena al estabilizarlo con 6% cemento Portland Tipo I.

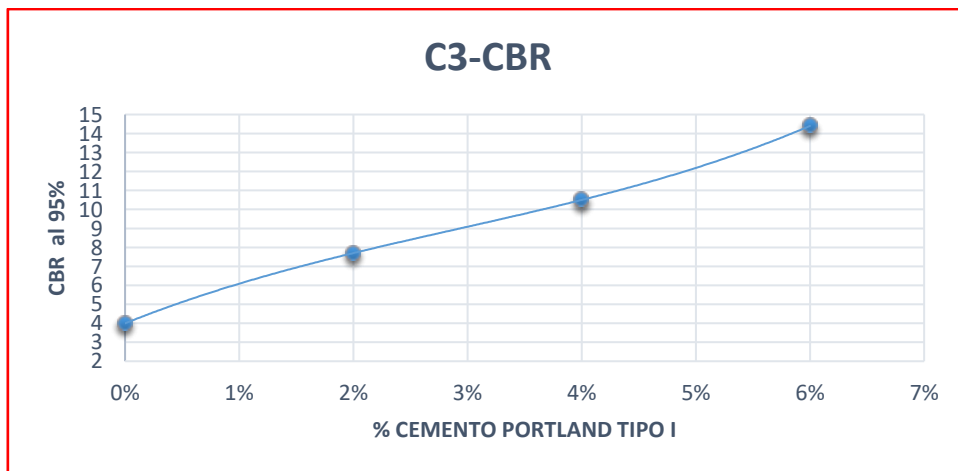


Figura 18. CBR VS % Cemento Portland Tipo I. Muestra C3-CBR

4.3. CONTRATACIÓN DE HIPÓTESIS

La adición de cemento Portland Tipo I al 2%, 4% y 6% en la subrasante de la calle Isaac Newton, Sector San Camilo – Jaén, el índice de plasticidad disminuye a mayor porcentaje de cemento, en la muestra C-1 y C-2 disminuye un 25%, en la muestra C-3 disminuye 16.67% en promedio con respecto al índice de plasticidad del suelo natural. Por el contrario, el CBR se incrementa más del 10% obteniéndose valores para la muestra C1-CBR-6%=11.8%, C2-CBR-6%=11.6% y C3-CBR-6%=14.4%.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La influencia del cemento Portland Tipo I, en la estabilización del suelo a nivel de subrasante de la Calle Isaac Newton, se reflejó en la reducción del índice de plasticidad y en el incremento del índice CBR.
- Las propiedades físico – mecánicas del suelo natural: muestra C-1, es un suelo fino arcilloso arenoso de baja plasticidad (SUCS) y A-4(5) (AASHTO), presenta un índice CBR 3.8% es la que presenta las condiciones más desfavorables con respecto a las otras muestras. La muestra C-1 presenta una subrasante Pobre.
- Las propiedades físico-mecánicas del suelo estabilizado con cemento (2%, 4% y 6%), presenta una disminución del índice de plasticidad a mayor incremento de cemento y el índice CBR con el 2% es 5.9%, CBR con 4% es 7.2% y con el 6% el CBR es 11.8%. Con el 2% y 4% se obtiene subrasante regular y con el 6% de cemento Portland tipo I, se obtiene una subrasante buena.
- Las propiedades físico – mecánicas del suelo tiende a cambiar de manera favorable mejorando las propiedades del suelo, aumentado la resistencia del suelo es un 55.26% al 2% de cemento, al 4% incrementa en un 89.47% y al 6% incrementa 210.56% con respecto al índice CBR del suelo natural, y disminuyendo en índice de plasticidad en un 12.5% por cada porcentaje de cemento Portland tipo I que se agregue.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos con diferentes tipos de suelos para obtener una base de datos más amplia de cómo se comporta un suelo al ser estabilizado con cemento.
- Hacer un estudio de suelo más completo para determinar la resistencia a las heladas y determinar el agrietamiento cuando se encuentra la muestra a elevadas temperaturas. Ya que la estabilización de suelo con cemento también se puede utilizar como carpeta de rodadura directa de una carretera.
- Realizar un estudio de comparación de propuesta económica y determinar cual es más factible llevar a cabo en un proyecto: estabilizar con cemento o realizar otro tipo de mejoramiento, considerando diferentes factores como eficiencia, rentable y sostenible cuidando el impacto ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCADE, IECA y ANTER. 2013. Manual de estabilización de suelos con cemento y cal. Madrid, España. IECA. 217 p.
- Castro Gonzales, ML; Navarro Pereyra, JD (2020). 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, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. 85p.
- Celi Macías, AA y Mendoza Alcívar, Jean Pierre (2022). Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo”, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. 15p.
- Crespo Villalaz, C. 2004. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 5 ed. Ciudad de México, México, Limusa. 652 p.
- Cuzco Zavaleta, S. (2019). Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland Tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019. Universidad Cesar Vallejos. Lima, Perú. 110p.
- Das, B.M. 2015. Fundamentos de ingeniería geotécnica Cuarta edición. México. Cengage Learning Editores, S.A. 636 p.
- ICPA (Instituto del Cemento Portland Argentino). 2016. Manual de pavimentos urbanos de hormigón (en línea). Buenos Aire, Argentina. ICPA. Jul. 2016. 162 p. Disponible en https://icpa.org.ar/wpcontent/uploads/2019/04/Manual_Pavimentos_Urbanos_de_Hormigon.pdf
- Juárez Badillo, E; Rico Rodríguez, A. 2005. Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de suelos 3 ed. Ciudad de México, México, Limusa. 629 p.
- Kraemer, C; Pardillo, J.A; Rocci, S.; Romana. M; Sánchez Blanco, V. y Del Val, M.A. 2004. Ingeniera de carreteras Vol. II. Madrid, España. McGraw-Hill. 555 p.
- Montejo Fonseca, A y Montejo Piratova, A (2018). Estabilización de suelo. Bogotá, Colombia. Ediciones de la U. 350 p.

- Montejo Fonseca, A. 2002. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. 2 ed. Bogotá, Colombia, Universidad Católica de Colombia. 733 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. abr. 2014. 301 p. Disponible en https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- Núñez Flores, M y Olivera Díaz, J., 2021. Estabilización Química de Suelos Arcillosos Para Conformación de Estructura de Pavimento Rígido Utilizando Cemento Portland Tipo I Jaén - Cajamarca, Universidad Cesar Vallejos. Callao, Perú. 38p.
- Rico Rodríguez, A; del Castillo, H. 2005. La Ingeniería de Suelos en las vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Ciudad de México, México, Limusa. v. 2, 644 p.
- Solminihac Tampier, H., Echeverría Gomes, G., Thenoux Zeballos. G. 2012. Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 24p. Disponible en: https://www.academia.edu/78435985/Estabilizaci%C3%B3n_Qu%C3%ADmica_de_Suelos_Aplicaciones_en_la_construcci%C3%B3n_de_estructuras_de_pavimentos

ANEXOS

ANEXO 01 ENSAYOS DE SUELO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

Procedencia	Terreno natural
Muestra	C-1
Profundidad	0.4-2.00m
Descripción	CALLE ISAAC NEWTON CDRA 01

Tabla 20.. Análisis granulométrico, C-1.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				
6"	152.400				
5"	127.000				
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	60.350				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	80.2	4.8	4.8	95.2
3/4"	19.000	8.0	0.5	5.3	94.7
1/2"	12.500	49.8	3.0	8.3	91.7
3/8"	9.500	34.4	2.1	10.3	89.7
1/4"	6.350	35.5	2.1	12.5	87.5
Nº 4	4.750	18.3	1.1	13.6	86.4
Nº 10	2.000	79.7	4.8	18.4	81.6
Nº 20	0.840	83.3	5.0	23.3	76.7
Nº 40	0.425	101.2	6.1	29.4	70.6
Nº 60	0.250	85.2	5.1	34.5	65.5
Nº 100	0.150	59.9	3.6	38.1	61.9
Nº 200	0.075	67.2	4.0	42.2	57.8
< Nº 200	FONDO	964.3	57.8	100.0	

OBSERVACIONES:	
Grava > 2"	: 0.0
Grava 2" - Nº4	: 13.6
Arena Nº4 - Nº200	: 28.6
Finos < Nº200	: 57.8
%>3"	: 0.0%

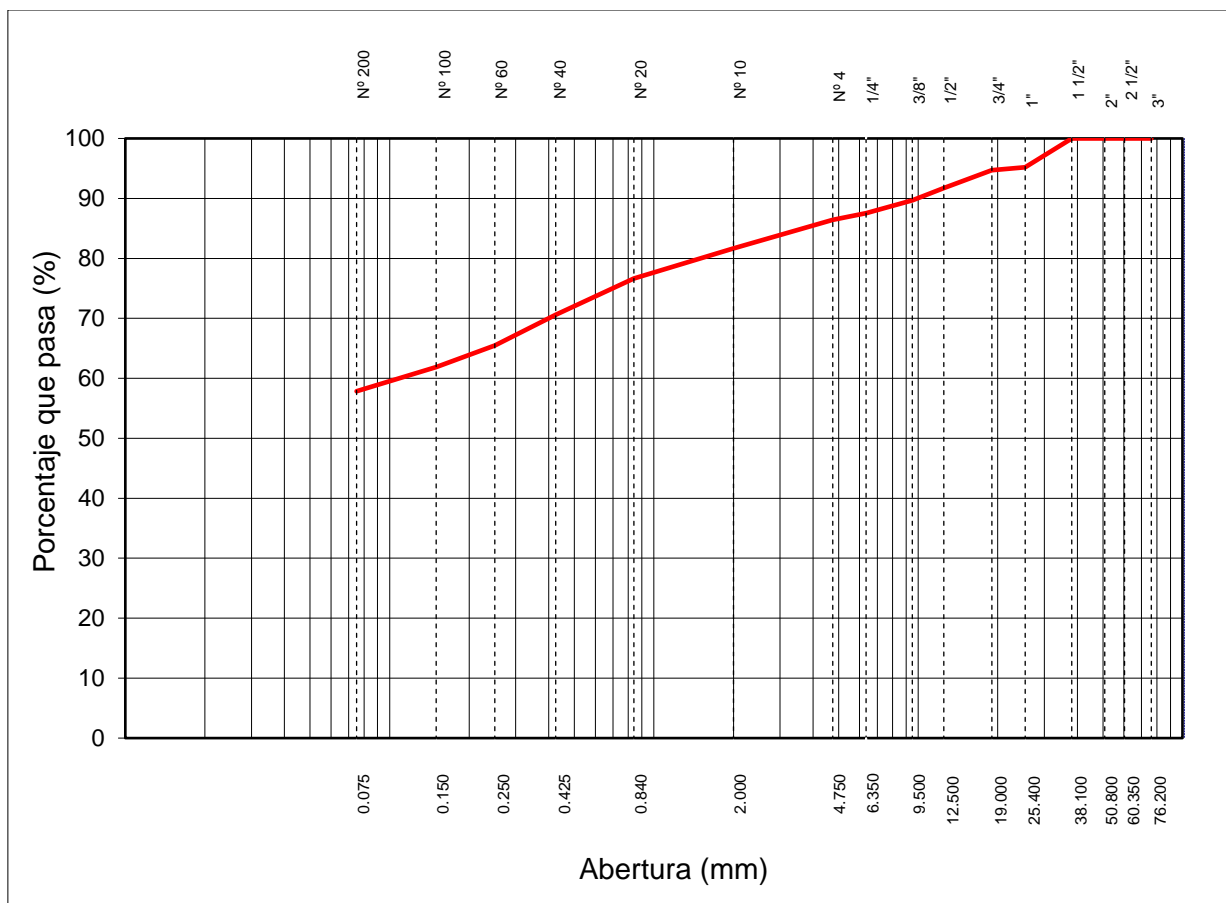


Figura 19 Análisis granulométrico, C-1

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
MTC E 108 - A.S.T.M. D 2216**

Tabla 21. Contenido de humedad, C-1.

N.º DE ENSAYOS			
Nº TARA		1	2
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	(gr.)	2376.0	750.0
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	2067.0	653.5
PESO TARA	(gr.)		
PESO AGUA	(gr.)	309.0	96.5
PESO SUELO SECO	(gr.)	2067.0	653.5
CONTENIDO DE HUMEDAD	(gr.)	14.9	14.8
PROMEDIO (%)		14.9	

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E
INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS**

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

Tabla 22. Límite Líquido, C-1.

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		32	34	33
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	34.30	34.70	31.50
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	30.00	30.30	28.20
PESO DE AGUA	(g)	4.30	4.40	3.30
PESO DEL TARRO	(g)	16.00	15.00	15.80
PESO DEL SUELO SECO	(g)	14.00	15.30	12.40
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.71	28.76	26.61
NUMERO DE GOLPES		13	22	34

Tabla 23. Límite plástico, C-1.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		29	12
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	30.20	10.56
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	28.70	9.93
PESO DE AGUA	(g)	1.50	0.63
PESO DEL TARRO	(g)	21.30	6.80
PESO DEL SUELO SECO	(g)	7.40	3.13
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.27	20.13



Figura 20. curva de limite líquido, C-1.

Tabla 24. Índice Plástico, C-1.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	27%
LIMITE PLASTICO	23%
INDICE DE PLASTICIDAD	5%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C1-IP-2%

Tabla 25. Limite liquido con el 2% cemento, C-1.

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		19	20	21
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	45.56	45.59	43.18
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	39.60	39.89	38.18
PESO DE AGUA	(g)	5.96	5.70	5.00
PESO DEL TARRO	(g)	18.84	18.93	19.32
PESO DEL SUELO SECO	(g)	20.76	20.96	18.86
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	28.71	27.19	26.51
NUMERO DE GOLPES		13	22	30

Tabla 26. Limite plástico con el 2% cemento, C-1.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		1	5
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.20	10.17
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.66	9.62
PESO DE AGUA	(g)	0.54	0.55
PESO DEL TARRO	(g)	6.98	6.91
PESO DEL SUELO SECO	(g)	2.68	2.71
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.15	20.30

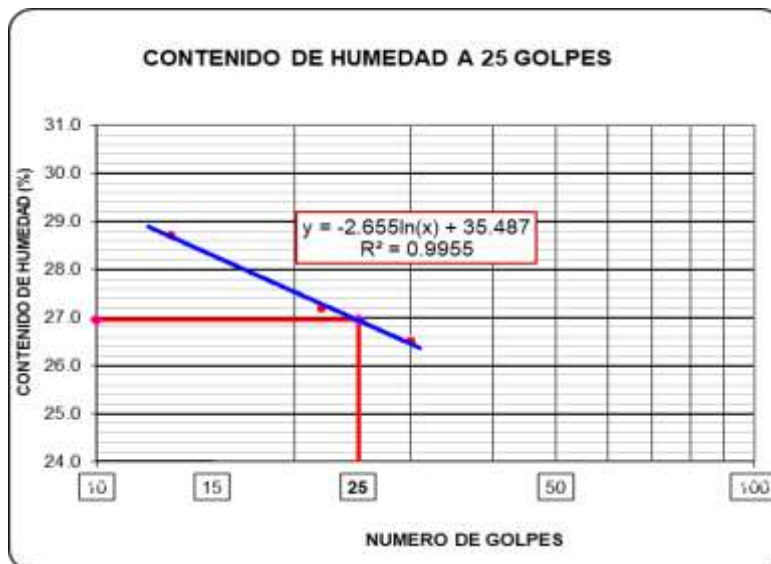


Figura 21. Curva de límite líquido con el 2% de cemento, C-1

Tabla 27. Índice Plástico, C1-IP-2%

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	27%
LIMITE PLASTICO	20%
INDICE DE PLASTICIDAD	7%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C1-IP-4%

Tabla 28. Límite líquido con el 4% cemento, C-1

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		8	2	14
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	33.20	40.00	42.61
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	29.30	35.10	37.40
PESO DE AGUA	(g)	3.90	4.90	5.21
PESO DEL TARRO	(g)	15.24	16.42	17.26
PESO DEL SUELO SECO	(g)	14.06	18.68	20.14
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	27.74	26.23	25.87
NUMERO DE GOLPES		11	23	31

Tabla 29. Limite plástico con el 4% cemento, C-1.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		11	7
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.14	10.37
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.54	9.76
PESO DE AGUA	(g)	0.60	0.61
PESO DEL TARRO	(g)	6.70	6.90
PESO DEL SUELO SECO	(g)	2.84	2.86
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	21.13	21.33



Figura 22. Curva de límite líquido con el 4% de cemento, C-1

Tabla 30. Índice Plástico, C1-IP-4%

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	26%
LIMITE PLASTICO	21%
INDICE DE PLASTICIDAD	5%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C1-IP-6%

Tabla 31. Límite líquido con el 6% cemento, C-1

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		17	51	18
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	37.40	34.40	32.58
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	33.20	31.40	29.60
PESO DE AGUA	(g)	4.20	3.00	2.98
PESO DEL TARRO	(g)	17.26	19.38	16.92
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.94	12.02	12.68
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.35	24.96	23.50
NUMERO DE GOLPES		12	21	32

Tabla 32. Limite plástico con el 6% cemento, C-1.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		15	81
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.28	10.86
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.62	10.47
PESO DE AGUA	(g)	0.66	0.39
PESO DEL TARRO	(g)	6.44	8.61
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.18	1.86
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	20.75	20.97

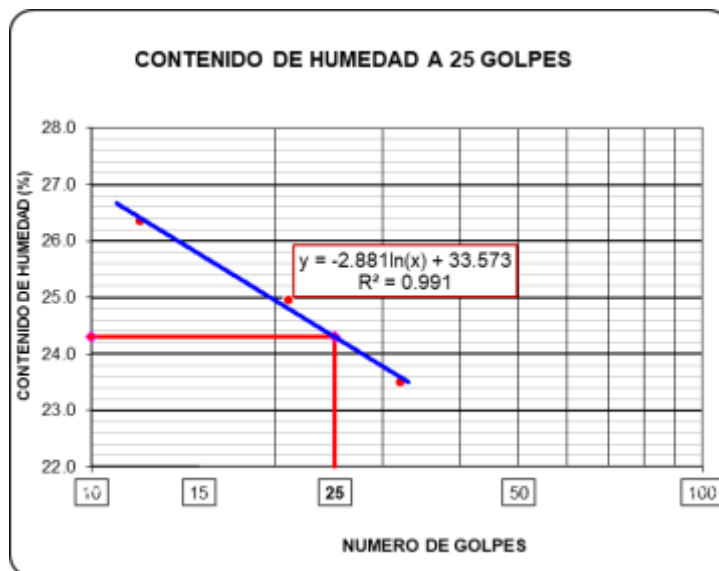


Figura N° 23. Curva de límite líquido con el 6% de cemento, C-1

Tabla 33. Índice Plástico, C1-IP-6%

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	24%
LIMITE PLASTICO	21%
INDICE DE PLASTICIDAD	3%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C1-DMS-0%

Tabla 34. Proctor modificado, C-1.

Número de Ensayo		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5500	5630	5680	5610
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1590	1720	1770	1700
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.677	1.814	1.867	1.793
Recipiente N.º		25	29	24	17
Peso del suelo húmedo + tara	gr	105.50	114.20	112.90	147.70
Peso del suelo seco + tara	gr	100.80	106.80	104.30	134.00
Tara	gr	21.10	21.40	21.60	21.40
Peso de agua	gr	4.70	7.40	8.60	13.70
Peso del suelo seco	gr	79.70	85.40	82.70	112.60
Contenido de agua	%	5.90	8.67	10.40	12.17
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.584	1.670	1.691	1.599
Densidad máxima	(gr/cm ³)		1.693		
Humedad óptima	(%)		10.0		

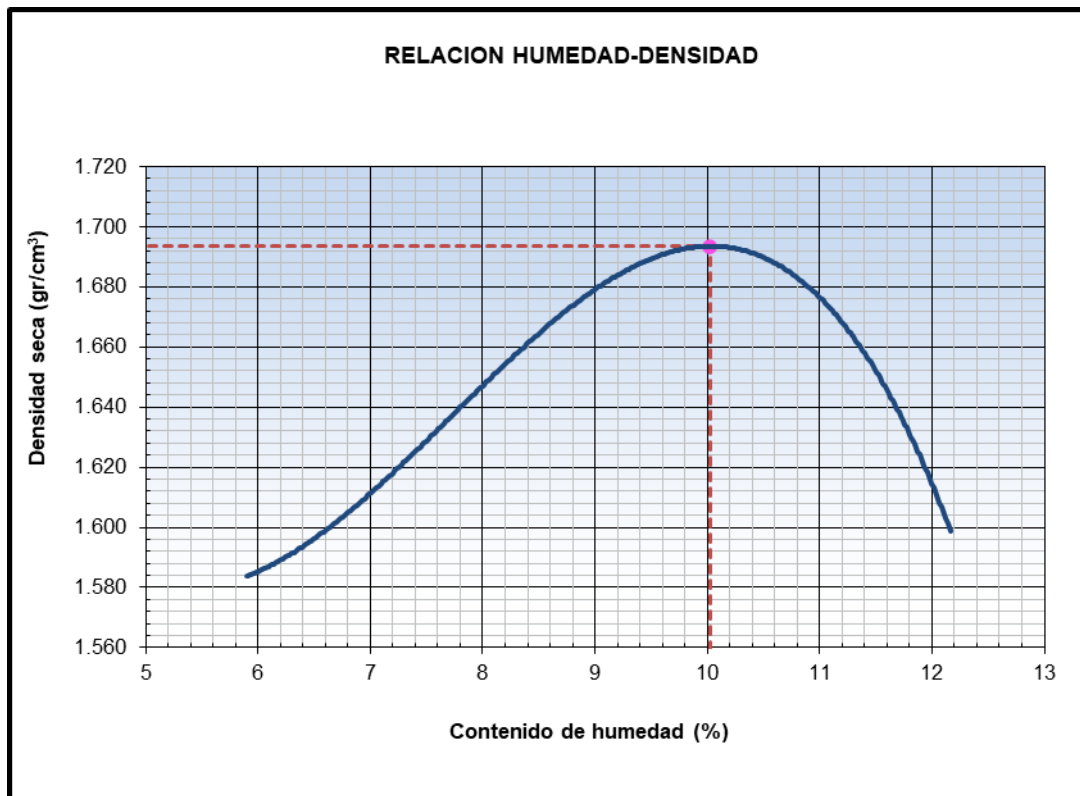


Figura 24. Proctor Modificado, C-1.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 2% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C1-DMS-2%

Tabla 35 Proctor modificado con el 2% cemento, C-1.

Número de Ensayo	Método "A"				
		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5681	5794	5861	5853
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1771	1884	1951	1943
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.868	1.987	2.058	2.050
Recipiente N.º		40	14	3	9
Peso del suelo húmedo + tara	gr	125.10	121.05	117.46	136.20
Peso del suelo seco + tara	gr	115.80	110.40	105.76	120.50
Tara	gr	21.20	21.10	21.40	22.30
Peso de agua	gr	9.30	10.65	11.70	15.70
Peso del suelo seco	gr	94.60	89.30	84.36	98.20
Contenido de agua	%	9.83	11.93	13.87	15.99
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.701	1.776	1.807	1.767
Densidad máxima	(gr/cm ³)				1.807
Humedad óptima	(%)				14.0

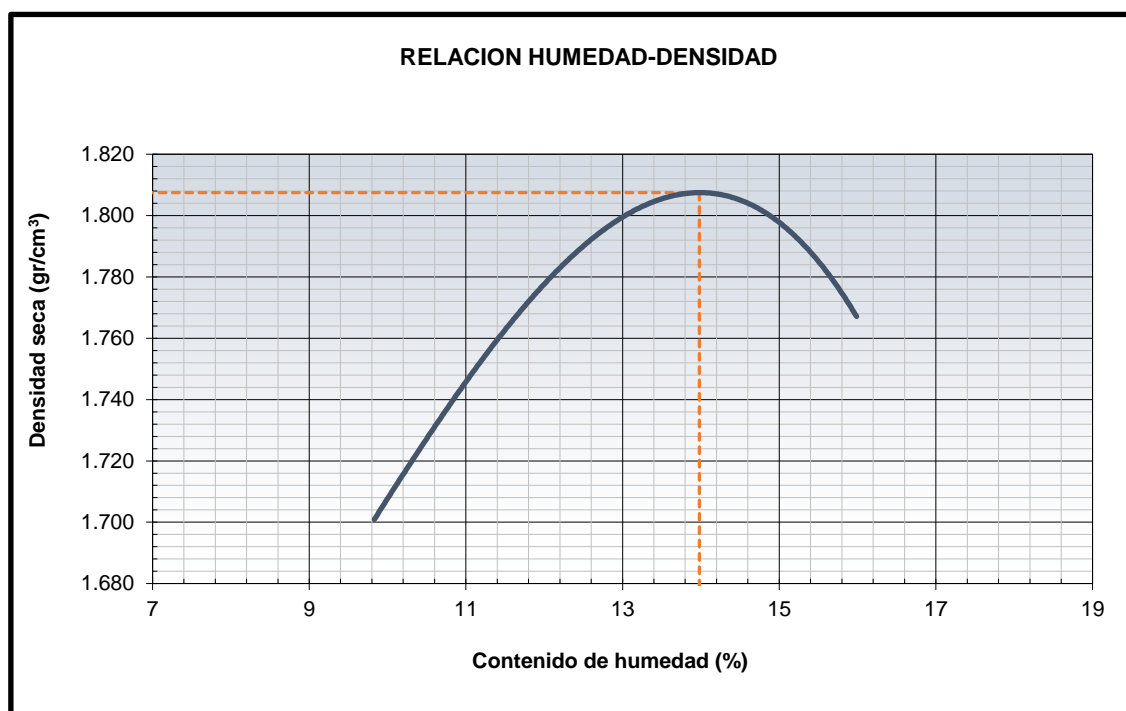


Figura 25. Curva del Proctor Modificado con el 2% cemento, C-1.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 4% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C1-DMS-4%

Tabla 36. Proctor modificado con el 4% cemento, C-1.

		Método "A"			
Número de Ensayo		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5762	5920	5974	5880
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1852	2010	2064	1970
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.954	2.120	2.177	2.078
Recipiente N.º		8	13	1	11
Peso del suelo húmedo + tara	gr	130.74	112.90	121.84	128.80
Peso del suelo seco + tara	gr	120.10	102.10	108.20	113.30
Tara	gr	22.20	22.40	22.70	22.10
Peso de agua	gr	10.64	10.80	13.64	15.50
Peso del suelo seco	gr	97.90	79.70	85.50	91.20
Contenido de agua	%	10.87	13.55	15.95	17.00
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.762	1.867	1.878	1.776
Densidad máxima	(gr/cm ³)	1.904			
Humedad óptima	(%)	15.0			

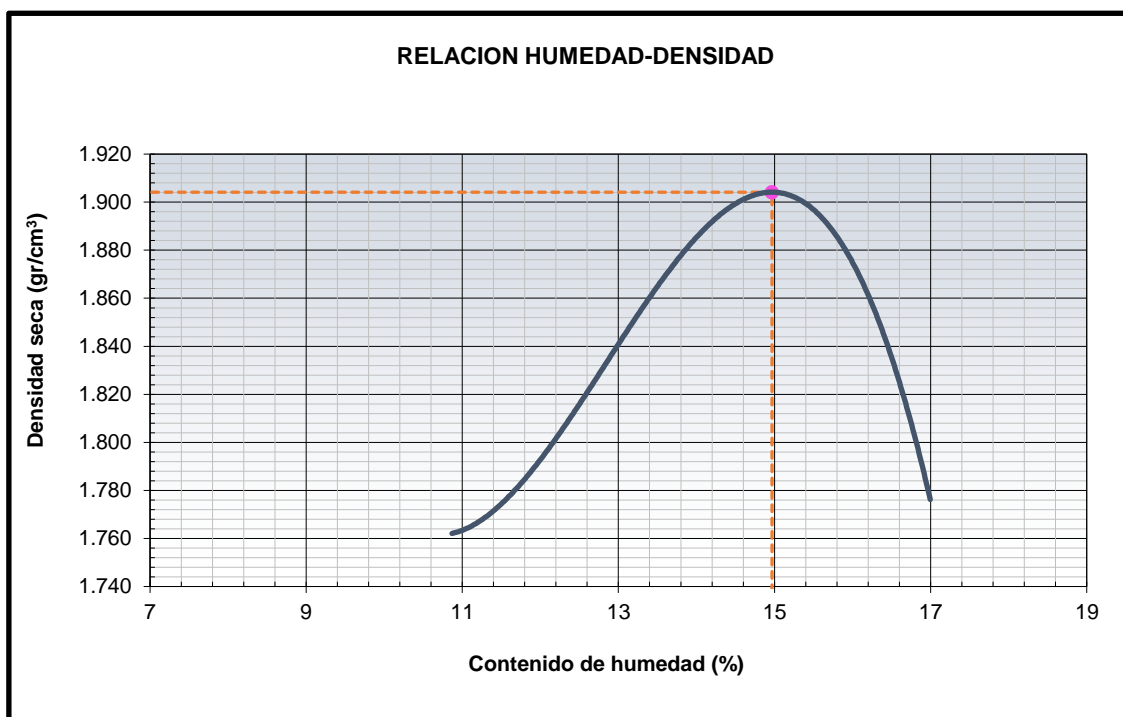


Figura 26. Curva del Proctor Modificado con el 4% cemento, C-1.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 6% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C1-DMS-6%

Tabla 37. Proctor modificado con el 6% cemento, C-1.

Número de Ensayo	Método "A"				
		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5822	6046	6108	5962
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1912	2136	2198	2052
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	2.017	2.253	2.319	2.165
Recipiente N.º		19	43	25	22
Peso del suelo húmedo + tara	gr	122.88	152.40	144.30	135.10
Peso del suelo seco + tara	gr	112.95	135.90	126.80	117.30
Tara	gr	22.30	22.10	22.30	22.50
Peso de agua	gr	9.93	16.50	17.50	17.80
Peso del suelo seco	gr	90.65	113.80	104.50	94.80
Contenido de agua	%	10.95	14.50	16.75	18.78
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.818	1.968	1.986	1.822
Densidad máxima	(gr/cm ³)			1.997	
Humedad óptima	(%)			15.9	

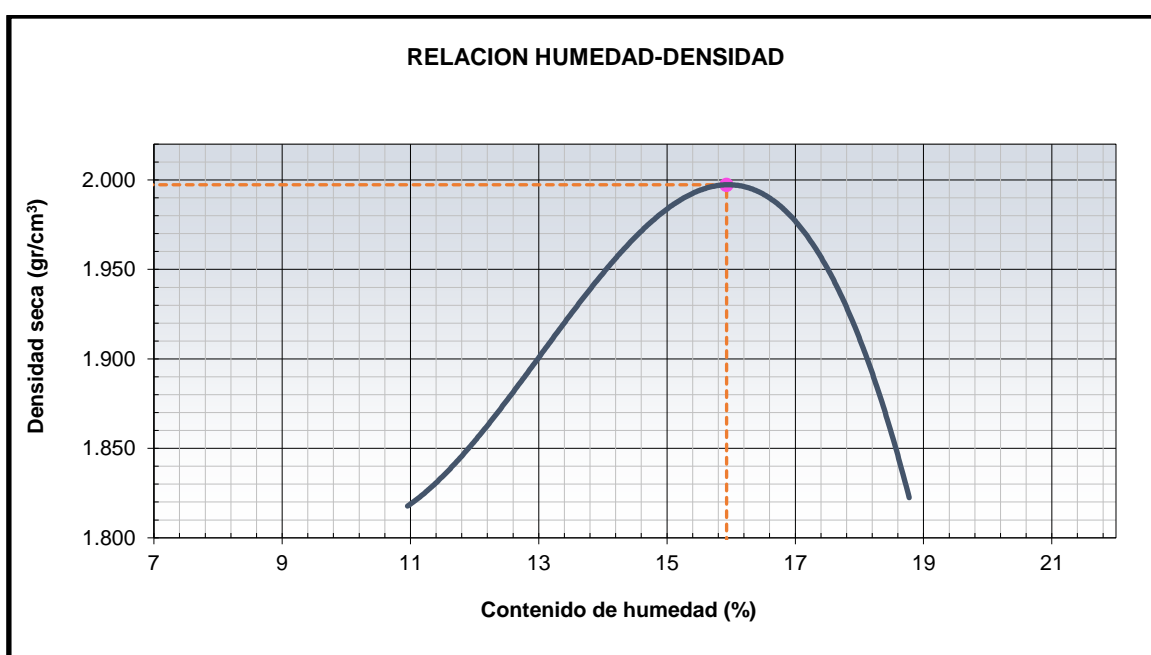


Figura 27. Curva del Proctor Modificado con el 6% cemento, C-1.

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R.**(ASTM D 1883 - MTC E 132)****MUESTRA: C1-CBR-0%**

Tabla 38. CBR, C-1.

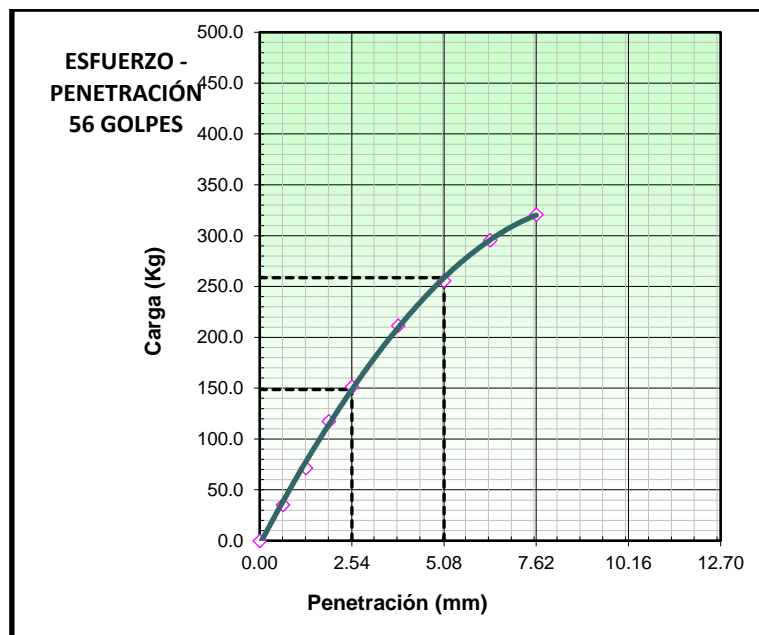
Molde N.º	123		122		121	
Capas N.º	5		5		5	
Golpes por capa N.º	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11952.00	12260.00	11785.00	11960.00	11680.00	11895.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4452	4760	4365	4540	4196	4411.00
Volumen del molde (cm³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm³)	2.111	2.257	2.061	2.144	1.979	2.081
Peso suelo húmedo + tara (g)	112.59	132.60	113.80	136.80	118.50	123.90
Peso suelo seco + tara (g)	103.00	117.80	104.00	121.30	108.00	109.30
Peso de agua (g)	9.59	14.80	9.80	15.50	10.50	14.60
Peso de suelo seco (g)	103.00	117.80	104.00	121.30	108.00	109.30
Contenido de humedad (%)	9.31	12.56	9.42	12.78	9.72	13.36
Densidad seca (g/cm³)	1.931	2.005	1.883	1.901	1.804	1.835

Tabla 39. Expansión CBR, C-1.

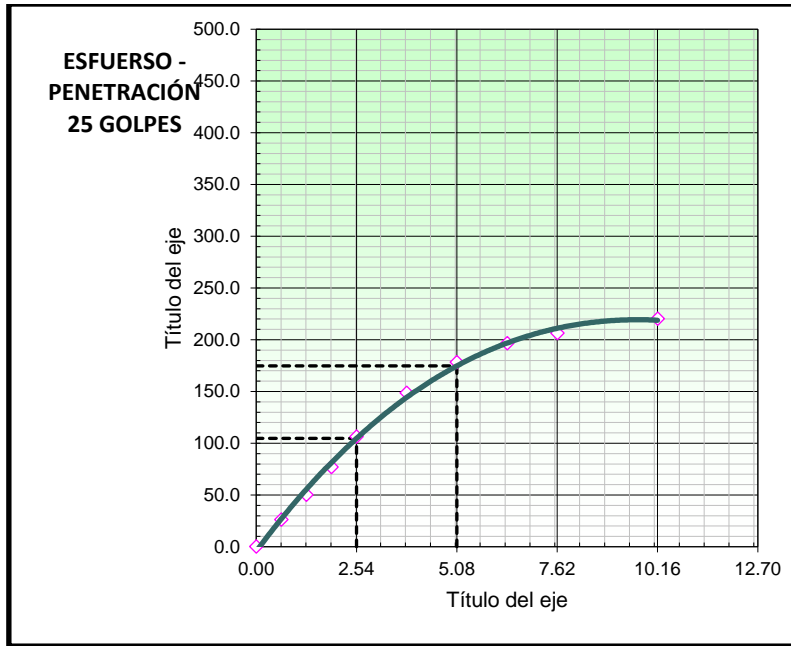
EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/04/2023	11:00	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
21/04/2023	11:06	24	0.200	0.200	0.17	0.300	0.300	0.25	0.700	0.700	0.59
22/04/2023	11:12	48	0.700	0.700	0.59	0.500	0.500	0.42	1.100	1.100	0.93
23/04/2023	11:18	72	1.000	1.000	0.85	0.900	0.900	0.76	1.500	1.500	1.27
24/04/2023	11:24	84	1.500	1.500	1.27	1.600	1.600	1.36	1.800	1.800	1.53

Tabla 40. Penetración - CBR, C-1.

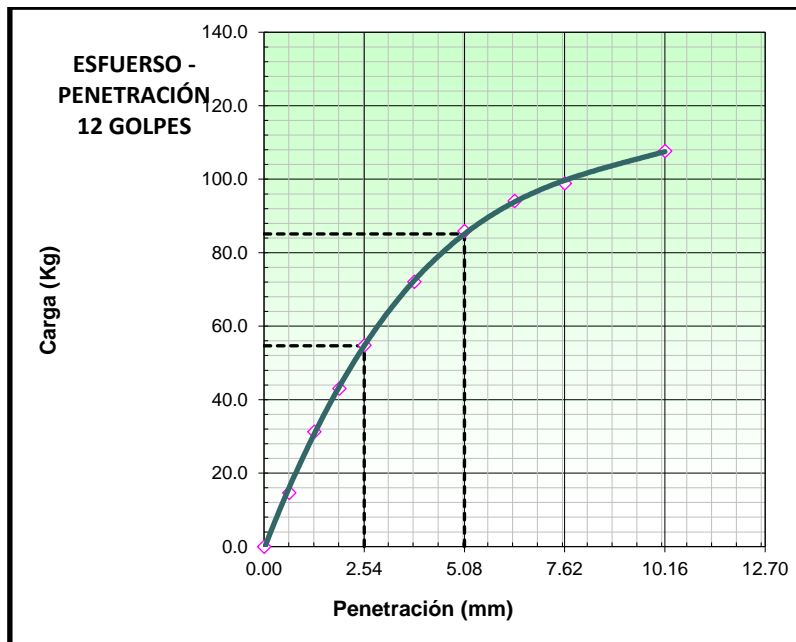
PENETRACION														
PENETR.	CARGA		MOLDE N.º122				MOLDE N.º121				MOLDE N.º123			
	mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635			35.4	35.4			26.1	26.1			14.7	14.7		
1.270			71.4	71.4			50.2	50.2			31.3	31.3		
1.905			117.3	117.3			77.0	77.0			43.1	43.1		
2.540	70.5		151.6	151.6	148.6	10.4	106.3	106.3	104.7	7.3	54.8	54.8	54.7	3.8
3.810			211.5	211.5			148.7	148.7			72.1	72.1		
5.080	105.7		255.6	255.6	258.6	12.1	178.3	178.3	174.7	8.2	85.9	85.9	85.1	4.0
6.350			295.6	295.6			196.6	196.6			94.1	94.1		
7.620			320.8	320.8			206.2	206.2			98.9	98.9		
10.160							220.3	220.3			107.7	107.7		



CBR (0.1")	10.4%
CBR (0.2")	12.1%



CBR (0.1")	7.3%
CBR (0.2")	8.2%



CBR (0.1")	3.8%
CBR (0.2")	4.0%

Figura 28. Curvas esfuerzo - deformación corregidas para el ensayo CBR, C-1.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.693
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 10.0
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.609
 DENSIDAD INSITU (g/cm3) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	2.3	0.2" : 3.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	3.8	0.2" : 6.1

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **3.8 (%)**

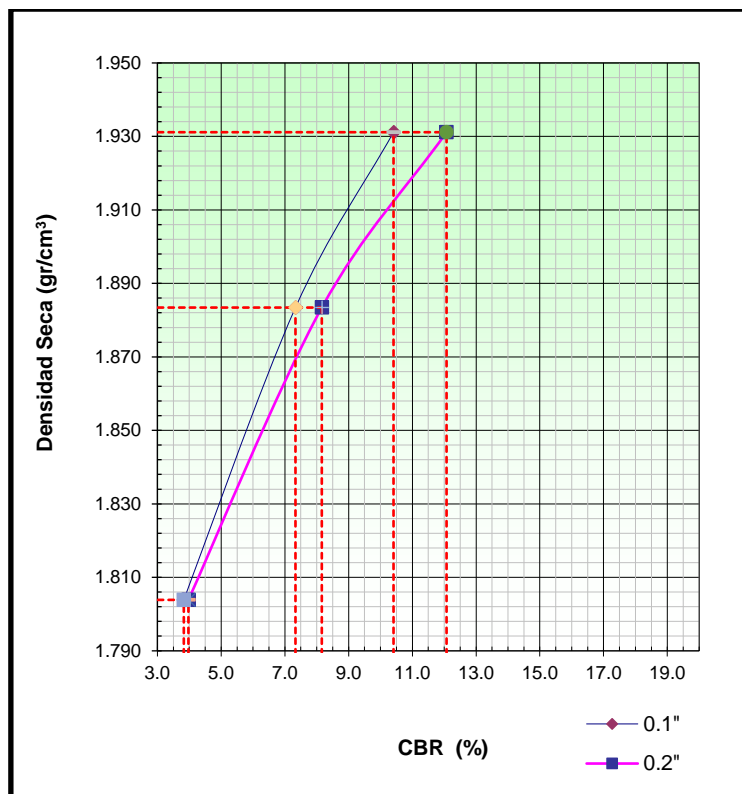


Figura 29. Curva CBR – densidad seca de la muestra de suelo, C-1.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 2% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C1-CBR-2%

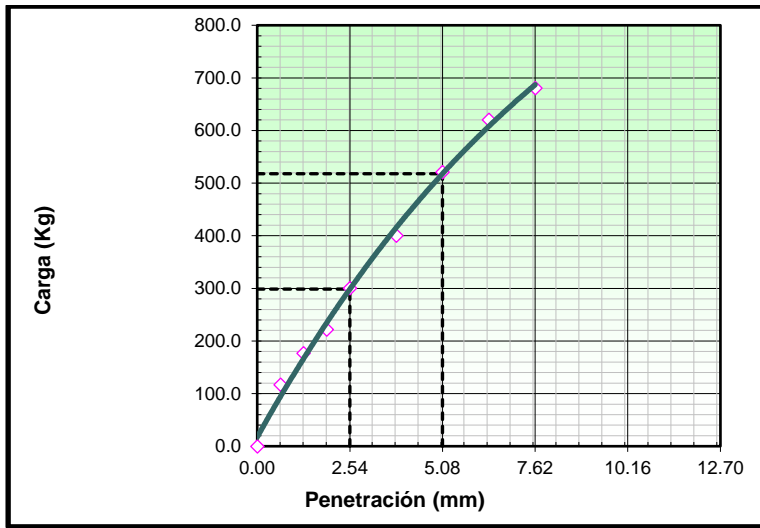
Tabla 41. CBR con el 2% de cemento, C-1.

Molde N.º	122		121		123	
Capas N.º	5		5		5	
Golpes por capa N.º	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12335.00	12600.00	12055.00	12298.00	11983.00	12152.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4835	5100	4635	4878	4499	4668.00
Volumen del molde (cm³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm³)	2.293	2.418	2.188	2.303	2.122	2.202
Tara (N.º)	4	15	12	22	8	20
Peso suelo húmedo + tara (g)	145.60	124.10	105.70	115.80	128.60	137.50
Peso suelo seco + tara (g)	131.20	110.30	95.40	102.50	115.30	121.00
Peso de tara (g)	21.10	21.30	18.40	20.50	20.10	22.30
Peso de agua (g)	14.40	13.80	10.30	13.30	13.30	16.50
Peso de suelo seco (g)	110.10	89.00	77.00	82.00	95.20	98.70
Contenido de humedad (%)	13.08	15.51	13.38	16.22	13.97	16.72
Densidad seca (g/cm³)	2.027	2.094	1.930	1.982	1.862	1.887

Tabla 42. Penetración con el 2% de cemento, C-1.

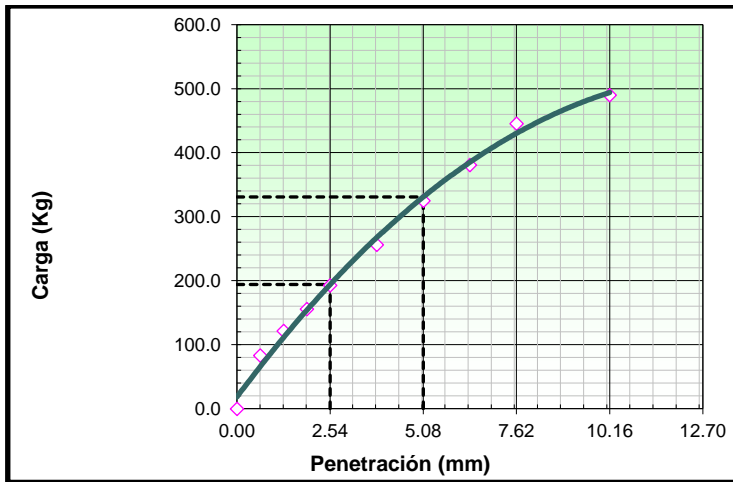
PENETRACION													
PENETR.	CARGA STAND.	MOLDE N.º122				MOLDE N.º121				MOLDE N.º123			
		CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		117.2	117.2			83.0	83.0			65.9	65.9		
1.270		176.8	176.8			121.4	121.4			92.3	92.3		
1.905		222.0	222.0			155.7	155.7			121.3	121.3		
2.540	70.5	300.7	300.7	298.6	20.9	192.8	192.8	194.0	13.6	141.7	141.7	141.1	9.9
3.810		400.3	400.3			256.3	256.3			186.3	186.3		
5.080	105.7	521.2	521.2	517.9	24.2	325.0	325.0	330.8	15.4	222.0	222.0	247.3	11.5
6.350		620.4	620.4			380.7	380.7			305.6	305.6		
7.620		680.9	680.9			445.3	445.3			351.0	351.0		
10.160		724.5	724.5			490.0	490.0			406.0	406.0		

EC = 56 GOLPES



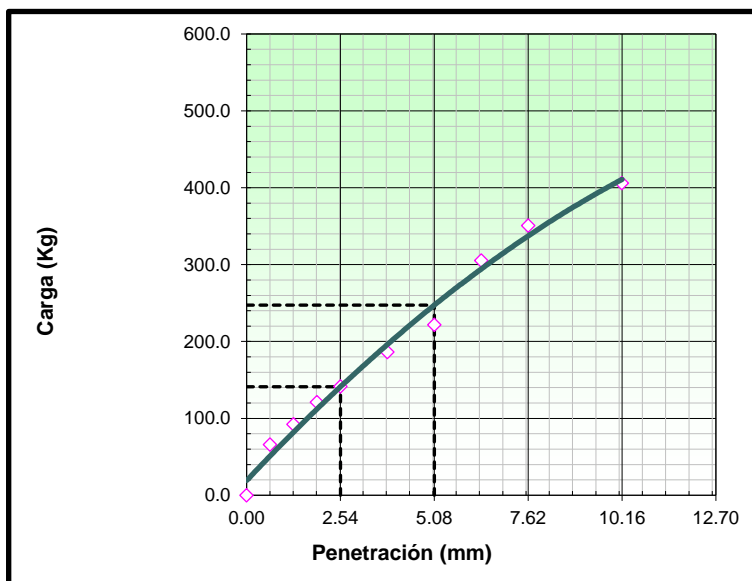
CBR (0.1")	20.9%
CBR (0.2")	24.2%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1")	13.6%
CBR (0.2")	15.4%

EC = 12 GOLPES



CBR (0.1")	9.9%
CBR (0.2")	11.5%

Figura 30. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 2%, C-1.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.807
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 14.0
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.717
DENSIDAD INSITU (g/cm3) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	7.8	0.2" : 9.8
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	5.9	0.2" : 9.4

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **5.9 (%)**

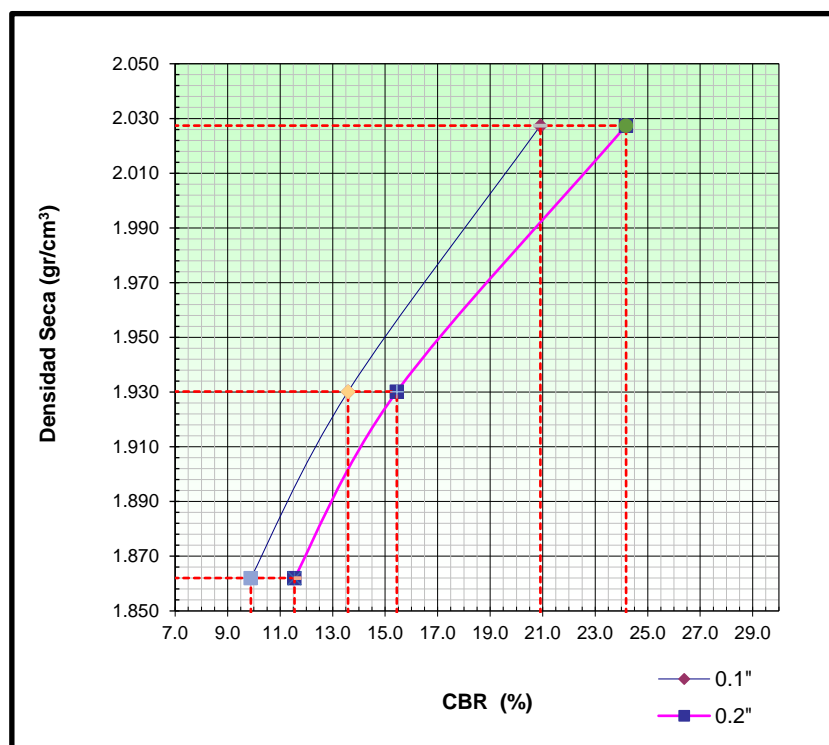


Figura 31. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 2% de cemento, C-1

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 4% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C1-CBR-4%

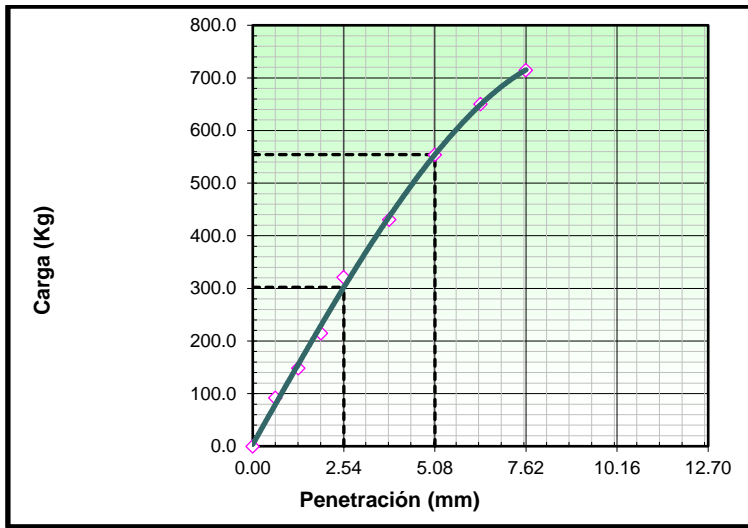
Tabla 43. CBR con el 4% de cemento, C-1.

Molde N°	121		122		123	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12510.00	12710.00	12250.00	12395.00	12180.00	12247.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	5010	5210	4830	4975	4696	4763.00
Volumen del molde (cm ³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.376	2.470	2.280	2.349	2.215	2.247
Tara (N°)	74	15	62	72	18	42
Peso suelo húmedo + tara (g)	122.80	118.80	119.80	174.30	124.20	159.60
Peso suelo seco + tara (g)	110.20	105.20	107.40	151.80	111.00	139.80
Peso de tara (g)	22.10	20.40	21.70	21.30	21.40	22.40
Peso de agua (g)	12.60	13.60	12.40	22.50	13.20	19.80
Peso de suelo seco (g)	88.10	84.80	85.70	130.50	89.60	117.40
Contenido de humedad (%)	14.30	16.04	14.47	17.24	14.73	16.87
Densidad seca (g/cm ³)	2.078	2.129	1.992	2.003	1.931	1.922

Tabla 44. Penetración con el 4% de cemento, C-1.

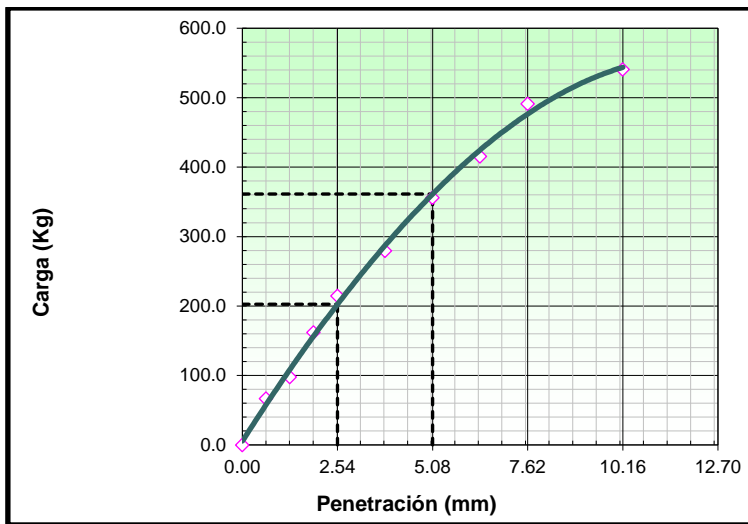
PENETRACION													
CARGA		MOLDE N°121				MOLDE N°122				MOLDE N°123			
PENETR.	STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION		CARGA	CORRECCION	
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		92.0	92.0			67.0	67.0			51.3	51.3		
1.270		148.6	148.6			98.0	98.0			78.4	78.4		
1.905		214.8	214.8			162.3	162.3			135.6	135.6		
2.540	70.5	321.4	321.4	302.0	21.2	214.8	214.8	202.6	14.2	160.3	160.3	152.0	10.6
3.810		430.8	430.8			279.6	279.6			200.4	200.4		
5.080	105.7	554.0	554.0	554.2	25.9	356.0	356.0	361.3	16.9	268.3	268.3	277.4	13.0
6.350		650.2	650.2			415.6	415.6			324.5	324.5		
7.620		715.0	715.0			491.2	491.2			395.6	395.6		
10.160		735.6	735.6			540.8	540.8			435.6	435.6		

EC = 56 GOLPES



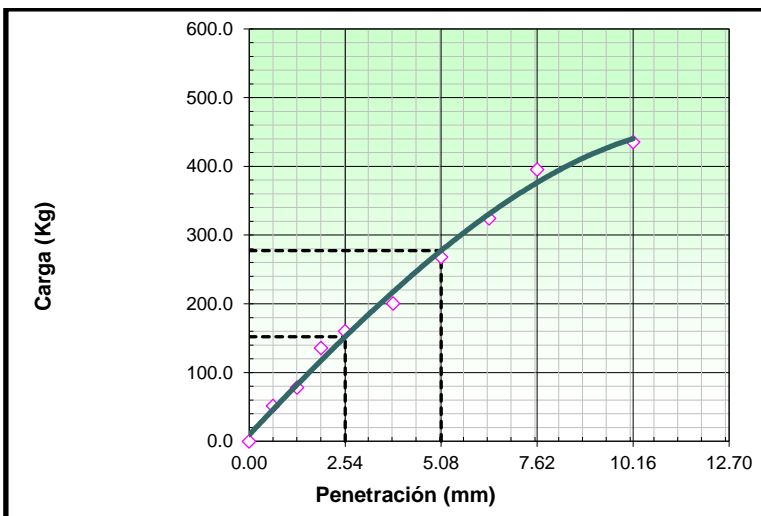
CBR (0.1")	21.2%
CBR (0.2")	25.9%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1")	14.2%
CBR (0.2")	16.9%

EC = 12 GOLPES



CBR (0.1")	10.6%
CBR (0.2")	13.0%

Figura 32. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 4%, C-1.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.904
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 15.0
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.809
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	9.5	0.2" : 11.9
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	7.2	0.2" : 11.4

RESULTADOS CBR a

0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **7.2 (%)**

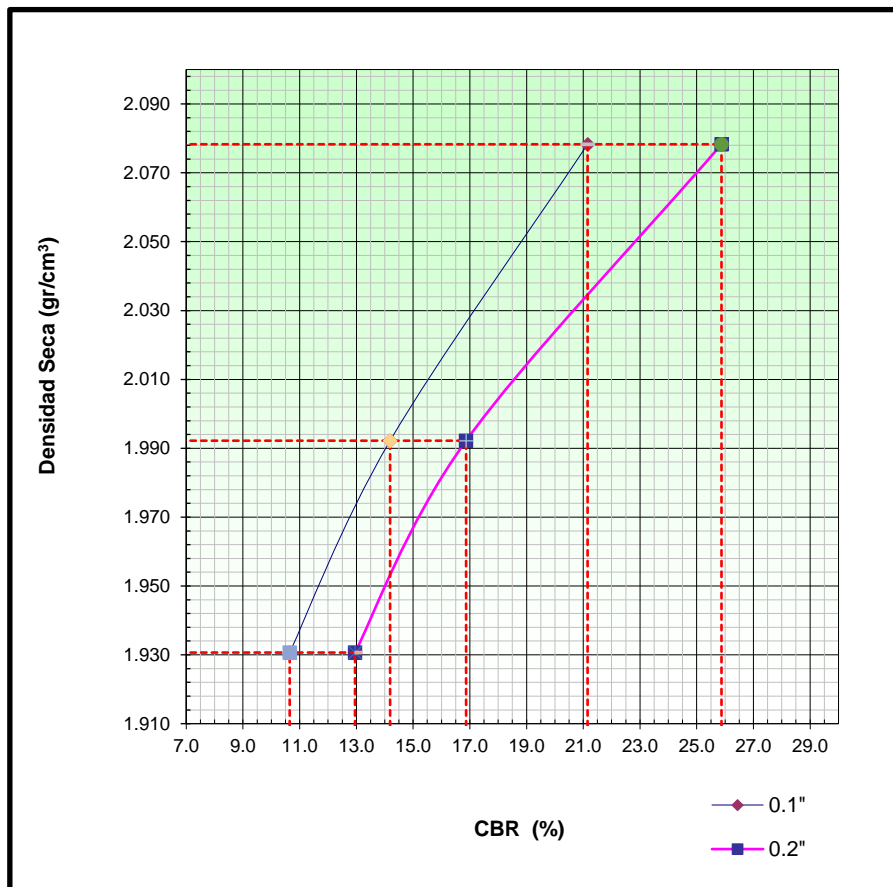


Figura 33. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 4% de cemento, C-1.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 6% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C1-CBR-6%

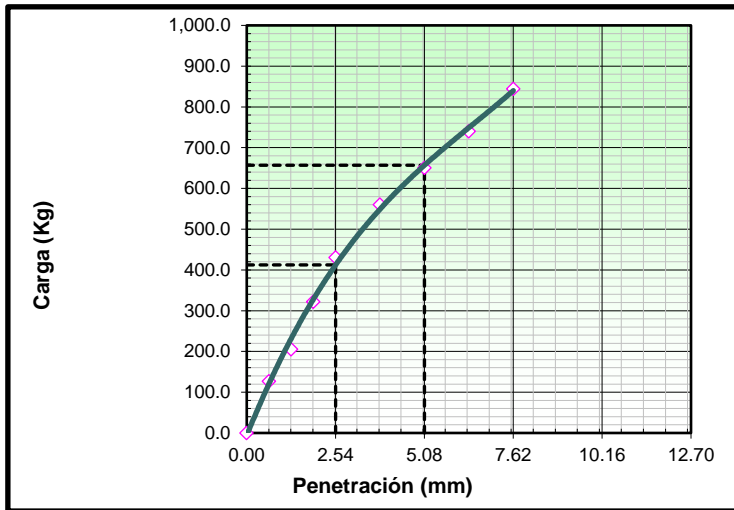
Tabla 45. CBR con el 6% de cemento, C-1.

Molde N.º	121		122		123	
Capas N.º	5		5		5	
Golpes por capa N.º	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12607.00	12790.00	12314.00	12453.00	12238.00	12301.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	5107	5290	4894	5033	4754	4817.00
Volumen del molde (cm ³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.422	2.508	2.311	2.376	2.242	2.272
Tara (Nº)	23	30	7	18	11	66
Peso suelo húmedo + tara (g)	162.50	129.70	147.30	162.80	139.80	150.30
Peso suelo seco + tara (g)	144.60	113.30	130.70	141.10	124.10	130.40
Peso de tara (g)	25.10	20.40	24.00	21.70	24.70	22.40
Peso de agua (g)	17.90	16.40	16.60	21.70	15.70	19.90
Peso de suelo seco (g)	119.50	92.90	106.70	119.40	99.40	108.00
Contenido de humedad (%)	14.98	17.65	15.56	18.17	15.79	18.43
Densidad seca (g/cm ³)	2.106	2.132	2.000	2.011	1.937	1.919

Tabla 46. Penetración con el 6% de cemento, C-1.

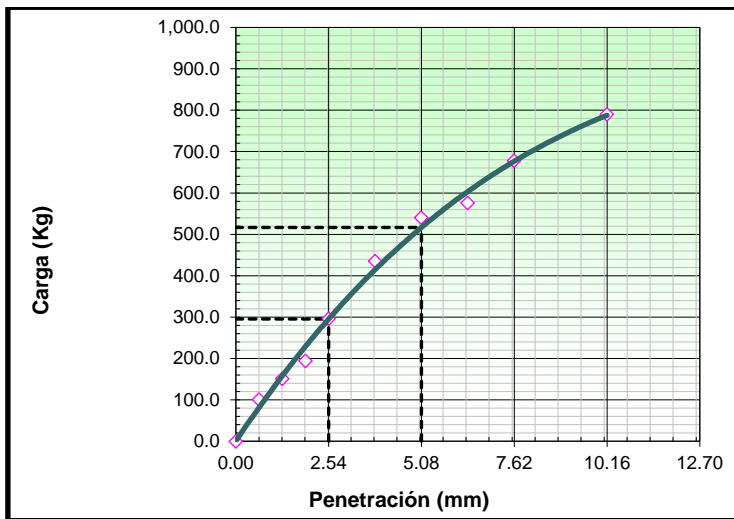
PENETRACION														
PENETR.	CARGA		MOLDE N°121				MOLDE N°122				MOLDE N°123			
	STAND.	CARGA	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0			
0.635		127.3	127.3			101.2	101.2			73.9	73.9			
1.270		206.0	206.0			151.3	151.3			120.8	120.8			
1.905		322.0	322.0			194.5	194.5			170.6	170.6			
2.540	70.5	430.7	430.7	412.4	28.9	296.2	296.2	295.3	20.7	231.2	231.2	218.6	15.3	
3.810		560.3	560.3			435.4	435.4			294.2	294.2			
5.080	105.7	651.2	651.2	656.9	30.7	540.5	540.5	516.6	24.1	369.8	369.8	377.6	17.6	
6.350		740.4	740.4			575.9	575.9			429.3	429.3			
7.620		844.9	844.9			677.7	677.7			489.9	489.9			
10.160		871.0	871.0			790.0	790.0			496.0	496.0			

EC = 56 GOLPES



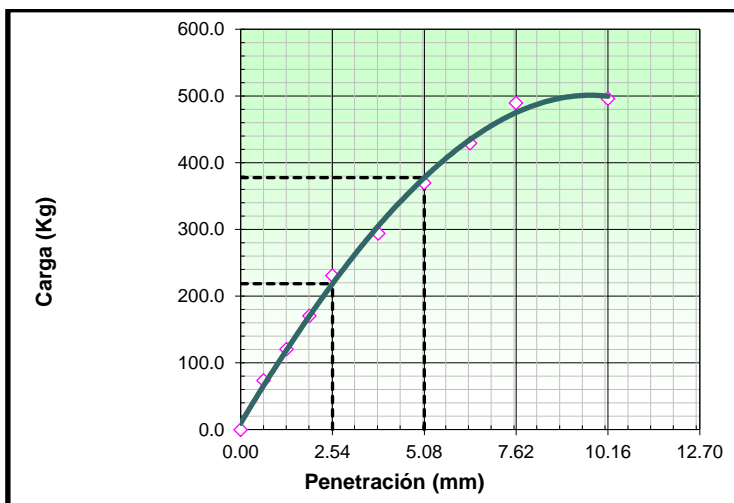
CBR (0.1")	28.9%
CBR (0.2")	30.7%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1")	20.7%
CBR (0.2")	24.1%

EC = 12 GOLPES



CBR (0.1")	15.3%
CBR (0.2")	17.6%

Figura 34. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 6%, C-1.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.997
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 15.9
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.897
DENSIDAD INSITU (g/cm3) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	20.5	0.2" : 23.9
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	11.8	0.2" : 12.6

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **11.8 (%)**

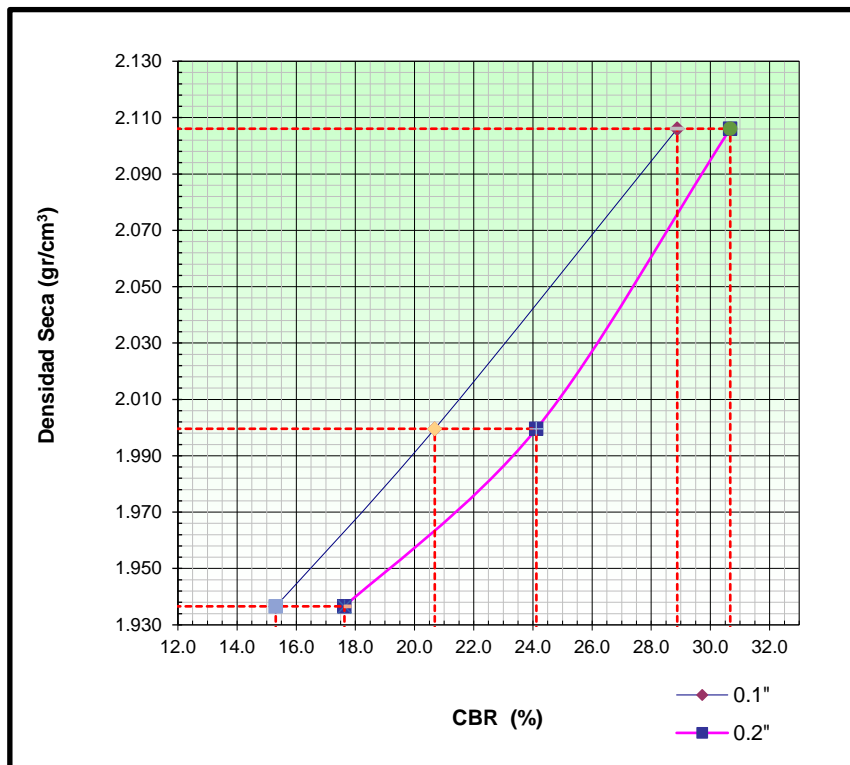


Figura 35. Curva CBR – Densidad seca de la muestra con el 6% de cemento, C-1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
(ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

Procedencia Terreno natural
Muestra C-2
Profundidad 0.4-2.00m
Descripción CALLE ISAAC NEWTON CDRA 04

Tabla 47. Análisis granulométrico, C-2.

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
10"	254.000				
6"	152.400				
5"	127.000				
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	60.350				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	52.1	3.0	3.0	97.0
3/4"	19.000	47.6	2.8	5.8	94.2
1/2"	12.500	30.5	1.8	7.6	92.4
3/8"	9.500	32.8	1.9	9.5	90.5
1/4"	6.350	31.3	1.8	11.3	88.7
Nº 4	4.750	18.2	1.1	12.4	87.6
Nº 10	2.000	140.9	8.2	20.6	79.4
Nº 20	0.840	135.0	7.9	28.5	71.5
Nº 40	0.425	110.6	6.5	34.9	65.1
Nº 60	0.250	66.8	3.9	38.8	61.2
Nº 100	0.150	45.6	2.7	41.5	58.5
Nº 200	0.075	46.0	2.7	44.2	55.8
< Nº 200	FONDO	956.6	55.8	100.0	0.0

OBSERVACIONES		
Grava > 2"	:	0.0
Grava 2" - Nº4	:	12.4
Arena Nº4 - N 200	:	31.8
Finos < Nº200	:	55.8
%>3"	:	0.0%

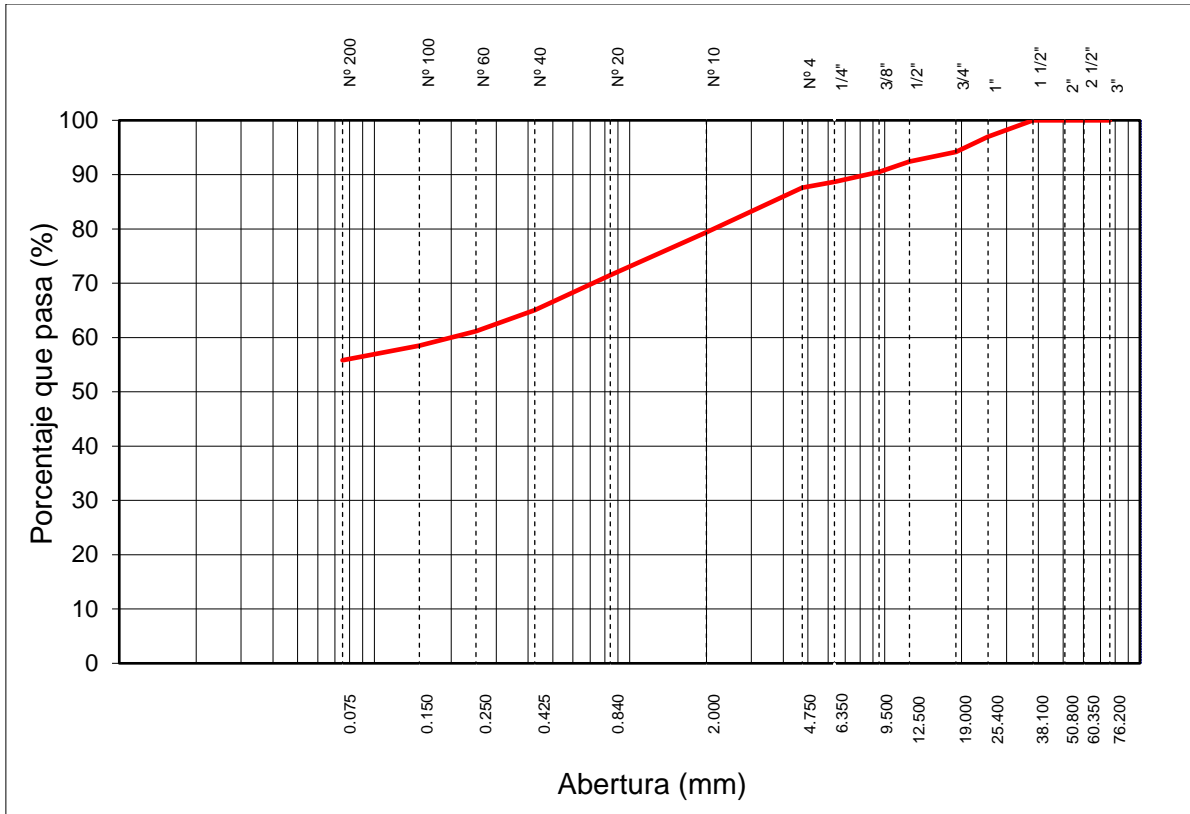


Figura 36. Análisis granulométrico, C-2

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
MTC E 108 - A.S.T.M. D 2216**

Tabla 48. Contenido de humedad, C-2.

N.º DE ENSAYOS		1	2
Nº Tara			
Peso Tara + Suelo Húmedo	(gr.)	2420.0	799.0
Peso Tara + Suelo Seco	(gr.)	2113.0	698.0
Peso Tara	(gr.)		
Peso Agua	(gr.)	307.0	101.0
Peso Suelo Seco	(gr.)	2113.0	698.0
Contenido de Humedad	(gr.)	14.5	14.5
Promedio (%)		14.5	

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E
INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90**

C-2-IP

Tabla 49. Límite Líquido, C-2.

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		35	39	34
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	29.10	30.10	31.30
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	25.90	27.00	28.40
PESO DE AGUA	(g)	3.20	3.10	2.90
PESO DEL TARRO	(g)	14.10	14.50	15.90
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11.80	12.50	12.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	27.12	24.80	23.20
NUMERO DE GOLPES		14	22	34

Tabla 50. Límite plástico, C-2.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		12	2
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	29.40	10.45
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	28.00	9.84
PESO DE AGUA	(g)	1.40	0.61
PESO DEL TARRO	(g)	21.10	6.81
PESO DEL SUELO SECO	(g)	6.90	3.03
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.29	20.13



Figura 37. Curva de límite líquido, C-2

Tabla 51. Índice Plástico C-2.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	24%
LIMITE PLASTICO	20%
INDICE DE PLASTICIDAD	4%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C2-IP-2%

Tabla 52. Limite liquido con el 2% cemento, C-2.

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		4	8	17
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	41.20	38.50	35.60
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	36.20	33.92	32.20
PESO DE AGUA	(g)	5.00	4.58	3.40
PESO DEL TARRO	(g)	17.28	15.24	17.26
PESO DEL SUELO SECO	(g)	18.92	18.68	14.94
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.43	24.52	22.76
NUMERO DE GOLPES		14	21	32

Tabla 53. Limite plástico con el 2% cemento, C-2.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
N.º TARRO		8	14
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.32	10.45
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.62	9.72
PESO DE AGUA	(g)	0.70	0.73
PESO DEL TARRO	(g)	6.25	6.20
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.37	3.52
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.77	20.74



Figura 38. Curva de límite líquido con el 2% de cemento, C-2

Tabla 54. Índice de plasticidad C2-IP-2%

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	24%
LIMITE PLASTICO	21%
INDICE DE PLASTICIDAD	3%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C2-IP-4%

Tabla 55. Límite líquido con el 4% cemento, C-2

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
N.º TARRO		41	13	71
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	31.50	33.84	37.46
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	28.70	31.00	34.20
PESO DE AGUA	(g)	2.80	2.84	3.26
PESO DEL TARRO	(g)	17.66	18.92	19.23
PESO DEL SUELO SECO	(g)	11.04	12.08	14.97
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.36	23.51	21.78
NUMERO DE GOLPES		12	20	31

Tabla 56. Limite plástico con el 4% cemento, C-2.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
N.º TARRO		26	42
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.11	10.92
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.42	10.23
PESO DE AGUA	(g)	0.69	0.69
PESO DEL TARRO	(g)	6.14	6.99
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.28	3.24
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	21.04	21.30

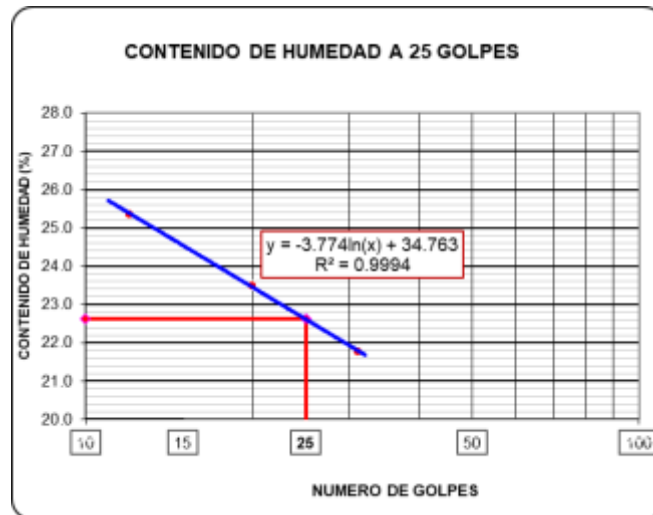


Figura 39. Curva de límite líquido con el 4% de cemento, C-2

Tabla 57. Índice de plasticidad C2-IP-4%

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	23%
LIMITE PLASTICO	21%
INDICE DE PLASTICIDAD	2%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C2-IP-6%

Tabla 58. Límite líquido con el 6% cemento, C-2

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		2	33	24
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	36.95	30.55	41.40
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	32.90	27.80	37.20
PESO DE AGUA	(g)	4.05	2.75	4.20
PESO DEL TARRO	(g)	16.42	15.80	17.33
PESO DEL SUELO SECO	(g)	16.48	12.00	19.87
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	24.58	22.92	21.14
NUMERO DE GOLPES		13	21	32

Tabla 59. Limite plástico con el 6% cemento, C-1.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
N ° TARRO		72	17
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.58	10.27
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	10.25	9.62
PESO DE AGUA	(g)	0.33	0.65
PESO DEL TARRO	(g)	8.62	6.38
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1.63	3.24
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	20.25	20.06



Figura N° 40. Curva de límite líquido con el 6% de cemento, C-1

Tabla 60. Índice de plasticidad C2-IP-6%

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	22%
LIMITE PLASTICO	20%
INDICE DE PLASTICIDAD	2%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C2-DMS-0%

Tabla 61. Proctor modificado, C-2.

Número de Ensayo	Método "A"				
		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5425	5646	5745	5610
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1515	1736	1835	1700
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.598	1.831	1.936	1.793
Recipiente N.º		8	14	21	45
Peso del suelo húmedo + tara	gr	147.20	134.25	126.40	140.40
Peso del suelo seco + tara	gr	138.20	124.20	116.00	127.00
Tara	gr	21.50	21.10	22.40	21.70
Peso de agua	gr	9.00	10.05	10.40	13.40
Peso del suelo seco	gr	116.70	103.10	93.60	105.30
Contenido de agua	%	7.71	9.75	11.11	12.73
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.484	1.669	1.742	1.591
Densidad máxima	(gr/cm ³)				1.742
Humedad óptima	(%)				11.137

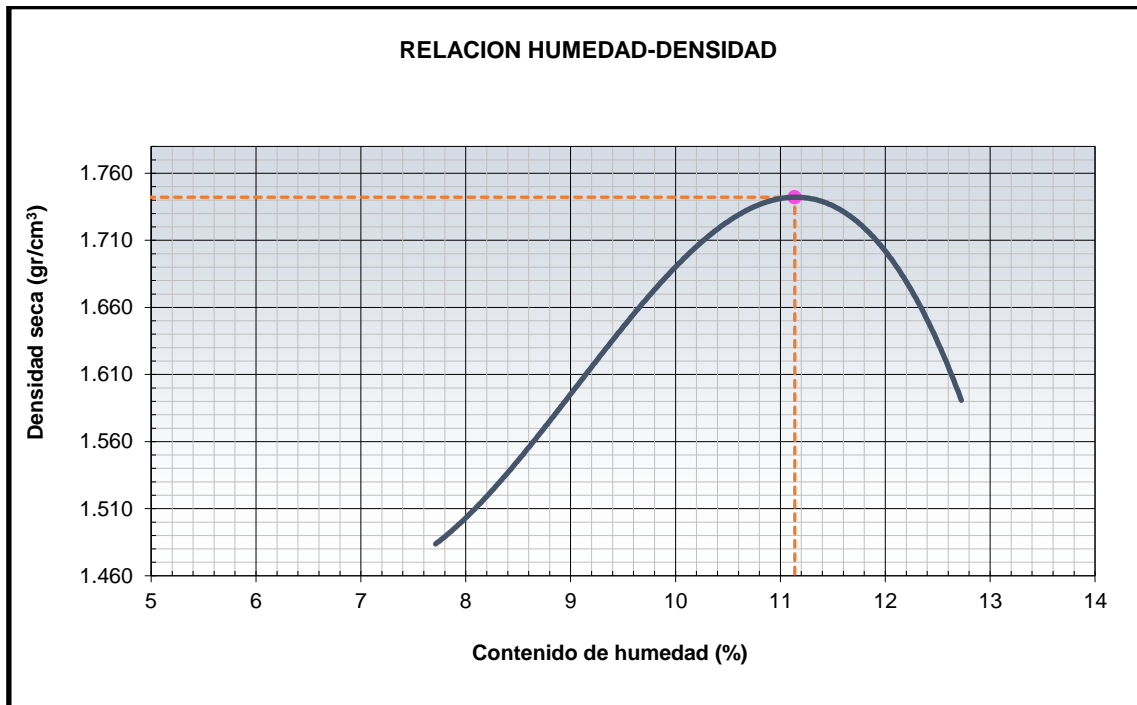


Figura 41. Proctor Modificado, C-2.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 2% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C1-DMS-2%

Tabla 62 Proctor modificado con el 2% cemento, C-2.

Número de Ensayo	Método "A"				
	1	2	3	4	
Peso suelo + molde	gr	5670	5782	5853	5781
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1760	1872	1943	1871
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.857	1.975	2.050	1.974
Recipiente N.º		15	21	47	28
Peso del suelo húmedo + tara	gr	127.40	117.70	135.27	131.57
Peso del suelo seco + tara	gr	117.90	107.80	122.10	116.60
Tara	gr	21.50	21.20	21.40	21.70
Peso de agua	gr	9.50	9.90	13.17	14.97
Peso del suelo seco	gr	96.40	86.60	100.70	94.90
Contenido de agua	%	9.85	11.43	13.08	15.77
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.690	1.772	1.813	1.705
Densidad máxima	(gr/cm ³)			1.813	
Humedad óptima	(%)			13.3	

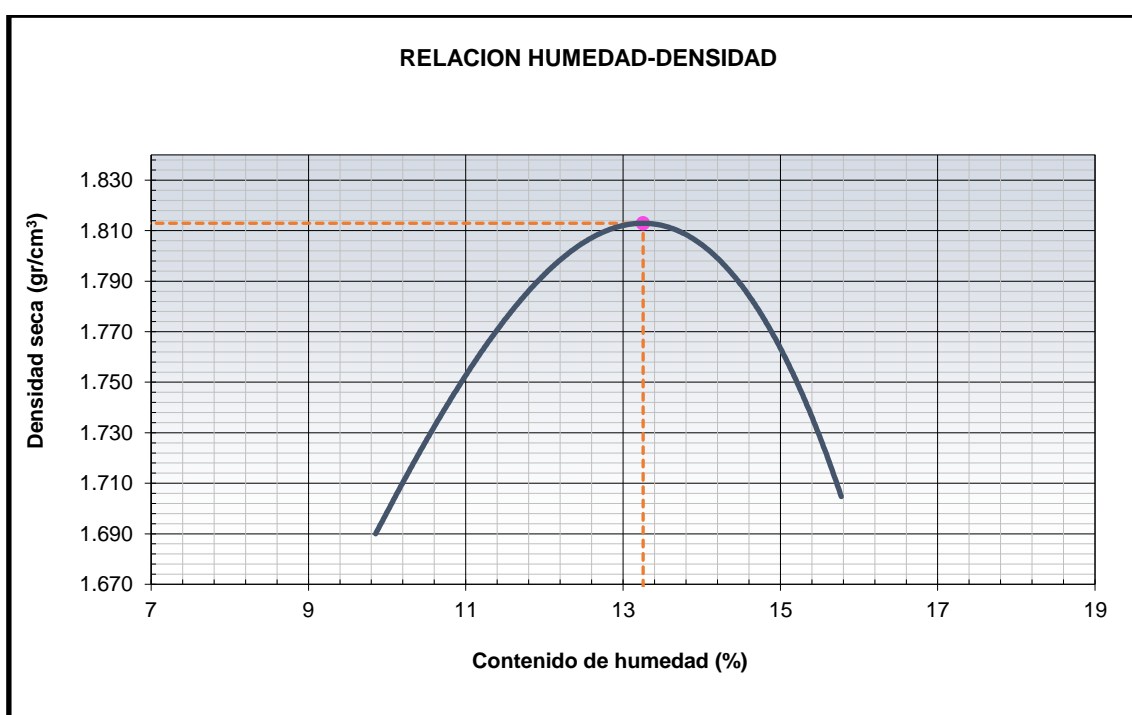


Figura 42. Curva del Proctor Modificado con el 2% cemento, C-2.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 4% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C2-DMS-4%

Tabla 63. Proctor modificado con el 4% cemento, C-2.

		Método "A"			
Número de Ensayo		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5723	5835	5943	5880
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1813	1925	2033	1970
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.912	2.031	2.145	2.078
Recipiente N.º		52	82	14	2
Peso del suelo húmedo + tara	gr	136.40	147.30	137.30	130.80
Peso del suelo seco + tara	gr	125.80	133.50	122.25	115.20
Tara	gr	21.40	21.20	21.30	21.50
Peso de agua	gr	10.60	13.80	15.05	15.60
Peso del suelo seco	gr	104.40	112.30	100.95	93.70
Contenido de agua	%	10.15	12.29	14.91	16.65
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.736	1.808	1.866	1.781
Densidad máxima	(gr/cm ³)			1.868	
Humedad óptima	(%)			14.6	

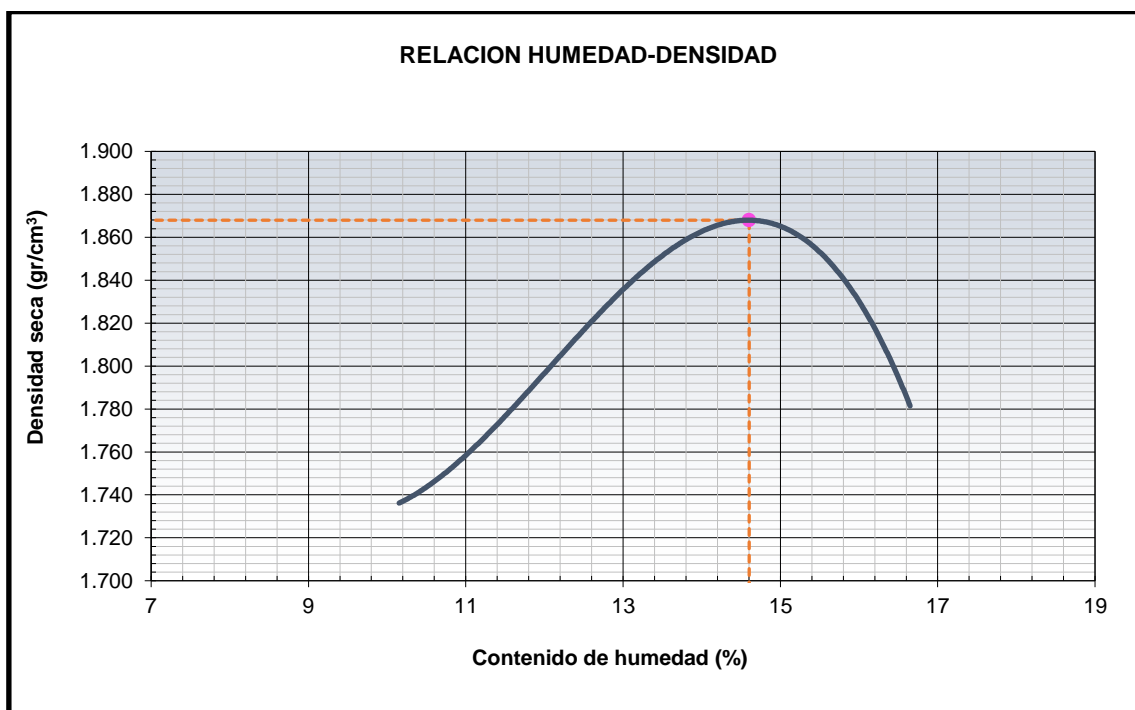


Figura 43. Curva del Proctor Modificado con el 4% cemento, C-2.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 6% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C2-DMS-6%

Tabla 64. Proctor modificado con el 6% cemento, C-2.

Método "A"					
Peso suelo + molde	gr	5851	6031	6140	6074
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1941	2121	2230	2164
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	2.047	2.237	2.352	2.283
Recipiente N.º		12	9	42	5
Peso del suelo húmedo + tara	gr	108.30	129.30	122.40	147.60
Peso del suelo seco + tara	gr	99.40	116.30	108.80	128.80
Tara	gr	21.40	21.20	21.30	21.50
Peso de agua	gr	8.90	13.00	13.60	18.80
Peso del suelo seco	gr	78.00	95.10	87.50	107.30
Contenido de agua	%	11.41	13.67	15.54	17.52
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.838	1.968	2.036	1.942
Densidad máxima	(gr/cm ³)	2.036			
Humedad óptima	(%)	15.7			

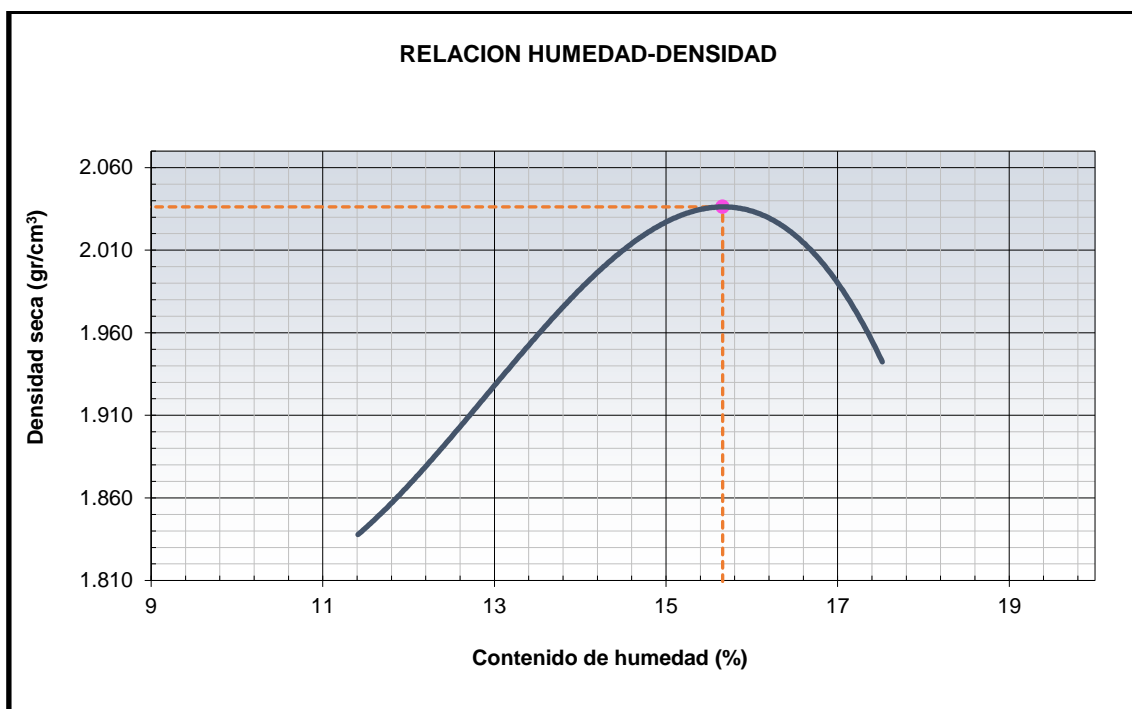


Figura 44. Curva del Proctor Modificado con el 6% cemento, C-2.

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R.**(ASTM D 1883 - MTC E 132)****MUESTRA: C-2-CBR-0%**

Tabla 65. CBR, C-2.

Molde N.º	126		125		124	
Capas N.º	5		5		5	
Golpes por capa N.º	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11790.00	11980.00	11570.00	11840.00	11504.00	11750.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4290	4480	4150	4420	4020	4266.00
Volumen del molde (cm³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm³)	2.034	2.124	1.959	2.087	1.896	2.012
Tara (Nº)	4	7	3	21	8	39
Peso suelo húmedo + tara (g)	122.80	144.30	135.60	123.40	119.40	131.84
Peso suelo seco + tara (g)	113.20	127.50	124.58	109.30	109.67	115.80
Peso de tara (g)	21.40	21.20	22.50	21.70	21.60	20.80
Peso de agua (g)	9.60	16.80	11.02	14.10	9.73	16.04
Peso de suelo seco (g)	91.80	106.30	102.08	87.60	88.07	95.00
Contenido de humedad (%)	10.46	15.80	10.80	16.10	11.05	16.88
Densidad seca (g/cm³)	1.842	1.834	1.768	1.798	1.708	1.722

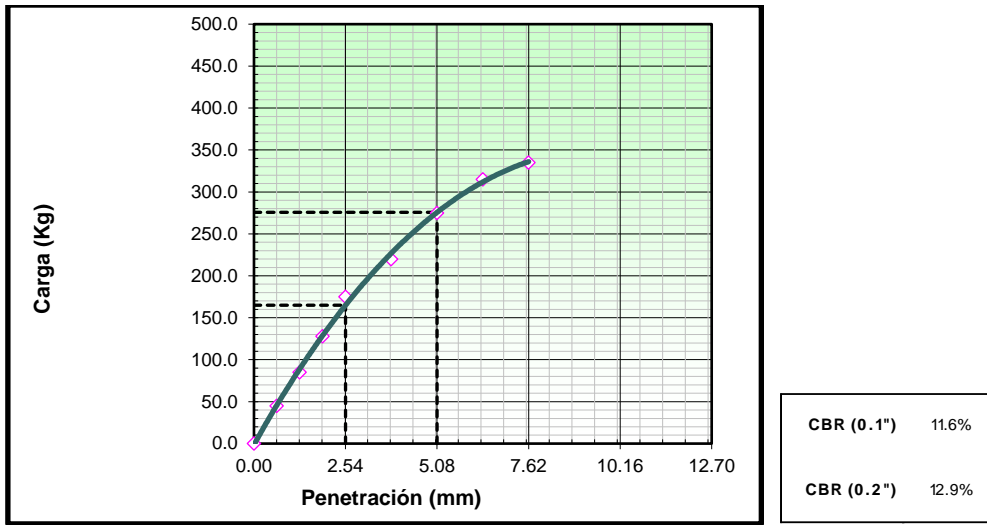
Tabla 66. Expansión CBR, C-2.

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/04/2023	15:00	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
21/04/2023	15:06	24	0.500	0.500	0.42	0.600	0.600	0.51	0.500	0.500	0.42
22/04/2023	15:12	48	0.100	0.100	0.08	0.160	0.160	0.14	0.800	0.800	0.68
23/04/2023	15:18	72	0.200	0.200	0.17	0.340	0.340	0.29	1.200	1.200	1.02
24/04/2023	15:24	84	0.700	0.700	0.59	0.840	0.840	0.71	1.900	1.900	1.61

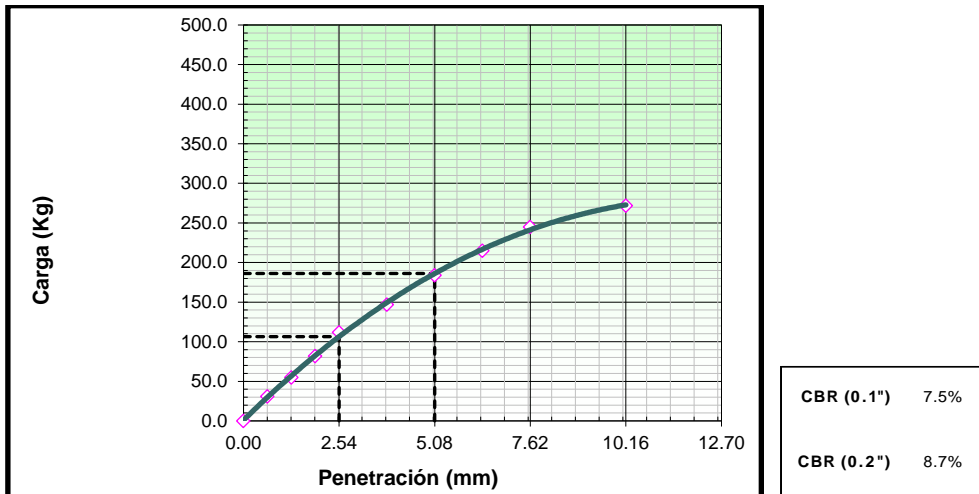
Tabla 67. Penetración - CBR, C-2

PENETRACION													
PENETR.	CARGA		MOLDE N° 126			MOLDE N° 125				MOLDE N° 124			
	STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		45.0	45.0			31.0	31.0			24.0	24.0		
1.270		85.0	85.0			55.0	55.0			41.0	41.0		
1.905		128.0	128.0			82.0	82.0			61.0	61.0		
2.540	70.5	175.0	175.0	164.9	11.6	112.0	112.0	106.4	7.5	80.0	80.0	75.9	5.3
3.810		220.0	220.0			147.0	147.0			101.0	101.0		
5.080	105.7	275.0	275.0	275.7	12.9	184.0	184.0	186.2	8.7	128.0	128.0	131.2	6.1
6.350		315.0	315.0			215.0	215.0			154.0	154.0		
7.620		335.0	335.0			245.0	245.0			172.0	172.0		
10.160						272.0	272.0			192.0	192.0		

EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

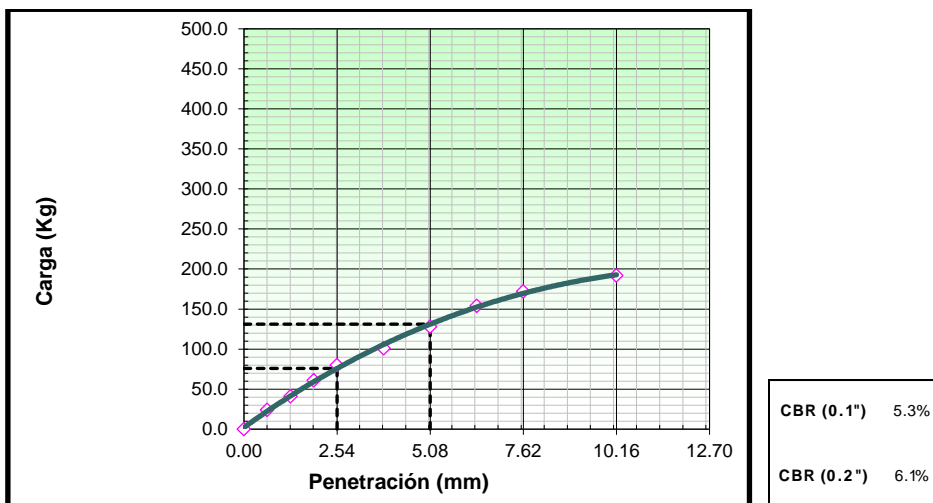


Figura 45. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR, C-2.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.742
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 11.1
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.655
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	6.4	0.2" : 7.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	4.4	0.2" : 4.6

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **4.4 (%)**

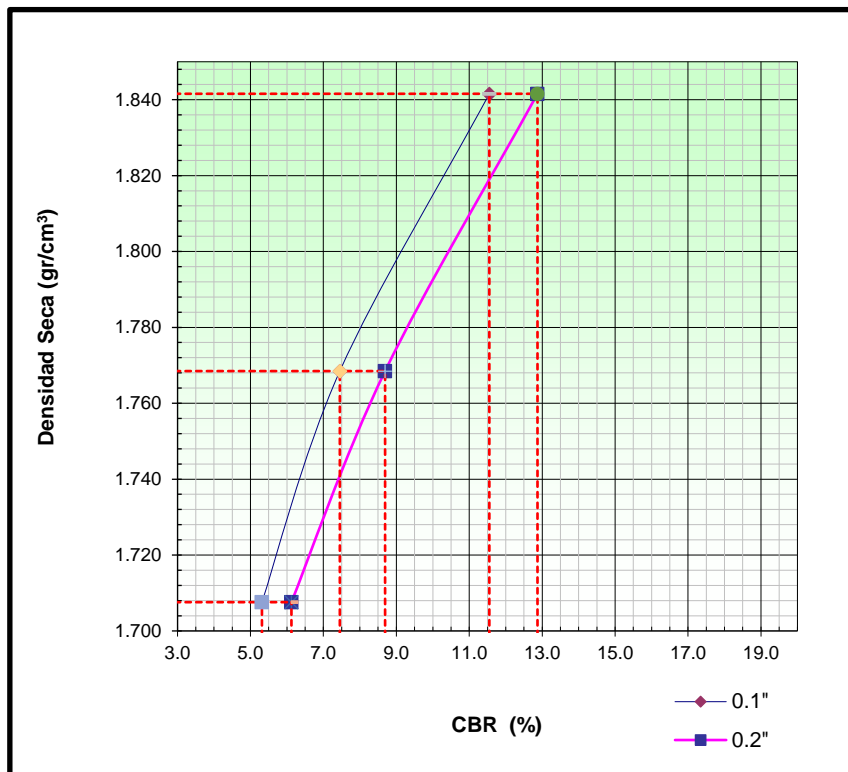


Figura 46. Curva CBR – densidad seca de la muestra de suelo, C-1.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 2% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C2-CBR-2%

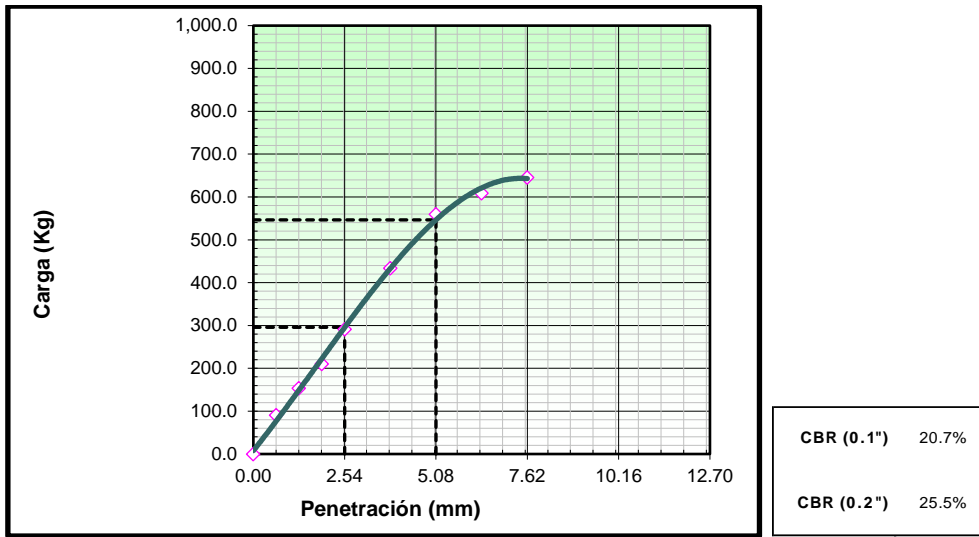
Tabla 68. CBR con el 2% de cemento, C-2.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12183.00	12320.00	11914.00	12214.00	11880.00	11985.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4683	4820	4494	4794	4396	4501.00
Volumen del molde (cm³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm³)	2.220	2.285	2.122	2.263	2.074	2.123
Tara (N°)	19	21	8	5	31	25
Peso suelo húmedo + tara (g)	125.60	138.60	128.60	182.20	137.20	127.90
Peso suelo seco + tara (g)	113.80	122.50	116.00	159.60	123.50	112.50
Peso de tara (g)	21.10	21.60	18.40	21.70	20.10	21.80
Peso de agua (g)	11.80	16.10	12.60	22.60	13.70	15.40
Peso de suelo seco (g)	92.70	100.90	97.60	137.90	103.40	90.70
Contenido de humedad (%)	12.73	15.96	12.91	16.39	13.25	16.98
Densidad seca (g/cm³)	1.970	1.971	1.879	1.945	1.831	1.815

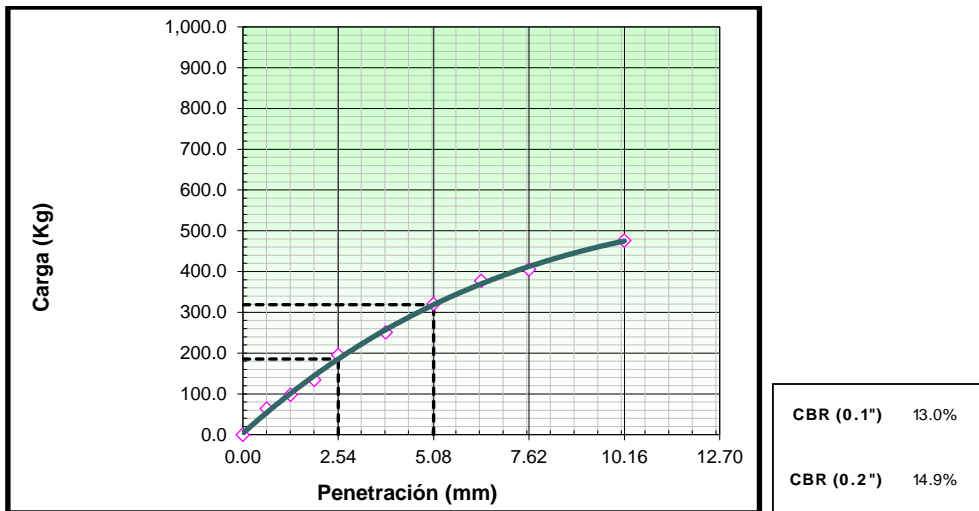
Tabla 69. Penetración con el 2% de cemento, C-2.

PENETRACION													
CARGA		MOLDE N° 123				MOLDE N° 122				MOLDE N° 121			
PENETR.	STAND.	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		91.0	91.0			64.0	64.0			52.6	52.6		
1.270		153.9	153.9			98.0	98.0			81.6	81.6		
1.905		210.6	210.6			134.6	134.6			114.9	114.9		
2.540	70.5	291.2	291.2	295.8	20.7	195.6	195.6	185.5	13.0	140.9	140.9	143.1	10.0
3.810		434.2	434.2			251.0	251.0			187.5	187.5		
5.080	105.7	559.8	559.8	546.5	25.5	320.5	320.5	318.7	14.9	244.0	244.0	236.4	11.0
6.350		609.3	609.3			377.5	377.5			264.0	264.0		
7.620		646.0	646.0			405.7	405.7			298.0	298.0		
10.160		598.3	598.3			476.0	476.0			326.0	326.0		

EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

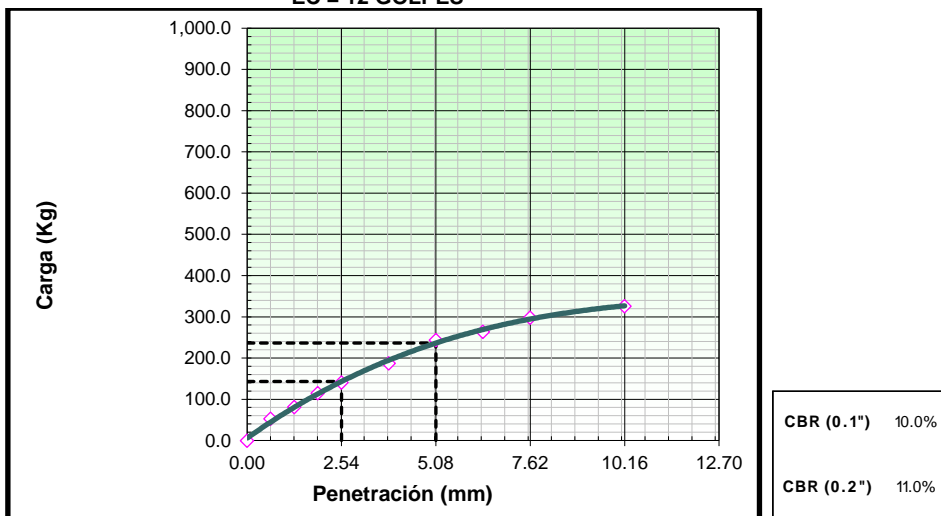


Figura 47. Curvas esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 2%, C-2.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.813
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 13.3
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.722
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	9.1	0.2" : 9.9
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	6.3	0.2" : 7.0

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **6.3 (%)**

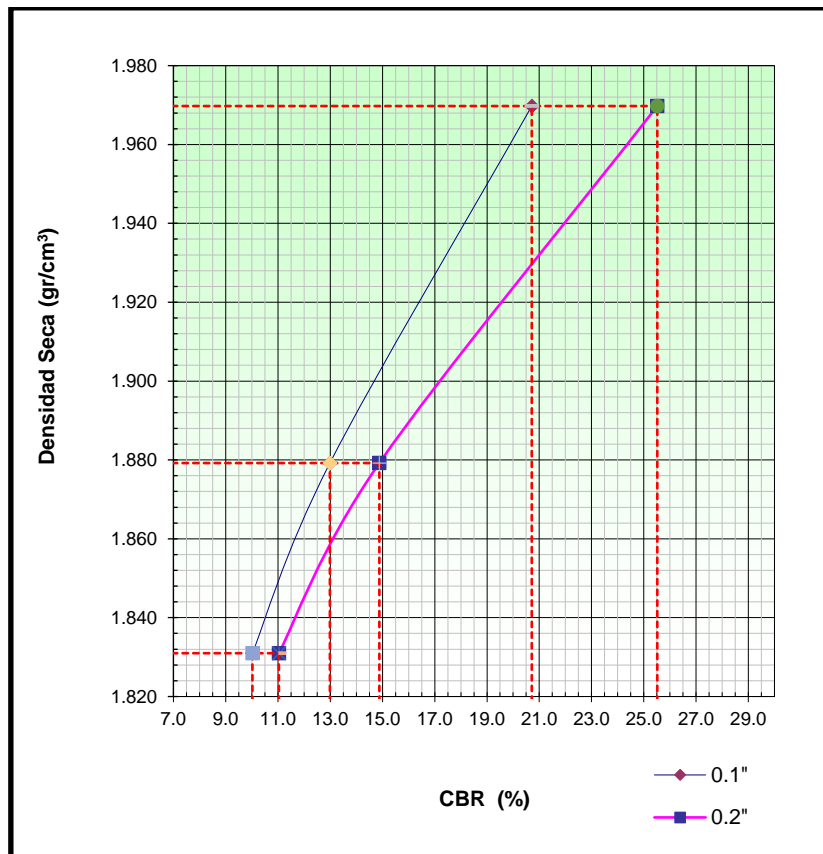


Figura 48. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 2% de cemento, C-2

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 4% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C2-CBR-4%

Tabla 70. CBR con el 4% de cemento, C-2.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12358.00	12450.00	12105.00	12310.00	11970.00	11985.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4858	4950	4685	4890	4486	4501.00
Volumen del molde (cm ³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.303	2.347	2.212	2.309	2.116	2.123
Tara (N°)	20	18	18	16	39	81
Peso suelo húmedo + tara (g)	162.30	145.00	159.60	135.80	175.60	139.00
Peso suelo seco + tara (g)	145.00	127.50	142.20	119.10	156.40	120.60
Peso de tara (g)	21.70	21.60	21.40	21.70	24.20	21.80
Peso de agua (g)	17.30	17.50	17.40	16.70	19.20	18.40
Peso de suelo seco (g)	123.30	105.90	120.80	97.40	132.20	98.80
Contenido de humedad (%)	14.03	16.53	14.40	17.15	14.52	18.62
Densidad seca (g/cm ³)	2.020	2.014	1.933	1.971	1.848	1.790

Tabla 71. Penetración con el 4% de cemento, C-2.

PENETRACION														
PENETR. mm	CARGA		MOLDE N°123				MOLDE N 122				MOLDE N°121			
	STAND. kg/cm2	CARGA	CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION	
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0			
0.635		97.0	97.0			82.0	82.0			71.0	71.0			
1.270		158.0	158.0			112.0	112.0			97.6	97.6			
1.905		247.8	247.8			175.0	175.0			138.7	138.7			
2.540	70.5	307.0	307.0	316.2	22.1	260.8	260.8	233.4	16.3	165.2	165.2	167.9	11.8	
3.810		454.3	454.3			308.0	308.0			225.4	225.4			
5.080	105.7	552.0	552.0	551.3	25.7	375.0	375.0	378.8	17.7	271.5	271.5	280.1	13.1	
6.350		618.0	618.0			422.0	422.0			321.4	321.4			
7.620		652.3	652.3			471.2	471.2			366.9	366.9			
10.160		695.3	695.3			512.0	512.0			401.5	401.5			

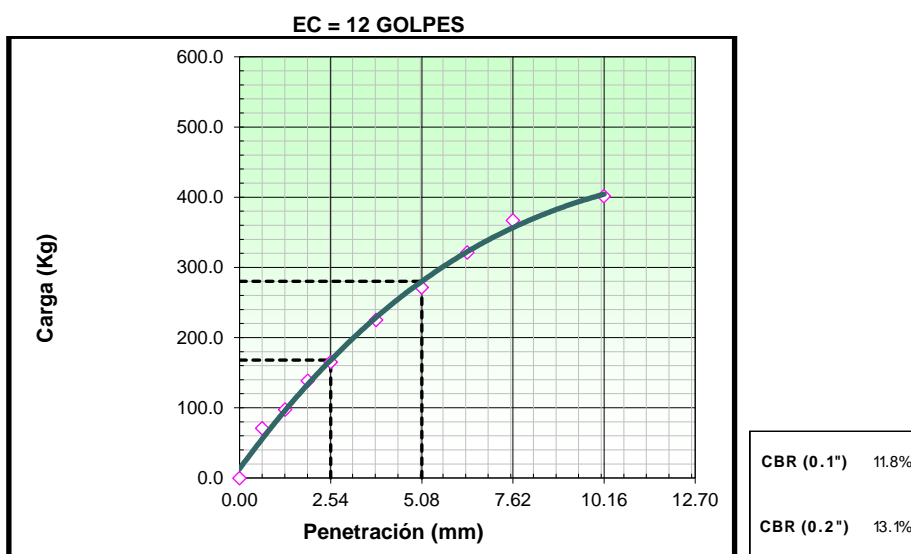
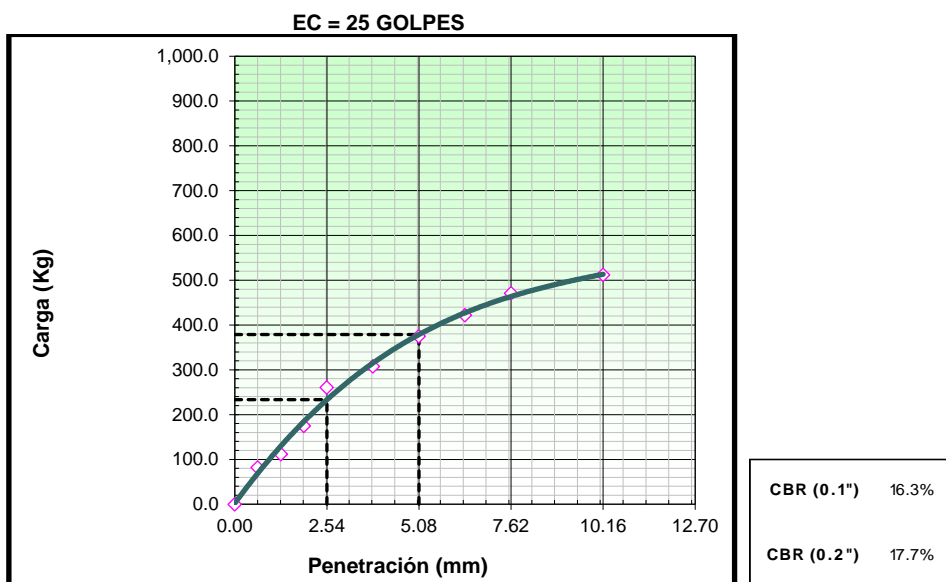
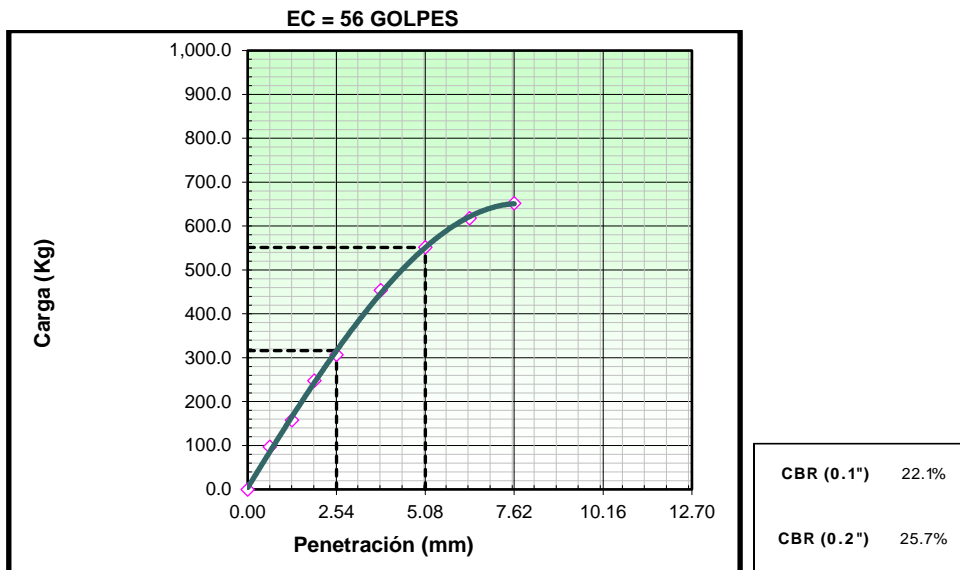


Figura 49. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 4%, C-2.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.868
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 14.6
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.775
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	12.7	0.2" : 13.9
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	8.8	0.2" : 11.8

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **8.8 (%)**

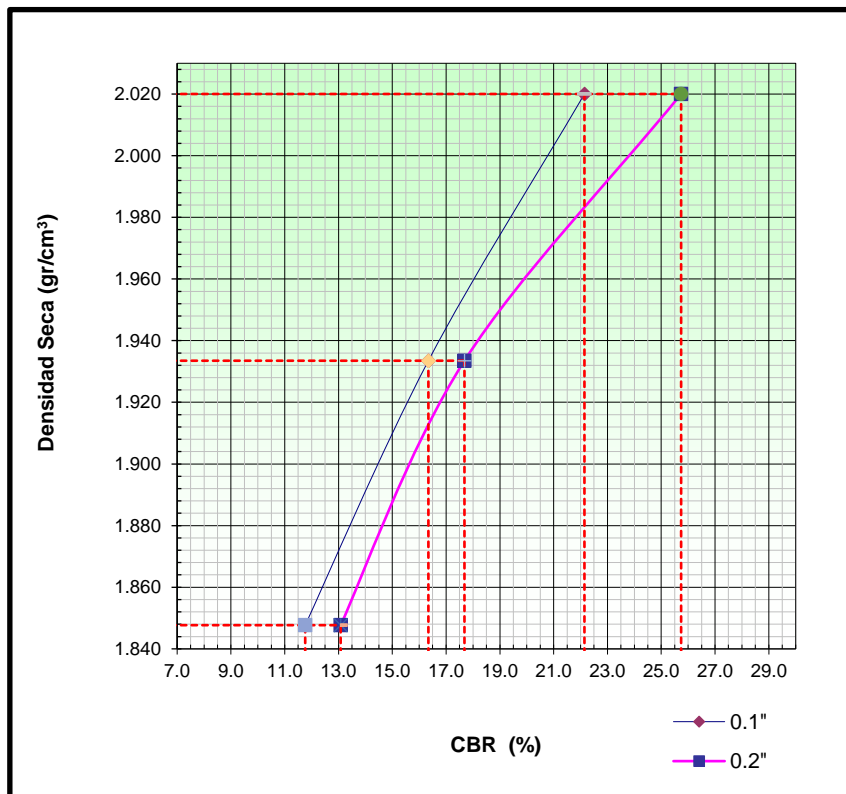


Figura 50. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 4% de cemento, C-2.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 6% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C2-CBR-6%

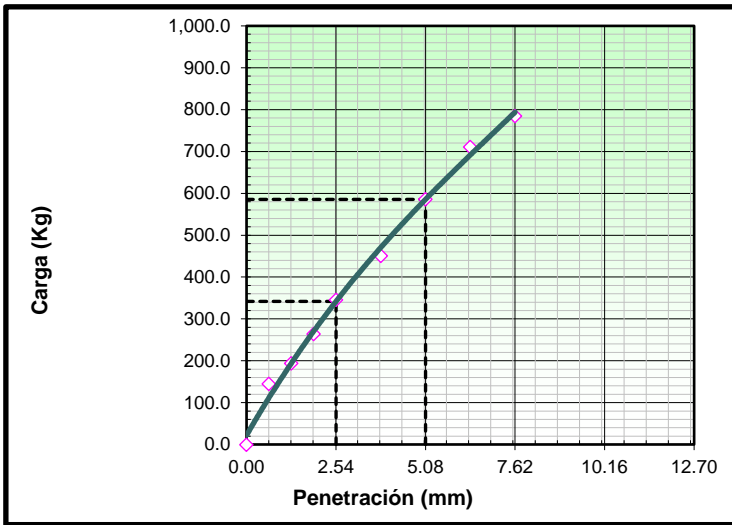
Tabla 72. CBR con el 6% de cemento, C-2.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12541.00	12676.00	12314.00	12410.00	12243.00	12350.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	5041	5176	4894	4990	4759	4866
Volumen del molde (cm ³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.390	2.454	2.311	2.356	2.245	2.295
Tara (N°)	8	36	27	87	81	15
Peso suelo húmedo + tara (g)	138.50	131.50	134.60	159.60	128.70	147.60
Peso suelo seco + tara (g)	122.80	115.30	119.10	137.70	114.20	127.20
Peso de tara (g)	18.70	21.60	18.90	21.70	21.10	21.70
Peso de agua (g)	15.70	16.20	15.50	21.90	14.50	20.40
Peso de suelo seco (g)	104.10	93.70	100.20	116.00	93.10	105.50
Contenido de humedad (%)	15.08	17.29	15.47	18.88	15.57	19.34
Densidad seca (g/cm ³)	2.077	2.092	2.001	1.982	1.942	1.923

Tabla 73. Penetración con el 6% de cemento, C-2.

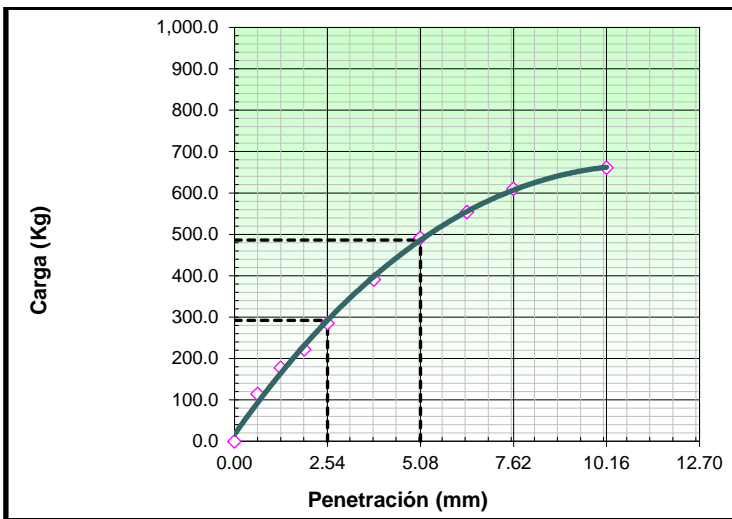
PENETRACION													
CARGA		MOLDE N° 123				MOLDE N° 122				MOLDE N° 121			
PENETR.	STAND.	CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		145.0	145.0			114.6	114.6			71.4	71.4		
1.270		194.1	194.1			177.8	177.8			101.5	101.5		
1.905		264.0	264.0			222.3	222.3			128.6	128.6		
2.540	70.5	345.6	345.6	341.8	23.9	285.6	285.6	292.1	20.5	178.6	178.6	185.2	13.0
3.810		450.7	450.7			391.2	391.2			265.9	265.9		
5.080	105.7	586.0	586.0	585.6	27.3	492.0	492.0	486.2	22.7	345.0	345.0	333.7	15.6
6.350		711.0	711.0			554.0	554.0			392.8	392.8		
7.620		785.0	785.0			610.0	610.0			421.0	421.0		
10.160		812.0	812.0			661.0	661.0			455.0	455.0		

EC = 56 GOLPES



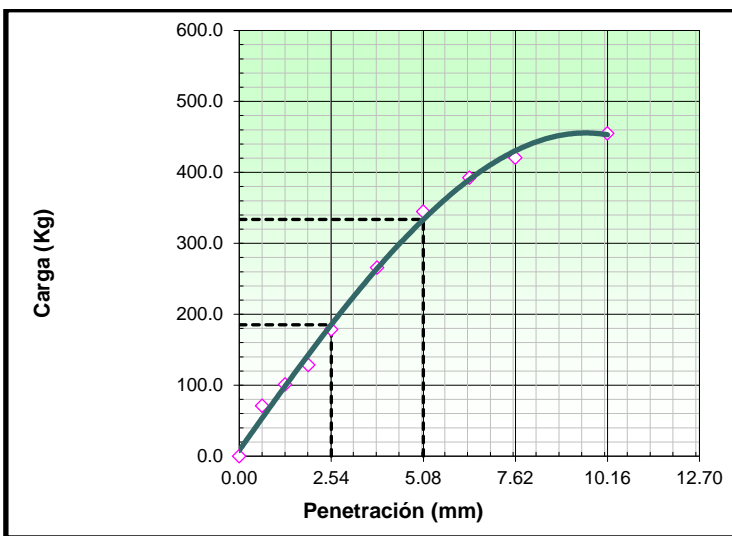
CBR (0.1")	23.9%
CBR (0.2")	27.3%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1")	20.5%
CBR (0.2")	22.7%

EC = 12 GOLPES



CBR (0.1")	13.0%
CBR (0.2")	15.6%

Figura 51. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 6%, C-2.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.036
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 15.7
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.934
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	22.9	0.2" : 25.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	11.6	0.2" : 14.4

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **11.6 (%)**

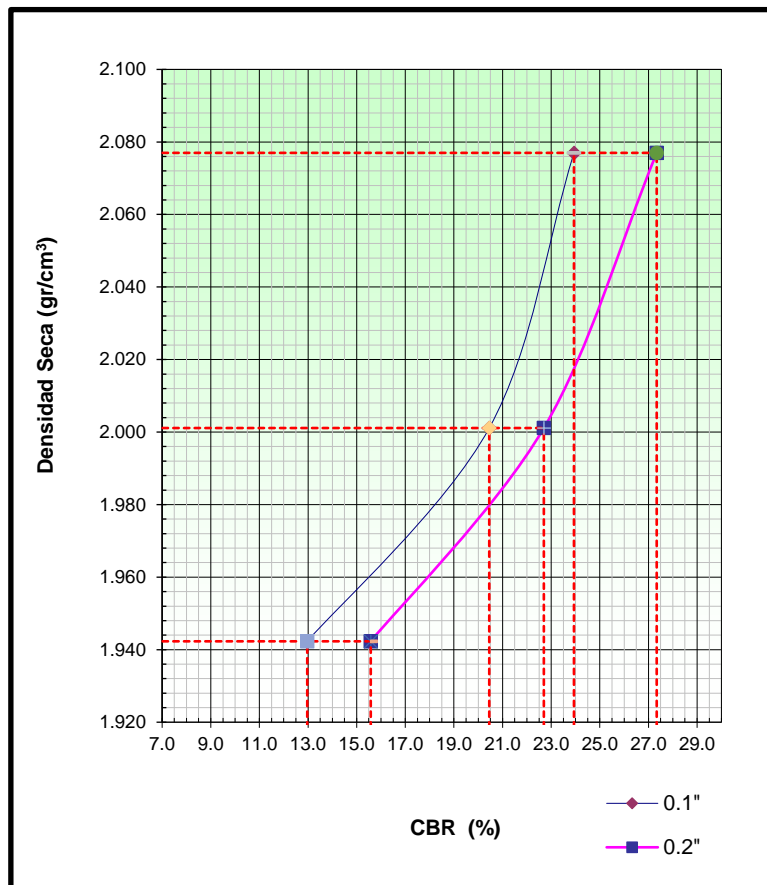


Figura 52. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 6% de cemento, C-2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
(ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

Procedencia	Terreno natural
Muestra	C-3
Profundidad	0.4-2.00m
Descripción	CALLE ISAAC NEWTON CDRA 04

Tabla 74. Análisis granulométrico, C-3

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
10"	254.000				
6"	152.400				
5"	127.000				
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	60.350				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.000				
1/2"	12.500				
3/8"	9.500				
1/4"	6.350				100.0
Nº 4	4.750	7.2	0.7	0.7	99.3
Nº 10	2.000	15.2	1.4	2.0	98.0
Nº 20	0.840	44.0	4.0	6.1	93.9
Nº 40	0.425	92.6	8.5	14.5	85.5
Nº 60	0.250	71.3	6.5	21.1	78.9
Nº 100	0.150	42.8	3.9	25.0	75.0
Nº 200	0.075	40.4	3.7	28.7	71.3
< Nº 200	FONDO	780.5	71.3	100.0	0.0

OBSERVACIONES	:	
Grava > 2"	:	0.0
Grava 2" - Nº 4	:	0.7
Arena Nº4 - Nº 200	:	28.0
Finos < Nº 200	:	71.3
%>3"	:	0.0%

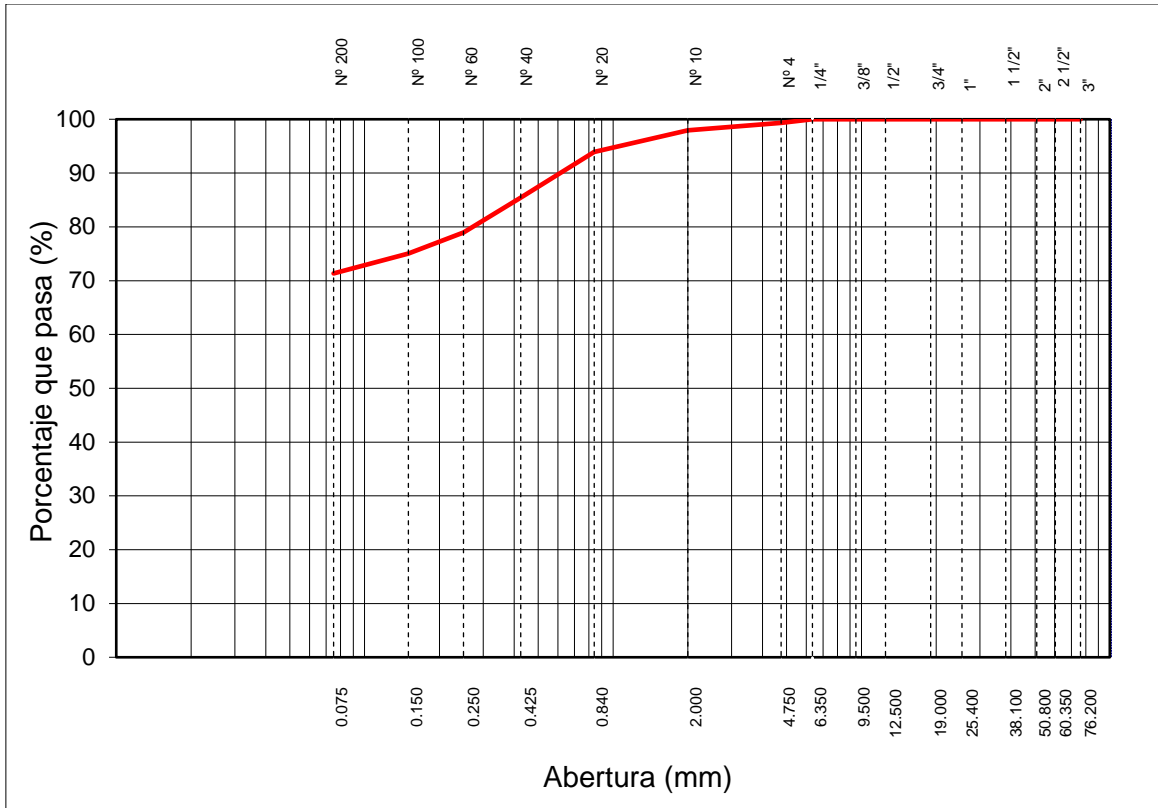


Figura 53. Análisis granulométrico, C-3

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO
MTC E 108 - A.S.T.M. D 2216**

Tabla 75. Contenido de humedad, C-3.

Nº DE ENSAYOS		1	2
Nº Tara			
Peso Tara + Suelo Húmedo	(gr.)	1795.0	800.0
Peso Tara + Suelo Seco	(gr.)	1493.0	666.2
Peso Tara	(gr.)		
Peso Agua	(gr.)	302.0	133.8
Peso Suelo Seco	(gr.)	1493.0	666.2
Contenido de Humedad	(gr.)	20.2	20.1
Promedio (%)		20.2	

**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E
INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90**

C-3-IP

Tabla 76. Límite Líquido, C-3.

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		37	30	31
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	30.70	32.00	28.60
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	26.70	27.90	25.50
PESO DE AGUA	(g)	4.00	4.10	3.10
PESO DEL TARRO	(g)	14.00	14.40	14.50
PESO DEL SUELO SECO	(g)	12.70	13.50	11.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	31.50	30.37	28.18
NUMERO DE GOLPES		15	21	33

Tabla 77. Límite plástico, C-3.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		17	35
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	28.16	11.20
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	27.00	10.31
PESO DE AGUA	(g)	1.16	0.89
PESO DEL TARRO	(g)	21.90	6.38
PESO DEL SUELO SECO	(g)	5.10	3.93
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22.75	22.65



Figura 54. Curva de límite líquido, C-3

Tabla 78. Índice de plasticidad C-3.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	29%
LIMITE PLASTICO	23%
INDICE DE PLASTICIDAD	6%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 2% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C3-IP-2%

Tabla 79. Limite liquido con el 2% cemento, C-3.

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		18	1	3
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	36.84	40.80	38.75
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	32.21	35.68	33.94
PESO DE AGUA	(g)	4.63	5.12	4.81
PESO DEL TARRO	(g)	16.92	17.79	16.17
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.29	17.89	17.77
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	30.28	28.62	27.07
NUMERO DE GOLPES		14	21	31

Tabla 80. Limite plástico con el 2% cemento, C-3.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		4	19
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.52	10.64
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.81	9.81
PESO DE AGUA	(g)	0.71	0.83
PESO DEL TARRO	(g)	6.70	6.10
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.11	3.71
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22.83	22.37



Figura 55. Curva de limite líquido con el 2% de cemento, C-2

Tabla 81. Índice de plasticidad C3-IP-2%.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	28%
LIMITE PLASTICO	23%
INDICE DE PLASTICIDAD	5%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 4% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C3-IP-4%

Tabla 82. Límite líquido con el 4% cemento, C-3

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		14	48	41
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	41.70	43.50	38.25
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	36.10	37.90	33.94
PESO DE AGUA	(g)	5.60	5.60	4.31
PESO DEL TARRO	(g)	17.26	17.18	17.66
PESO DEL SUELO SECO	(g)	18.84	20.72	16.28
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	29.72	27.03	26.47
NUMERO DE GOLPES		13	24	30

Tabla 83. Limite plástico con el 4% cemento, C-3.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		11	27
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.47	11.08
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.77	10.32
PESO DE AGUA	(g)	0.70	0.76
PESO DEL TARRO	(g)	6.70	6.89
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.07	3.43
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	22.80	22.16



Figura 56. Curva de límite líquido con el 4% de cemento, C-3

Tabla 84. Índice de plasticidad C3-IP-4%.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	27%
LIMITE PLASTICO	23%
INDICE DE PLASTICIDAD	4%

METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS CON 6% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I

MTC E 110 Y E 111 - A.S.T.M. D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90

MUESTRA: C3-IP-6%

Tabla 85. Límite líquido con el 6% cemento, C-3

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)				
Nº TARRO		8	17	12
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	35.80	37.50	32.20
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	31.20	33.20	29.70
PESO DE AGUA	(g)	4.60	4.30	2.50
PESO DEL TARRO	(g)	15.24	17.26	19.37
PESO DEL SUELO SECO	(g)	15.96	15.94	10.33
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	28.82	26.98	24.20
NUMERO DE GOLPES		13	20	33

Tabla 86. Limite plástico con el 6% cemento, C-3.

LIMITE PLASTICO (MTC E 111)			
Nº TARRO		18	7
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	10.00	10.28
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	9.28	9.63
PESO DE AGUA	(g)	0.72	0.65
PESO DEL TARRO	(g)	6.19	6.90
PESO DEL SUELO SECO	(g)	3.09	2.73
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	23.30	23.81



Figura N° 57. Curva de límite líquido con el 6% de cemento, C-3

Tabla 87. Índice de plasticidad C3-IP-4%.

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	26%
LIMITE PLASTICO	23%
INDICE DE PLASTICIDAD	3%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C-3-DMS-0%

Tabla 88. Proctor modificado, C-3.

Número de Ensayo	Método "A"				
		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5580	5690	5741	5690
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1670	1780	1831	1780
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.762	1.878	1.931	1.878
Recipiente N°		17	14	71	45
Peso del suelo húmedo + tara	gr	141.30	135.40	108.75	118.40
Peso del suelo seco + tara	gr	135.70	128.00	101.60	108.90
Tara	gr	22.40	21.10	21.50	21.60
Peso de agua	gr	5.60	7.40	7.15	9.50
Peso del suelo seco	gr	113.30	106.90	80.10	87.30
Contenido de agua	%	4.94	6.92	8.93	10.88
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.679	1.756	1.773	1.693
Densidad máxima	(gr/cm ³)			1.777	
Humedad óptima	(%)			8.4	

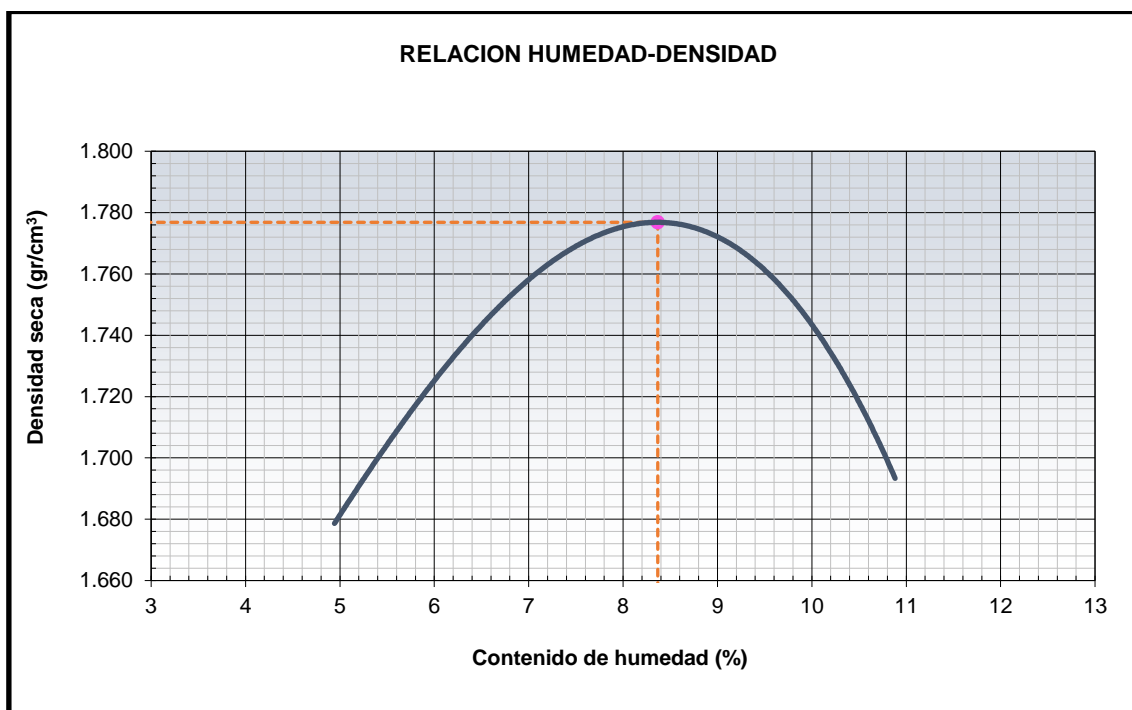


Figura 58. Proctor Modificado, C-3.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 2% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C-3-DMS-2%

Tabla 89 Proctor modificado con el 2% cemento, C-3.

		Método "A"			
Número de Ensayo		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5621	5740	5851	5749
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1711	1830	1941	1839
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.805	1.930	2.047	1.940
Recipiente N°		5	8	14	2
Peso del suelo húmedo + tara	gr	115.90	141.10	125.90	114.72
Peso del suelo seco + tara	gr	108.60	129.90	114.00	102.80
Tara	gr	21.50	21.20	21.40	21.70
Peso de agua	gr	7.30	11.20	11.90	11.92
Peso del suelo seco	gr	87.10	108.70	92.60	81.10
Contenido de agua	%	8.38	10.30	12.85	14.70
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.665	1.750	1.814	1.691
Densidad máxima	(gr/cm ³)		1.817		
Humedad óptima	(%)		12.5		

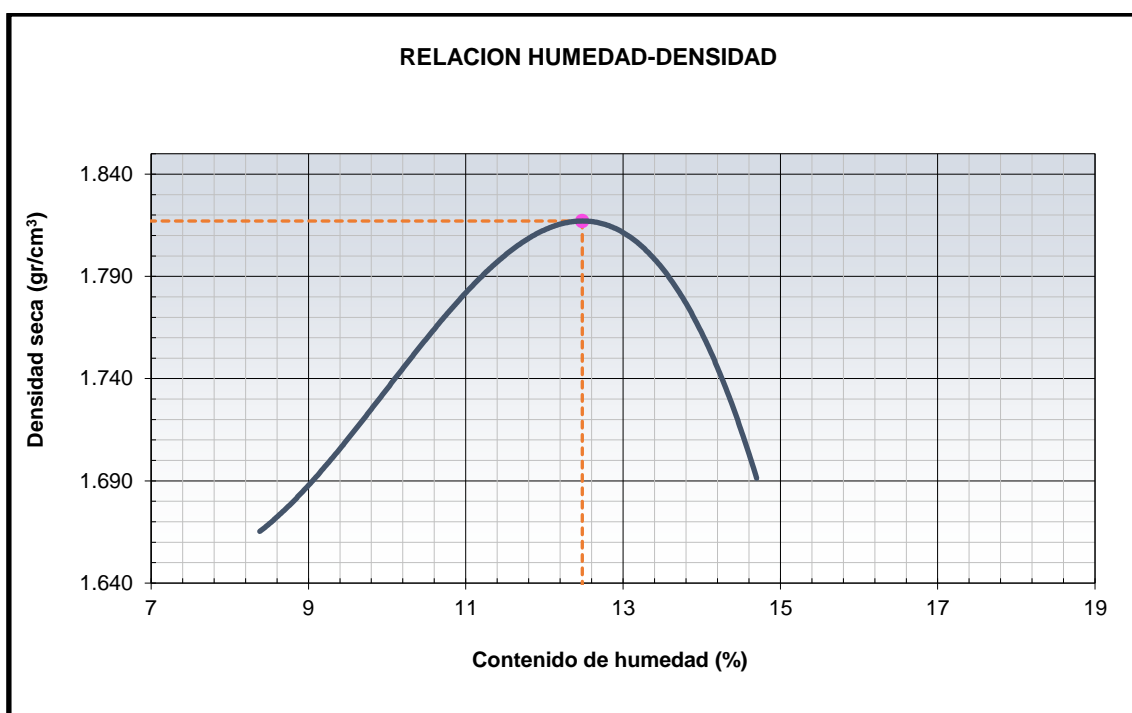


Figura 59. Curva del Proctor Modificado con el 2% cemento, C-3.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 4% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C2-DMS-4%

Tabla 90. Proctor modificado con el 4% cemento, C-3.

Método "A"					
Número de Ensayo		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	5775	5890	5920	5810
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	1865	1980	2010	1900
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	1.967	2.089	2.120	2.004
Recipiente N°		61	55	31	45
Peso del suelo húmedo + tara	gr	127.60	176.30	148.90	128.70
Peso del suelo seco + tara	gr	117.40	159.90	132.70	113.80
Tara	gr	21.70	32.50	22.40	21.50
Peso de agua	gr	10.20	16.40	16.20	14.90
Peso del suelo seco	gr	95.70	127.40	110.30	92.30
Contenido de agua	%	10.66	12.87	14.69	16.14
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.778	1.850	1.849	1.726
Densidad máxima	(gr/cm ³)		1.865		
Humedad óptima	(%)		13.8		

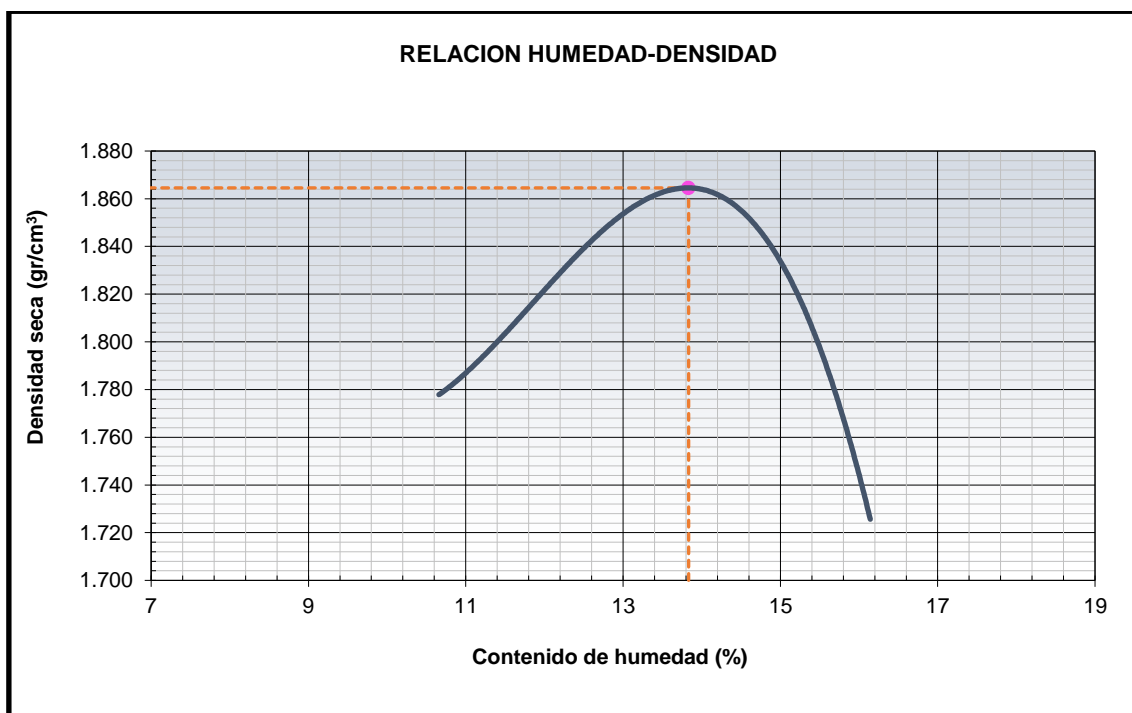


Figura 60. Curva del Proctor Modificado con el 4% cemento, C-3.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO CON EL 6% DE CEMENTO

(ASTM D-1557, MTC-115)

MUESTRA: C-3-DMS-6%

Tabla 91. Proctor modificado con el 6% cemento, C-3.

Método "A"					
Peso suelo + molde	gr	6025	6191	6115	5980
Peso molde	gr	3910	3910	3910	3910
Peso suelo húmedo compactado	gr	2115	2281	2205	2070
Volumen del molde	cm ³	948	948	948	948
Peso volumétrico húmedo	gr	2.231	2.406	2.326	2.184
Recipiente N°		25	17	47	51
Peso del suelo húmedo + tara	gr	130.50	134.70	121.30	137.90
Peso del suelo seco + tara	gr	118.30	120.90	106.50	118.50
Tara	gr	21.70	32.50	22.40	21.50
Peso de agua	gr	12.20	13.80	14.80	19.40
Peso del suelo seco	gr	96.60	88.40	84.10	97.00
Contenido de agua	%	12.63	15.61	17.60	20.00
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	1.981	2.081	1.978	1.820
Densidad máxima	(gr/cm ³)			2.094	
Humedad óptima	(%)			14.8	

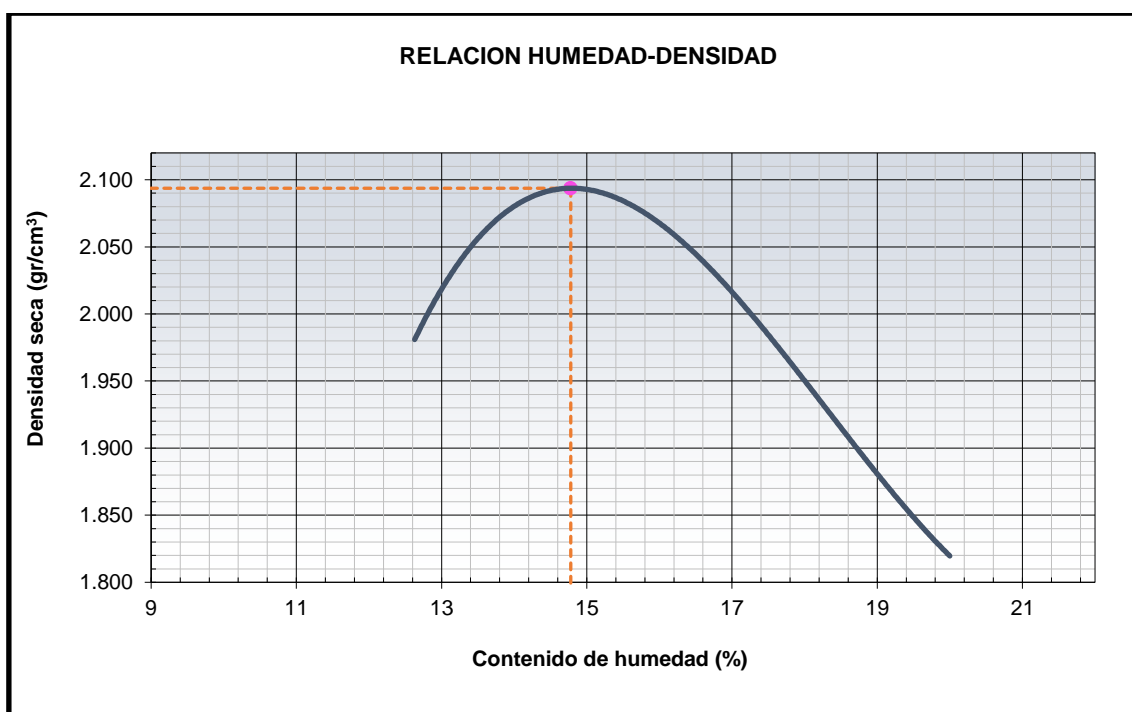


Figura 61. Curva del Proctor Modificado con el 6% cemento, C-3.

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R.

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C-3-CBR-0%

Tabla 92. CBR, C-3.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11680.00	11780.00	11550.00	11674.00	11450.00	11610.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4180	4280	4130	4254	3966	4126.00
Volumen del molde (cm³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm³)	1.982	2.029	1.950	2.008	1.871	1.946
Tara (N°)	30	23	40	21	8	24
Peso suelo húmedo + tara (g)	98.60	133.50	124.60	141.80	137.60	152.30
Peso suelo seco + tara (g)	93.20	123.60	117.10	131.00	128.70	140.40
Peso de tara (g)	22.30	21.50	22.80	21.30	21.40	21.40
Peso de agua (g)	5.40	9.90	7.50	10.80	8.90	11.90
Peso de suelo seco (g)	70.90	102.10	94.30	109.70	107.30	119.00
Contenido de humedad (%)	7.62	9.70	7.95	9.85	8.29	10.00
Densidad seca (g/cm³)	1.842	1.850	1.806	1.828	1.727	1.769

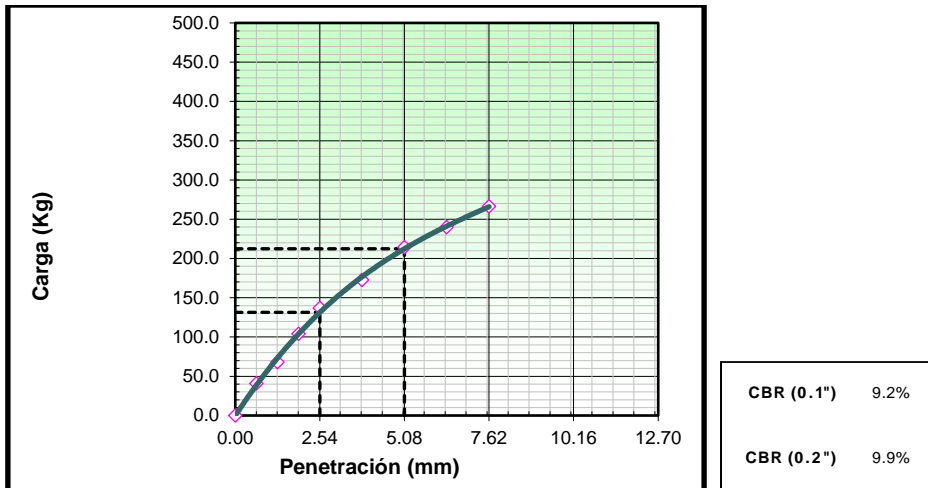
Tabla 93. Expansión CBR, C-3.

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
24/01/1900	10:00	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
25/01/1900	10:06	24	0.100	0.100	0.08	0.100	0.100	0.08	0.100	0.100	0.08
26/01/1900	10:12	48	0.200	0.200	0.17	0.210	0.210	0.18	0.250	0.250	0.21
27/01/1900	10:18	72	0.300	0.300	0.25	0.350	0.350	0.30	0.350	0.350	0.30
28/01/1900	10:24	84	0.350	0.350	0.30	0.370	0.370	0.31	0.400	0.400	0.34

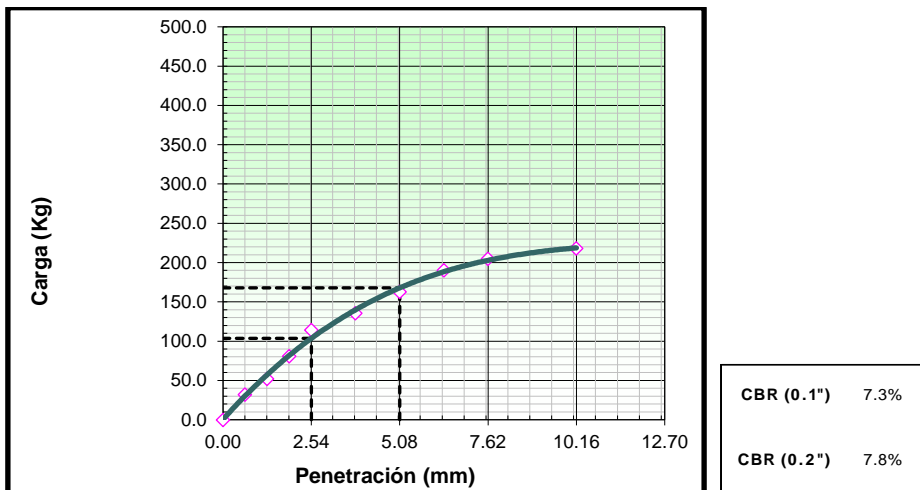
Tabla 94. Penetración - CBR, C-3.

PENETRACION													
CARGA		MOLDE N° 123				MOLDE N° 122				MOLDE N° 121			
PENETR.	STAND.	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		41.0	41.0			32.0	32.0			24.5	24.5		
1.270		68.0	68.0			52.1	52.1			35.4	35.4		
1.905		104.2	104.2			81.0	81.0			51.2	51.2		
2.540	70.5	136.9	136.9	131.4	9.2	114.3	114.3	103.6	7.3	64.0	64.0	64.7	4.5
3.810		172.8	172.8			135.6	135.6			86.3	86.3		
5.080	105.7	214.6	214.6	212.4	9.9	162.8	162.8	167.8	7.8	108.1	108.1	107.6	5.0
6.350		240.0	240.0			190.4	190.4			125.0	125.0		
7.620		266.3	266.3			205.0	205.0			132.0	132.0		
10.160						218.0	218.0			145.0	145.0		

EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

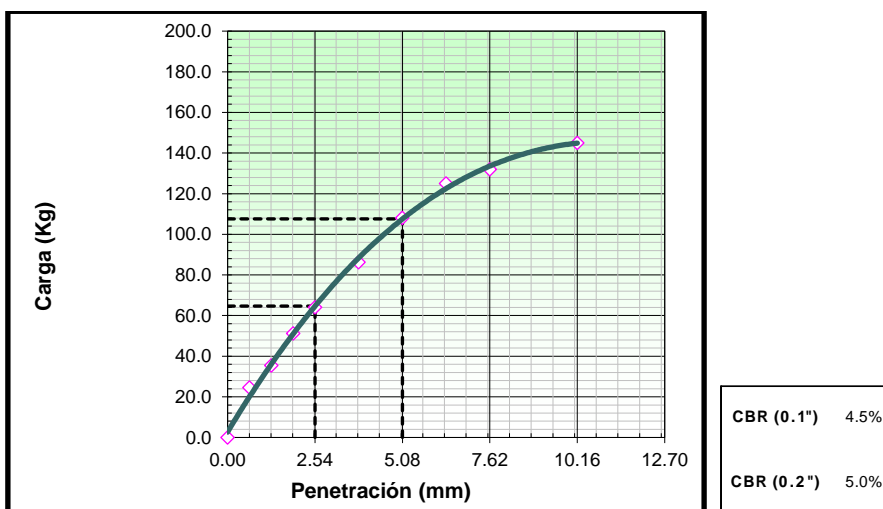


Figura 62. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR, C-3.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.777
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 8.4
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 1.688
DENSIDAD INSITU (g/cm3) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	6.0	0.2" : 6.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	4.0	0.2" : 4.6

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **4.0 (%)**

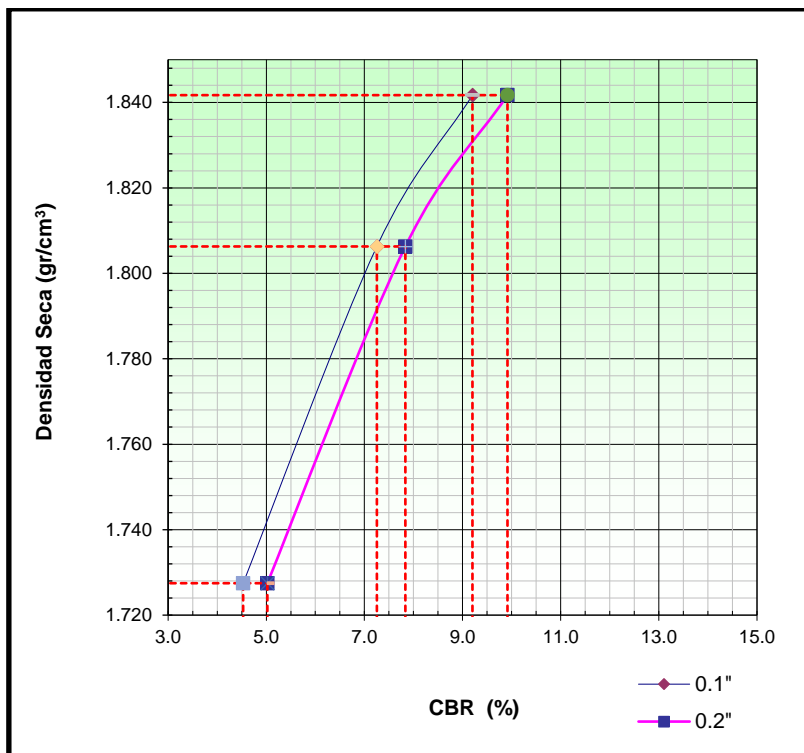


Figura 63. Curva CBR – densidad seca de la muestra de suelo, C-3.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 2% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C-3-CBR-2%

Tabla 95. CBR con el 2% de cemento, C-3.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	11950.00	12100.00	11764.00	11905.00	11685.00	11795.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4450	4600	4344	4485	4201	4311
Volumen del molde (cm ³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.110	2.181	2.051	2.118	1.982	2.033
Tara (N°)	2	14	7	75	13	19
Peso suelo húmedo + tara (g)	132.00	158.90	156.40	141.30	165.80	151.30
Peso suelo seco + tara (g)	120.50	141.80	141.90	125.60	150.10	132.80
Peso de tara (g)	22.30	21.50	22.40	21.50	21.70	21.50
Peso de agua (g)	11.50	17.10	14.50	15.70	15.70	18.50
Peso de suelo seco (g)	98.20	120.30	119.50	104.10	128.40	111.30
Contenido de humedad (%)	11.71	14.21	12.13	15.08	12.23	16.62
Densidad seca (g/cm ³)	1.889	1.910	1.829	1.840	1.766	1.744

Tabla 96. Penetración con el 2% de cemento, C-3.

PENETRACION													
PENETR.	STAND.	MOLDE N° 123				MOLDE N° 122				MOLDE N° 121			
		CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		71.2	71.2			69.3	69.3			57.6	57.6		
1.270		142.1	142.1			114.0	114.0			81.5	81.5		
1.905		198.0	198.0			174.0	174.0			121.0	121.0		
2.540	70.5	266.0	266.0	258.5	18.1	223.0	223.0	220.5	15.4	172.0	172.0	159.2	11.1
3.810		350.0	350.0			296.0	296.0			215.0	215.0		
5.080	105.7	410.0	410.0	413.2	19.3	351.0	351.0	346.8	16.2	250.0	250.0	260.2	12.1
6.350		460.0	460.0			380.0	380.0			297.0	297.0		
7.620		495.0	495.0			410.0	410.0			324.0	324.0		
10.160		558.3	558.3			445.0	445.0			350.0	350.0		

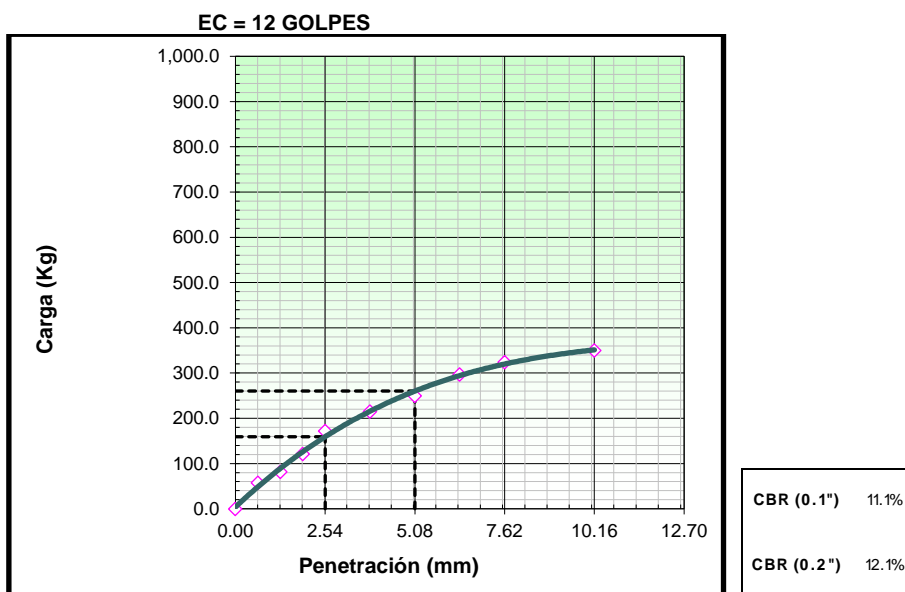
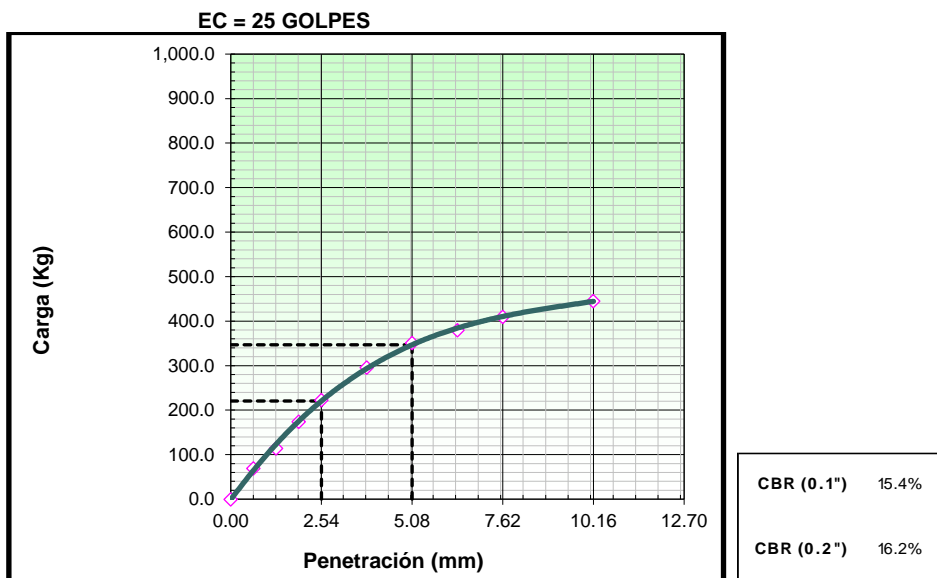
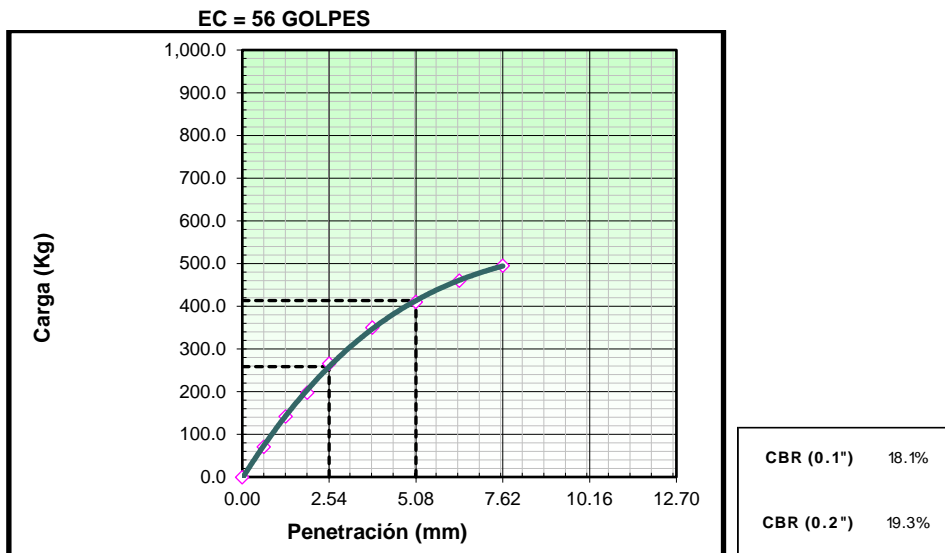


Figura 64. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 2%, C-3.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.817
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 12.5
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.726
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	14.7	0.2" : 15.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	7.7	0.2" : 9.2

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 7.7 (%)

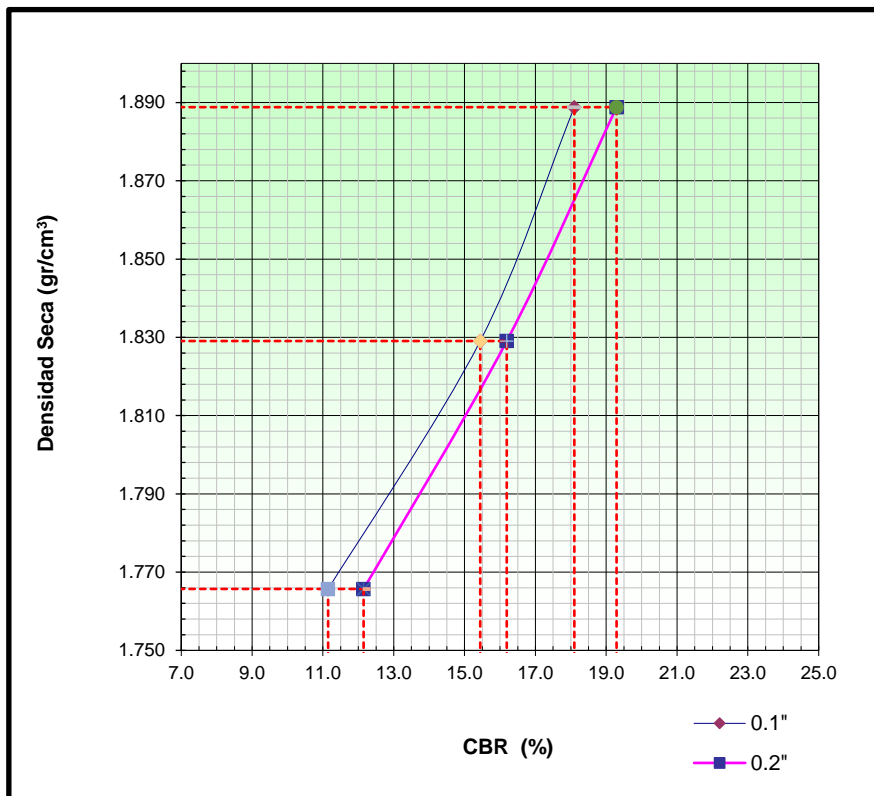


Figura 65. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 2% de cemento, C-3.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 4% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C-3-CBR-4%

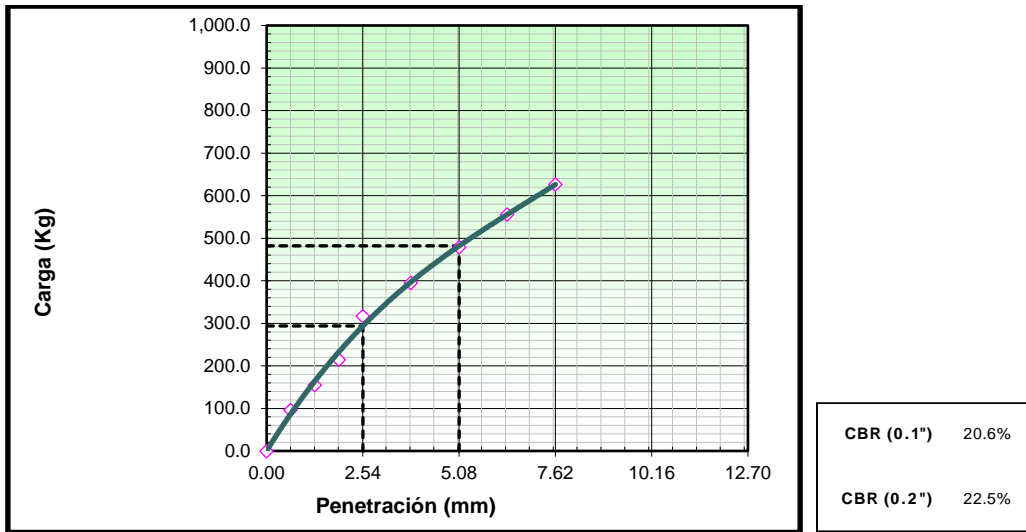
Tabla 97. CBR con el 4% de cemento, C-3.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO		NO SATURADO		NO SATURADO	
	SATURADO	SATURADO	SATURADO	SATURADO	SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12285.00	12370.00	11901.00	12145.00	11840.00	11963.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	4785	4870	4481	4725	4356	4479
Volumen del molde (cm³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm³)	2.269	2.309	2.116	2.231	2.055	2.113
Tara (N°)	25	21	27	52	16	45
Peso suelo húmedo + tara (g)	128.40	111.60	133.74	176.30	144.62	115.20
Peso suelo seco + tara (g)	115.90	99.80	120.50	154.30	129.80	101.30
Peso de tara (g)	22.30	21.50	22.40	21.50	21.70	21.50
Peso de agua (g)	12.50	11.80	13.24	22.00	14.82	13.90
Peso de suelo seco (g)	93.60	78.30	98.10	132.80	108.10	79.80
Contenido de humedad (%)	13.35	15.07	13.50	16.57	13.71	17.42
Densidad seca (g/cm³)	2.002	2.007	1.864	1.914	1.807	1.799

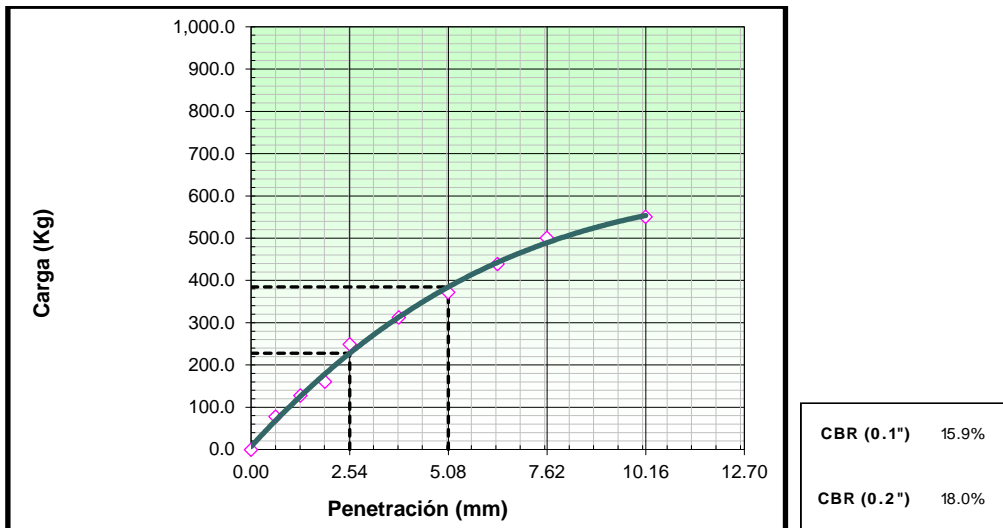
Tabla 98. Penetración con el 4% de cemento, C-2.

PENETRACION													
CARGA		MOLDE N° 123				MOLDE N° 122				MOLDE N° 121			
PENETR.	STAND.	CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
mm	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.635		96.0	96.0			78.0	78.0			63.0	63.0		
1.270		155.0	155.0			128.0	128.0			91.0	91.0		
1.905		214.7	214.7			161.0	161.0			140.2	140.2		
2.540	70.5	317.0	317.0	293.8	20.6	248.9	248.9	227.8	15.9	196.3	196.3	182.9	12.8
3.810		395.6	395.6			312.8	312.8			254.9	254.9		
5.080	105.7	478.6	478.6	482.1	22.5	372.0	372.0	384.6	18.0	307.8	307.8	321.1	15.0
6.350		556.0	556.0			439.0	439.0			377.0	377.0		
7.620		627.0	627.0			501.0	501.0			425.0	425.0		
10.160		741.0	741.0			551.0	551.0			469.0	469.0		

EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

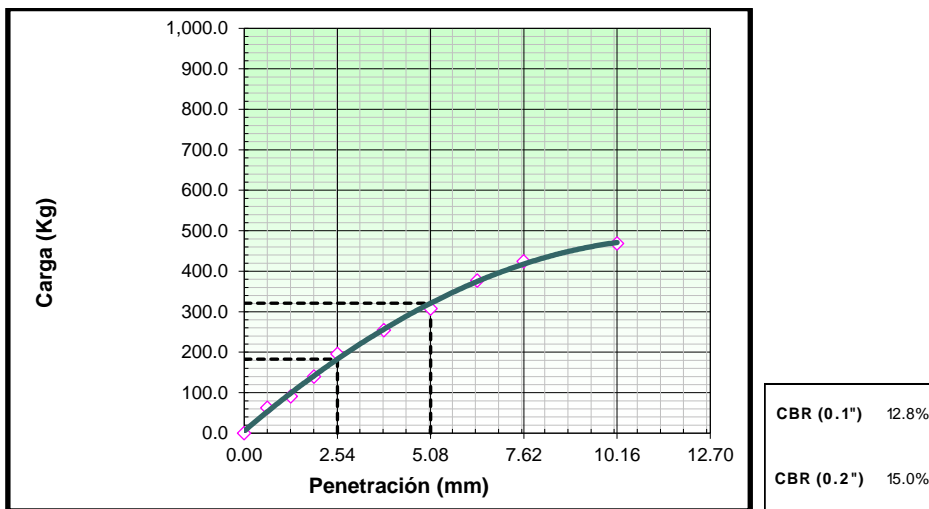


Figura 66. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 4%, C-3.

METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.865
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 13.8
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.771
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	16.0	0.2" : 18.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	10.5	0.2" : 12.8

RESULTADOS CBR a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **10.5 (%)**

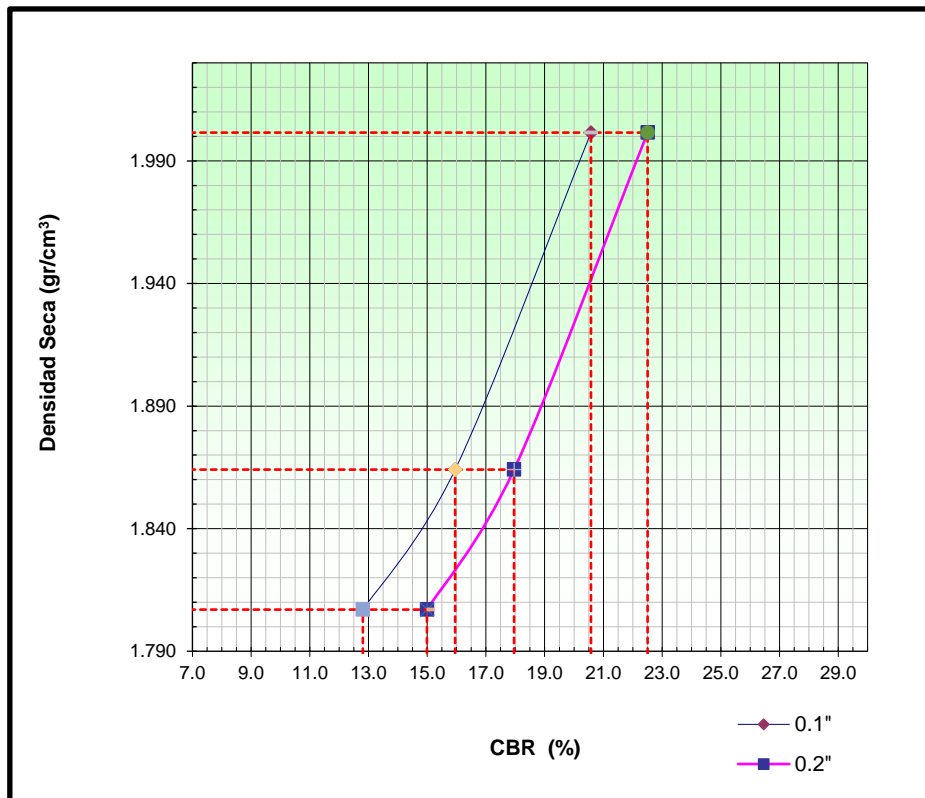


Figura 67. Curva CBR – densidad seca de la muestra con el 4% de cemento, C-3.

**RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA - C.B.R. CON EL 6% DE CEMENTO PORTLAND
TIPO I**

(ASTM D 1883 - MTC E 132)

MUESTRA: C-3-CBR-6%

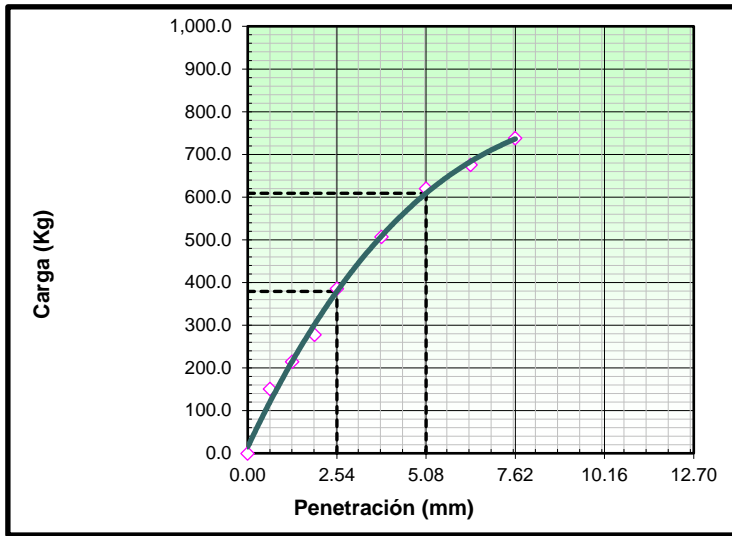
Tabla 99. CBR con el 6% de cemento, C-3.

Molde N°	123		122		121	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12652.00	12766.00	12472.00	12611.00	12311.00	12475.00
Peso de molde (g)	7500.00	7500.00	7420.00	7420.00	7484.00	7484.00
Peso del suelo húmedo (g)	5152	5266	5052	5191	4827	4991
Volumen del molde (cm ³)	2109.00	2109.00	2118.00	2118.00	2120.00	2120.00
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.443	2.497	2.385	2.451	2.277	2.354
Tara (N°)	46	77	21	10	11	61
Peso suelo húmedo + tara (g)	155.30	165.50	163.80	142.30	177.20	131.70
Peso suelo seco + tara (g)	138.50	145.30	145.80	124.60	157.20	114.00
Peso de tara (g)	21.84	21.50	21.70	21.80	21.40	21.80
Peso de agua (g)	16.80	20.20	18.00	17.70	20.00	17.70
Peso de suelo seco (g)	116.66	123.80	124.10	102.80	135.80	92.20
Contenido de humedad (%)	14.40	16.32	14.50	17.22	14.73	19.20
Densidad seca (g/cm ³)	2.135	2.147	2.083	2.091	1.985	1.975

Tabla 100. Penetración con el 6% de cemento, C-3.

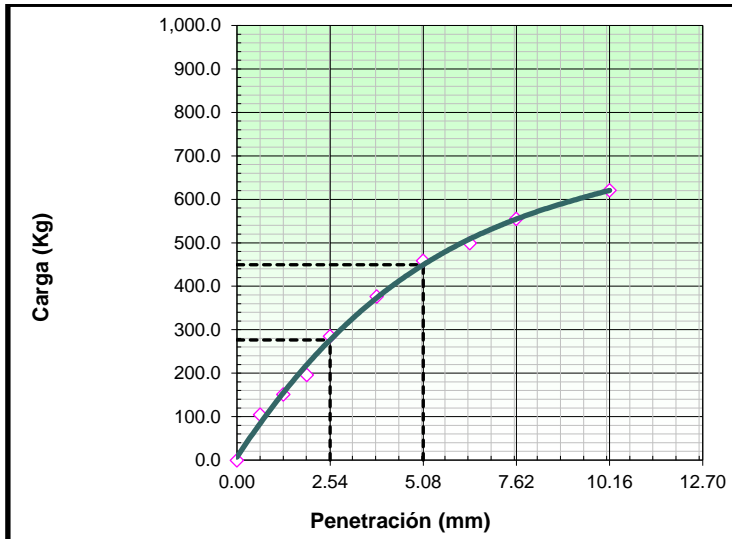
PENETRACION														
PENETR.	CARGA		MOLDE N° 123				MOLDE N° 122				MOLDE N° 121			
	STAND.	CARGA	CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION	
mm	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0			
0.635		151.2	151.2			105.0	105.0			87.5	87.5			
1.270		214.7	214.7			151.3	151.3			132.5	132.5			
1.905		277.5	277.5			196.3	196.3			164.5	164.5			
2.540	70.5	385.8	385.8	379.1	26.5	285.0	285.0	276.4	19.4	215.1	215.1	205.8	14.4	
3.810		506.9	506.9			376.9	376.9			261.3	261.3			
5.080	105.7	620.0	620.0	608.9	28.4	458.6	458.6	449.5	21.0	328.2	328.2	341.7	16.0	
6.350		675.4	675.4			499.6	499.6			396.3	396.3			
7.620		738.0	738.0			555.5	555.5			458.3	458.3			
10.160		790.0	790.0			621.1	621.1			512.7	512.7			

EC = 56 GOLPES



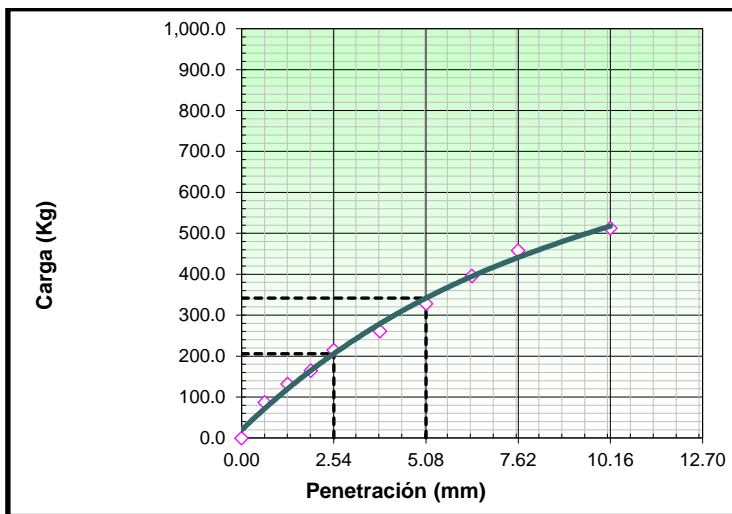
CBR (0.1")	26.5%
CBR (0.2")	28.4%

EC = 25 GOLPES



CBR (0.1")	19.4%
CBR (0.2")	21.0%

EC = 12 GOLPES



CBR (0.1")	14.4%
CBR (0.2")	16.0%

Figura 68. Curvas Esfuerzo - Deformación corregidas del CBR con el 6%, C-3.

METODO DE COMPACTACION : ASTM
 : D1557
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.094
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 14.8
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 1.989
DENSIDAD INSITU (g/cm³) :

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	20.6	0.2" : 22.2
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	14.4	0.2" : 15.9

RESULTADOS CBR

a 0.1":

Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = **14.4 (%)**

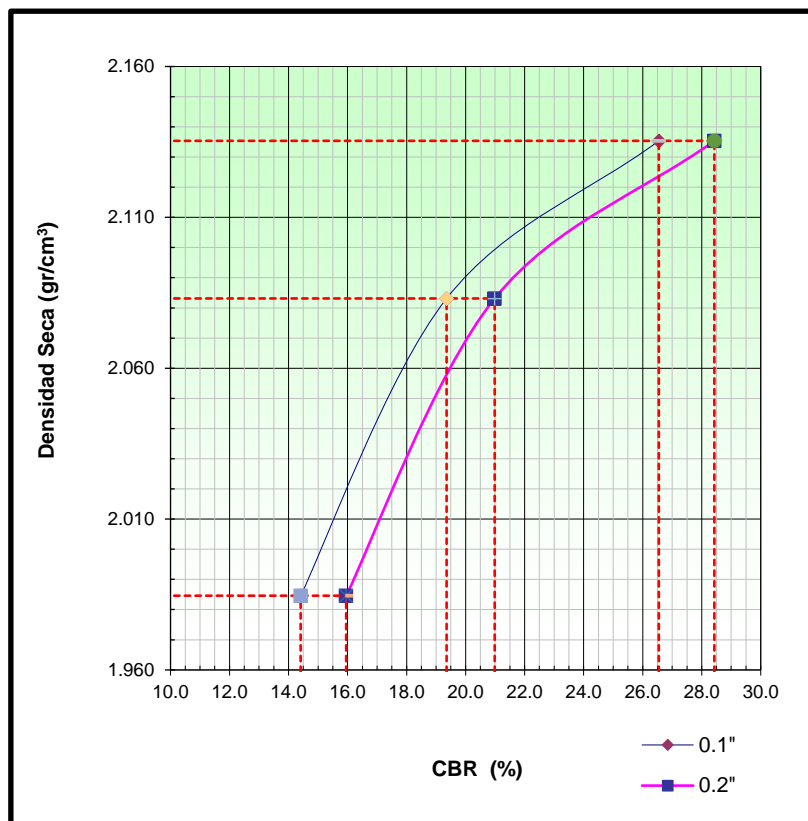


Figura 69. Curva CBR – Densidad seca de la muestra con el 6% de cemento, C-3.

ANEXO 02 PANEL FOTOGRÁFICO

PROYECTO DE TESIS: “INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE ISAAC NEWTON, JAEN-CAJAMARCA”

Bachiller:	María Medalit Cruz Chanta
Fecha:	Abril

PANEL FOTOGRÁFICO

EXCAVACIÓN DE CALICATAS, CALLE ISAAC NEWTON



Figura 70. Replanteo de calicata en calle Isaac Newton #01.



Figura 71. Excavación de calicata C-1, h=2.00m



Figura 72. Replanteo de calicata en calle Isaac Newton #04.



Figura 73. Excavación de calicata C-2, h=2.00m



Figura 74. Excavación de calicata C-3, h=2.00m Calle Isaac Newton #8.



Figura 75. Profundidad de excavación h=2.00m.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



Figura 76. Análisis granulométrico, tamizado. Muestra C-1

ENSAYO DE ANÁLISIS DE CONSISTENCIA



Figura 77. Determinación del Límite Líquido, muestra C2-IP-2%.



Figura 78. Determinación del Límite plástico, muestra C3-IP-2%.

PROCTOR MODIFICADO



Figura 79. Peso de la muestra C-2, Proctor Modificado.

ENSAYO DE CBR



Figura 80. Ensayo de CBR al 2% para la muestra C-3.



Figura 81. Peso de la muestra C1-CBR-2



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00128427

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 005424-2021/DSD - INDECOPI de fecha 23 de febrero de 2021, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación CEIMSUP y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Distingue : Servicios de estudios geotécnicos, geológicos, geofísicos, de mecánica de suelos, de tecnología del concreto y asfalto, hidrológicos, hidráulicos, de impacto ambiental y control de calidad en obras de ingeniería

Clase : 42 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 0877194-2020

Titular : GRUPO EDICAM S.A.C.

País : Perú

Vigencia : 23 de febrero de 2031

Tomo : 0643

Folio : 041

Director
Dirección de Signos Distintivos
INDECOPI



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Indecopi, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web.

<https://enlinea.indecopi.gob.pe/verificador>

Id Documento: **b20w2a0ha5**

**GRUPO EDICAM S.A.C.**

Cal.Capitan Quiñones Nro. 100 Urb. Cercado Jaén Cajamarca - Jaén - Jaén

Email: gruposedicamsac@gmail.com

Ejecución, Supervisión De Obras, Elaboración De Expedientes Técnicos, Estudios Topográficos Control De Calidad, Estudios Geotécnicos, Estudios De Mecánica De Suelos, Estudios De Canteras, Tecnología Del Concreto, Tecnología Del Asfalto, Diseño De Pavimentos y Servicios en General.

CONSTANCIA

El que suscribe es, **Sr. EDIN DELGADO CHINGO**, identificado con **DNI N° 73140904**, en calidad de Gerente General de "**GRUPO EDICAM S.A.C**" con Numero de Ruc: 20606920751 y **CEIMSUP-CENTRO DE INVESTIGACION DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**, con certificación INDECOPI: 00128427, empresa dedicada al servicios de estudios geotécnicos, geológicos, geofísicos, de mecánica de suelos, de tecnología del concreto y asfalto, hidrológicos, hidráulicos, de impacto ambiental y control de calidad en obras de ingeniería, desde la fecha 23 de febrero de 2021.

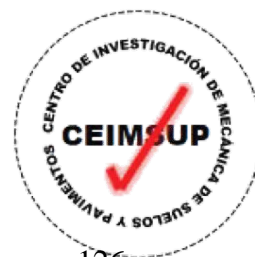
HACE CONSTAR:

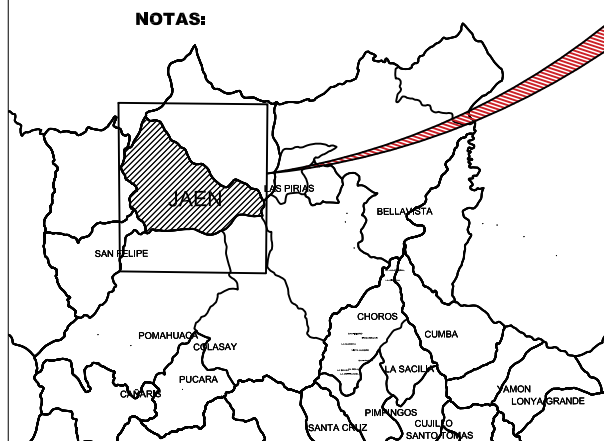
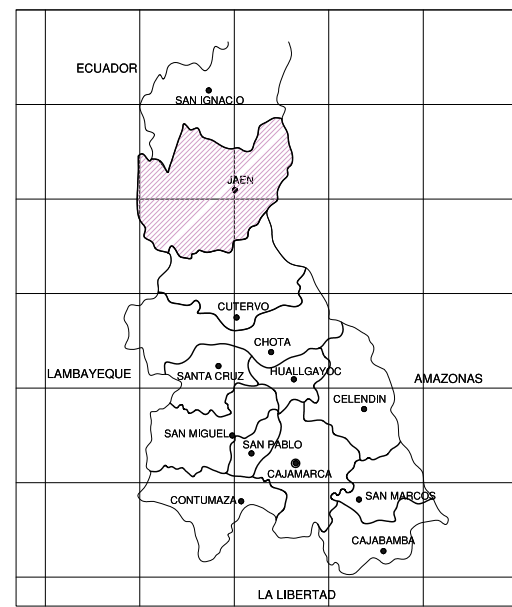
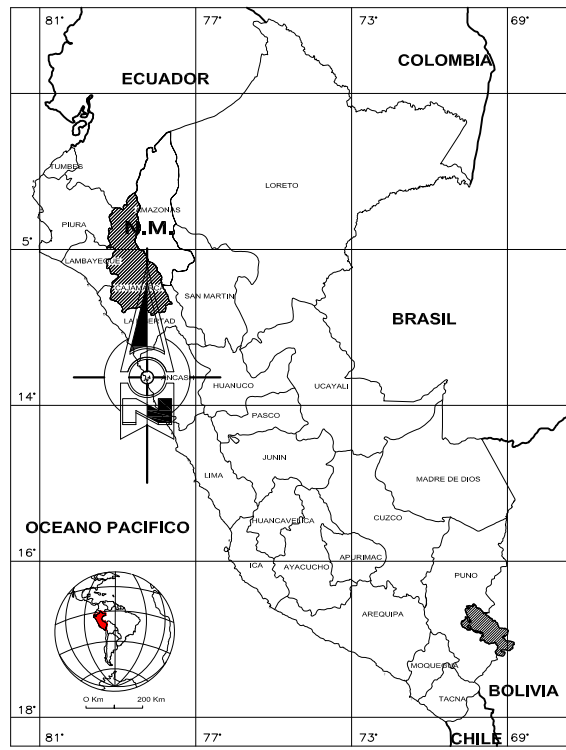
Que la **Bach. MARÍA MEDALIT CRUZ CHANTA**, identificado con **DNI N° 45372606**, ex alumno de la escuela académico profesional de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; ha realizado trabajos en el laboratorio CEIMSUP-CENTRO DE INVESTIGACION DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS, para la tesis titulada: "INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE ISAAC NEWTON, JAEN-CAJAMARCA" dichos ensayos se realizaron desde el 02 de abril hasta el 20 de Junio del 2023 llevándose a cabo las siguientes actividades:

- Realización de los ensayos para la evaluación de las características físicas y de resistencia de las muestras extraídas en su estado natural (MUESTRA PATRON).
- Realización de los ensayos para la evaluación de las características físicas y de resistencia de las muestras adicionando 2% de cemento portland tipo I.
- Realización de los ensayos para la evaluación de las características físicas y de resistencia de las muestras adicionando 4% de cemento portland tipo I.
- Realización de los ensayos para la evaluación de las características físicas y de resistencia de las muestras adicionando 6% de cemento portland tipo I.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado.

Jaén, 20 de Noviembre del 2023.





PLANO DE UBICACIÓN
ESCALA 1:100

DATOS:
SISTEMA DE PROYECCION UTM
WGS 84 Datum HEMISFERIO SUR
ZONA 17S - PERU

UBICACIÓN
ESCALA INDICADA

PROYECTO: "INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE ISAAC NEWTON, JAÉN-CAJAMARCA"				
PLANO: UBICACIÓN GEOGRÁFICA			LAMINA: U-01	
SECTOR: SAN CAMILO	DISTRITO: JAÉN	PROVINCIA: JAÉN	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	LAMINA N°: 01
JEFE DE PROYECTO: BACH. MARÍA MEDALIT CRUZ CHANTA			FECHA: NOVIEMBRE 2023	ESCALA: INDICADA



PLANO DE CALICATAS
 ESCALA 1:100

CUADRO DE PUNTOS DE CALICATAS			
SIMBOLO	CUADRA	NORTE (Y)	ESTE (X)
⊕ C-01	01	9368709.00	743888.00
⊕ C-02	04	9368776.00	744072.00
⊕ C-02	08	9368881.00	744327.00

LEYENDA

TRAMO DE ESTUDIO	—
VIVIENDAS - SOLARES	VIVIENDAS
PUNTOS CALICATAS	C-02

DATOS:
 SISTEMA DE PROYECCION UTM
 WGS 84 Datum HEMISFERIO SUR
 ZONA 17S - PERU

PLANO DE CALICATAS
 ESCALA INDICADA

PROYECTO: "INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA RESISTENCIA DEL SUELO DE LA SUBRASANTE DE LA CALLE ISAAC NEWTON, JAEN-CAJAMARCA"				
PLANO: PLANO DE CALICATAS				LAMINA: PC-01
SECTOR: SAN CAMILO	DISTRITO: JAÉN	PROVINCIA: JAÉN	DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	LAMINA N°: 01
JEFE DE PROYECTO: BACH. MARÍA MEDALIT CRUZ CHANTA			FECHA: NOVIEMBRE 2023	ESCALA: INDICADA