UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN CONSTRUCCIONES

Estudio de la Capacidad Portante mediante el CBR, del suelo de la mina de Chocarsi estabilizada con cemento tipo MH

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autor:

EDWIN FERNANDO MOSCOSO SARMIENTO

Directora:

ELVIRA MERCEDES LÓPEZ SALINAS

CUENCA-ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a toda mi familia, en especial a mi padre Edwin y a mi madre Elizabeth, que siempre fueron fuente de inspiración y fuerza en los momentos difíciles durante mi caminar universitario, siempre depositando su confianza sin dudar nunca de mis capacidades. Segundo a Dios que supo mantenerme por su gracia en el camino correcto. Es por ellos lo que soy ahora y lo que seré en un futuro.

Edwin Fernando Moscoso Sarmiento.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el producto del esfuerzo de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por tal motivo agradezco a mi directora de tesis Ing. Mercedes López Salinas, por dedicar parte de su valioso tiempo para realizar este proyecto, le estaré agradecido eternamente. Agradezco de igual manera a los miembros del tribunal asignado Ing. Rolando Armas Noboa e Ing. José Fernando Vázquez Calero.

A la Universidad del Azuay y cada uno de los docentes que fueron parte de la carrera universitaria, quienes supieron compartir sus conocimientos para formarme académicamente en la carrera.

Un agradecimiento especial al GAD municipal de Cuenca y a la empresa Holcim Ecuador S.A. por facilitar los materiales empleados en este estudio.

Finalmente, a cada de uno de mis amigos, compañeros y enamorada, que, de alguna manera, colocaron un granito de arena para formar parte de este proceso y me ayudaron a culminar con esta etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTO iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS iv
ÍNDICE DE FIGURAS vii
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE ANEXOS xii
RESUMEN xiv
ABSTRACT xv
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 3
INTRODUCCIÓN 3
1.1 Problemática 3
1.2 Motivación de la investigación 3
1.3 Objetivos 4
1.3.1 Objetivo general 4
1.3.2 Objetivos específicos 4
1.4 Alcances y resultados esperados 4
1.5 Supuestos y riesgos 5
CAPÍTULO II 6
MARCO TEÓRICO 6
2.1. Generalidades 6
2.2. Teoría de compactación de los suelos 7
2.3 Capacidad portante del suelo 8
2.4 Estabilización de suelos 9
2.4.1 Estabilización física 10
2.4.2 Estabilización mecánica 10
2.4.3 Estabilización química 11
2.4.3.1 Emulsión asfáltica 11

2.4.3.2 Cal 11
2.4.3.3 Cemento 12
CAPÍTULO III 17
MATERIALES Y MÉTODOS 17
3.1 Descripción general de la mina de Chocarsi 17
3.2 Recolección de muestras de la mina 18
3.3 Metodología para obtener los parámetros físicos y mecánicos del material 18
3.3.1 Contenido de humedad (ω) 18
3.3.2 Análisis granulométrico 19
3.3.3 Límites de Atterberg 20
3.3.3.1 Límite líquido 20
3.3.3.2 Límite plástico 21
3.3.4 Densidad específica del suelo 22
3.3.5 Densidad específica del cemento 23
3.3.6 Contenido de materia orgánica 24
3.3.7 Clasificación de los suelos 24
3.3.8 Ensayo de compactación (Proctor Modificado) 27
3.3.9 Ensayo CBR (California Bearing Ratio) 28
CAPITULO IV 29
ANÁLISIS Y RESULTADOS 29
4.1 Propiedades físicas del suelo 30
4.1.1 Granulometría 30
4.1.2 Límites de Atterberg de suelo natural 31
4.1.3 Clasificación del suelo 31
4.1.4 Densidad específica del suelo natural (Gs) 32
4.1.5 Contenido de materia orgánica (Co) 32
4.1.6 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con cemento 33
4.1.7 Densidad específica del cemento (Gs) 35
4.2 Propiedades mecánicas del suelo 36
4.2.1 Ensayo de compactación (Proctor Modificado) 36
4.2.2 Características de compactación 38

4.2.3 Ensayo CBR (California Bearing Ratio) 41
4.2.3.1 Determinación de la densidad seca (ϱ) y humedad (ω) 41
4.2.3.2. Determinación de la penetración y carga unitaria media 45
4.2.3.3. Representación gráfica de las curvas esfuerzo-deformación para la determinación del CBR 50
CAPITULO V 70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 70
5.1 Conclusiones 70
5.2 Recomendaciones 72

BIBLIOGRAFÍA 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Principios de compactación 7
Figura 2.2 Estabilización de suelos con geotextil 10
Figura 2.3 Suelo mezclado con cemento en laboratorio. 13
Figura 2.4 Triángulo de graduación para uso en la selección de un aditivo estabilizador 14
Figura 3.1 Mina de Chocarsi. 17
Figura 3.2 Lavado de la muestra de la mina de Chocarsi. 19
Figura 3.3 Cuchara de Casagrande e implementos para el ensayo de límite líquido 20
Figura 3.4 Prueba de límite plástico. 21
Figura 3.5 Determinación de la temperatura y masa de la muestra de la mina de Chocarsi. 22
Figura 3.6 Colocación del cemento Holcim tipo MH en el matraz. 23
Figura 3.7 Sistema de clasificación SUCS Suelo fino. 25
Figura 3.8 Sistema de clasificación SUCS Suelo grueso, arenas. 25
Figura 3.9 Sistema de clasificación SUCS Suelo grueso, gravas. 26
Figura 3.10 Sistema de clasificación AASHTO. 27
Figura 3.11 Compactación del suelo en capas mediante le martillo de Proctor Modificado. 28
Figura 3.12 Moldes CBR con energías de compactación a 56, 25 y 10 golpes. 29
Figura 4.1 Curva granulométrica promedio de suelo natural. 32
Figura 4.2 Límites de Atterberg en función del contenido de cemento. 35
Figura 4.3 Contenido de cemento vs contenido de humedad óptima. 39
Figura 4.4 Contenido de cemento vs densidad seca máxima. 39
Figura 4.5 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras de suelo natural sumergidas. 50
Figura 4.6 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras de suelo natuarl sin sumergir. 51
Figura 4.7 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 3% de cemento sumergido. 52

Figura 4. 8 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre. 53
Figura 4.9 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 3% de cemento sin sumergir. 54
Figura 4.10 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 5% de cemento sumergido. 55
Figura 4.11 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre. 56
Figura 4.12 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 5% de cemento sin sumergir. 57
Figura 4.13 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras sin cemento sumergidas. 63
Figura 4.14 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras sin cemento sin sumergir. 63
Figura 4.15 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 3% de cemento sumergidas. 64
Figura 4.16 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre. 64
Figura 4.17 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 3% de cemento sin sumergir. 65
Figura 4. 18 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 5% de cemento sumergido. 65
Figura 4.19 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre. 66
Figura 4.20 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 5% de cemento sin sumergir. 66
Figura 4.21 Capacidad portante del suelo (CBR) vs contenido de cemento. 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación del material en base al CBR 9
Tabla 2.2 Rango de cemento requerido en la estabilización de suelo con cemento. 13
Tabla 2.3 Tabla de graduación para uso en la selección de un aditivo estabilizador. 14
Tabla 4.1 Granulometría de suelo natural.……...30
Tabla 4.2 Resultado y promedio de los límites de Atterberg de suelo natural. 31
Tabla 4.3 Peso específico de muestras del suelo natural. 32
Tabla 4.4 Contenido de materia orgánica de muestras de suelo natural. 33
Tabla 4.5 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con 3% de cemento..... 34
Tabla 4.6 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con 5% de cemento..... 34
Tabla 4.7 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con 7% de cemento..... 34
Tabla 4.8 Densidad específica del cemento Holcim tipo MH. 36
Tabla 4.9 Resultados de ensayo Proctor Modificado en suelo natural. 36
Tabla 4.10 Resultados del ensayo Proctor Modificado en suelo estabilizado con 3% de cemento. 36
Tabla 4.11 Resultados del ensayo Proctor Modificado en suelo estabilizado con 5% de cemento. 37
Tabla 4.12 Resultados del ensayo Proctor Modificado en suelo estabilizado con 7% de cemento. 37
Tabla 4.13 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo natural. 37
Tabla 4.14 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo estabilizado con 3% de cemento. 37
Tabla 4.15 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo estabilizado con 5% de cemento. 38
Tabla 4.16 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo estabilizado con 7% de cemento. 38
Tabla 4.17 Densidad a diferentes tiempos de ensayo de muestras con 3% de cemento.. 40
Tabla 4.18 Densidad a diferentes tiempos de ensayo de muestras con 5% de cemento.. 40
Tabla 4.19 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR de suelo natural sumergidas. 41

Tabla 4.20 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR de suelo natural sin sumergir. 42
Tabla 4.21 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 3% de cemento sumergidas. 42
Tabla 4.22 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre. 43
Tabla 4.23 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 3% de cemento sin sumergir. 43
Tabla 4.24 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 5% de cemento sumergidas. 44
Tabla 4.25 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre. 44
Tabla 4.26 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 5% de cemento sin sumergir. 45
Tabla 4.27 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras de suelo natural sumergidas. 46
Tabla 4.28 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras de suelo natural sin sumergir. 46
Tabla 4.29 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 3% de cemento sumergidas. 47
Tabla 4.30 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre. 47
Tabla 4.31 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 3% de cemento sin sumergir. 48
Tabla 4.32 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 5% de cemento sumergido. 48
Tabla 4.33 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre. 49
Tabla 4.34 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 5% de cemento sin sumergir. 49
Tabla 4.35 Índice CBR medio para muestras de suelo natural sumergidas. 58

Tabla 4.36 Índice CBR medio para muestras de suelo natural sin sumergir. 58
Tabla 4.37 Índice CBR medio para muestras con 3% de cemento sumergidas. 58
Tabla 4. 38 Índice CBR medio para muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre. 59
Tabla 4.39 Índice CBR medio para muestras con 3% de cemento sin sumergir. 59
Tabla 4.40 Índice CBR medio para muestras con 5% de cemento sumergidas. 59
Tabla 4.41 Índice CBR medio para muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre. 60
Tabla 4.42 Índice CBR medio para muestras con 5% de cemento sin sumergir. 60
Tabla 4.43 Densidad media e índice de CBR de muestras de suelo natural sumergidas. 61
Tabla 4.44 Densidad media e índice de CBR de muestras de suelo natural sin sumergir. 61
Tabla 4.45 Densidad media e índice de CBR de muestras con 3% de cemento sumergidas. 61
Tabla 4.46 Densidad media e índice de CBR de muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre. 61
Tabla 4.47 Densidad media e índice de CBR de muestras con 3% de cemento sin sumergir. 61
Tabla 4.48 Densidad media e índice de CBR de muestras con 5% de cemento sumergidas. 62
Tabla 4.49 Densidad media e índice de CBR de muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre. 62
Tabla 4.50 Densidad media e índice de CBR de muestras con 5% de cemento sin sumergir. 62
Tabla 4.51 Índices de CBR. 69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de granulometría 78
Anexo 2. Humedad natural y límites de Atterberg 83
Anexo 2.1. Suelo en estado natural..... 83
Anexo 2.2. Suelo estabilizado con 3% de cemento. 86
Anexo 2.3. Suelo estabilizado con 5% de cemento. 89
Anexo 2.4. Suelo estabilizado con 7% de cemento. 92
Anexo 3. Peso específico. 95
Anexo 3.1. Peso específico del suelo. 95
Anexo 3.2. Peso específico del cemento ……..…….96
Anexo 4. Tiempo de trabajo. 97
Anexo 4.1. Suelo estabilizado con 3% de cemento. 97
Anexo 4.2. Suelo estabilizado con 5% de cemento. 98
Anexo 5. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)…….....99
Anexo 5.1. Densidad y contenido de humedad……...99
Anexo 5.1.1. Suelo en estado natural sumergido. 99
Anexo 5.1.2. Suelo en estado natural sin sumergir. 103
Anexo 5.1.3. Suelo estabilizado con 3% de cemento sumergido. 106
Anexo 5.1.4. Suelo estabilizado con 3% de cemento curado 4 días al aire libre. 109
Anexo 5.1.5. Suelo estabilizado con 3% de cemento sin sumergir. 112
Anexo 5.1.6. Suelo estabilizado con 5% de cemento sumergido. 115
Anexo 5.1.7 Suelo estabilizado con 5% de cemento curado 4 días al aire libre. 117
Anexo 5.1.8. Suelo estabilizado con 5% de cemento sin sumergir. 120
Anexo 5. 2. Carga y penetración. 123
Anexo 5.2.1. Suelo en estado natural sumergido……..123
Anexo 5.2.2. Suelo en estado natural sin sumergir. 127
Anexo 5.2.3. Suelo estabilizado con 3% de cemento sumergido. 130
Anexo 5.2.4. Suelo estabilizado con 3% de cemento curado 4 días al aire libre. 133
Anexo 5.2.5. Suelo estabilizado con 3% de cemento sin sumergir. 136
Anexo 5.2.6. Suelo estabilizado con 5% de cemento sumergido. 139

Anexo 5.2.7 Suelo estabilizado con 5% de cemento Curado 4 días al aire libre. 141
Anexo 5.2.8 Suelo estabilizado con 5% de cemento sin sumergir. 144

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD PORTANTE MEDIANTE EL CBR, DEL SUELO DE LA MINA DE CHOCARSI ESTABILIZADA CON CEMENTO TIPO MH

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados experimentales de la Capacidad Portante (CBR) de un suelo de la Ciudad de Cuenca estabilizado con cemento tipo MH. Para ello se han realizado los ensayos CBR en muestras sumergidas y sin sumergir, tanto en estado natural, como con cemento en porcentajes del 3% y 5%, en peso seco de suelo. Asimismo, se determinó el CBR en muestras con cemento, pero sometidas a temperatura ambiente durante 4 días. Los resultados de la investigación muestran un incremento en la capacidad portante del mismo (CBR) con el aumento del porcentaje de cemento en todos los casos.

Palabras clave: Estabilización de suelos, capacidad portante, CBR, suelo-cemento, cemento tipo MH, Proctor Modificado, densidad seca máxima, contenido óptimo de humedad.

Elvira Mercedes López Salinas

Directora del Trabajo de Titulación

José Fernando Vázquez Calero

Coordinador de Escuela

Edwin Fernando Moscoso Sarmiento

Autor

STUDY OF THE BEARING CAPACITY THROUGH THE CBR OF THE SOIL OF THE CHOCARSI MINE STABILIZED WITH MH TYPE CEMENT

ABSTRACT

This research work presents the experimental results of the bearing capacity (CBR) of a soil form Cuenca stabilized with MH type cement. For this, CBR tests were performed on submerged samples and non-submerged samples both in natural state and with cement in percentages of 3% and 5% in dry weight of soil. Likewise, the CBR was determined in samples with cement subjected to room temperature for 4 days. The results of the investigation show an increase in the bearing capacity of the samples (CBR) with the increase of the percentage of cement in all cases.

Keywords: Soil stabilization, bearing capacity, CBR, soil-cement, MH type cement, Modified Proctor, maximum dry density, optimum moisture content.

Elvira Mercedes López Salinas
Thesis Director

José Fernando Vázquez Calero
Faculty Coordinator

Edwin Fernando Moscoso Sarmiento

Author

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by

Ing. Paúl Arpi

INTRODUCCIÓN

Se puede decir que los suelos son una mezcla de materiales sólido, líquido y gaseoso, según la relación entre ellos, se puede determinar sus propiedades físico-mecánicas, estos son parámetros fundamentales que debemos conocer para su uso en la construcción.

Los áridos que se emplean en la construcción se obtienen de canteras, que la Real Academia Española (1713 reaprobado en 2014) define como "explotaciones mineras que se llevan a cabo a cielo abierto. Cabe destacar que una cantera constituye un recurso limitado: se agota en determinado momento sin que exista la posibilidad de generar nuevas piedras".

Ya sea un suelo de cantera, agrícola o cualquier otro tipo, pueden ser clasificados mediante los sistemas AASHTO y SUCS realizando los siguientes ensayos de laboratorio: peso específico, granulometría, límite líquido, límite plástico, lo que permite conocer las propiedades físicas del material.

También existen diferentes ensayos que son necesarios para determinar las propiedades mecánicas del suelo como el ensayo de corte directo, compresión simple, triaxiales, el ensayo Proctor Modificado y el ensayo de capacidad portante CBR (California Bearing Ratio).

Conociendo la información antes mencionada, es posible conocer si un material cumple con las propiedades físicas y mecánicas para ser utilizado en una obra civil.

Autores como Crespo (2004) clasifican el uso de suelo para construcción mediante el índice CBR por el bajo costo de ejecución del ensayo y su relación con otros índices, por tal motivo, si una vez realizado el ensayo CBR, su resultado arroja un índice bajo, una opción muy viable para utilizarlo es mejorar las capacidades físico-mecánicas del suelo; a este proceso se le llama estabilización de suelo, el cual, se lo puede realizar mezclando el material con cemento, cal, asfaltos, etc.

Según (Sariosseiri & Balasingam, 2009) "El uso de cemento tiene ciertas ventajas sobre otros agentes de estabilización. La estabilización del cemento es rápida, no necesita tiempo de fraguado (antes de la compactación) y proporciona una plataforma sin

lixiviación. El cemento también se puede emplear para la estabilización de una amplia gama de suelos.” (p.119-125), por este motivo, nuestra investigación se centrará en el suelo-cemento.

El material a utilizar en el presente trabajo de investigación es el de la mina de Chocarsi que actualmente es utilizado por el GAD de Cuenca como una subrasante. La investigación busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante la estabilización con cemento para que pueda ser utilizado como una subbase o base.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problemática

Para emplear materiales pétreos, que son base fundamental para obras de construcción, en ocasiones es necesario importar material de cantera, lo cual genera un costo adicional debido a la transportación de éste. Además, la explotación de las canteras genera un costo ambiental elevado. Asimismo, las canteras tienen una vida útil, lo que indica que es un recurso que se agota con el tiempo y el lugar quedará deteriorado.

En zonas rurales utilizan material de cantera compactado para construir vías, las mismas necesitan un mantenimiento periódico para conservarse en buen estado. Este proceso se realiza importando más material de cantera para compactar, sin embargo, es posible evadir este proceso reutilizando el material que ya se tiene "in situ", mejorando sus propiedades físico-mecánicas, mezclándolo con cemento.

1.2 Motivación de la investigación

En el presente trabajo de investigación se pretende estudiar las capacidades físico-mecánicas del suelo de la mina Chocarsi estabilizado con cemento, mismo que es empleado, sin estabilizar, por el GAD Municipal de Cuenca como mejoramiento para la construcción y el mantenimiento de vías. Si se puede mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo de la mina de Chocarsi mezclándolo con cemento, es posible que el material que actualmente se emplea como mejoramiento se puede emplear como subbase o base.

Si la capacidad de soporte suelo dado por el índice CBR aumenta al estabilizar el suelo, es posible disminuir el espesor de la capa de pavimento, ya que el CBR se emplea como parámetro estructural en el diseño del mismo (Carpio, 2014). Al reducir el espesor de la capa de pavimento también se reducen costos en uso de material.

Finalmente, si el uso de suelo estabilizado con cemento permite emplear suelos "in situ" (para mantenimiento), es posible ahorrar en coste de transporte y evitar el uso de material importado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la capacidad portante (CBR) del suelo de la mina de Chocarsi con la incorporación de 3%, 5% y 7% de cemento tipo MH.

1.3.2 Objetivos específicos

1.-Clasificar el suelo de la mina de Chocarsi mediante los sistemas SUCS y AASHTO.

2.-Determinar la variación del índice de plasticidad del suelo de la mina de Chocarsi con la incorporación de 3% y 5% de cemento tipo MH.

3.-Determinar los parámetros de densidad seca máxima y humedad óptima del suelo de la mina de Chocarsi con la incorporación de 3% y 5% de cemento tipo MH.

4.-Encontrar el índice CBR de muestras sumergidas, sin sumergir y dejándolas curar al aire libre con la incorporación de 3% y 5% de cemento tipo MH.

1.4 Alcances y resultados esperados

1.-Aumentar la capacidad portante del suelo (CBR) mediante la estabilización con cemento.

2.-Mejorar las propiedades físico-mecánicas como límites de Atterberg y CBR del suelo de la mina de Chocarsi.

3.-Analizar la posibilidad de emplear el material de la mina de Chocarsi estabilizado con cemento como una subbase o base para pavimentos.

1.5 Supuestos y riesgos

1.-Que el material traído posterior a la primera muestra pueda cambiar la humedad por el clima y su almacenado y tengamos que repetir todos los ensayos.

2.-Por falta de práctica y experticia, los resultados obtenidos no sean coherentes y repetir los ensayos.

3.-Que el valor de CBR de las muestras estabilizadas con cemento, supere la capacidad de carga del equipo utilizado y no permita medirlo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

El suelo ha sido utilizado desde tiempos antiguos para construir sobre él y como material de construcción para las edificaciones como caminos, puentes, pirámides, etc. La aparición de la mecánica de suelos ha ayudado a entender mejor y optimizar los métodos empíricos que se utilizaban en el pasado.

Según Crespo (2004) señala que el término suelo puede ser definido de diferentes formas dependiendo de quién provenga su definición, pero para nuestro estudio, A. Rico y H. del Castillo explican que el suelo es un "conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas persistentes" (Crespo, 2004, p18).

El mismo autor Crespo (2004) menciona que de acuerdo con el origen de sus elementos los suelos se dividen en dos grandes grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, que se llama inorgánico, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico. Los suelos con los nombres más comunes para su identificación utilizados por el ingeniero civil son: gravas, arenas, limos y arcillas.

De acuerdo con lo antes mencionado, cualquier tipo de suelo puede ser clasificado mediante las normas SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte) realizando diferentes ensayos de laboratorio. Sin embargo, para definir el uso que se le puede dar a este material, es importante conocer sus características y propiedades, por lo que se examinará la teoría de compactación de los suelos, donde se utiliza la energía de compactación del ensayo de Proctor Modificado para encontrar la humedad óptima y densidad seca máxima en esa energía de compactación de un material. Con los datos obtenidos del en el ensayo Proctor

Modificado, es posible conocer la capacidad portante del suelo valorada mediante el ensayo CBR.

2.2. Teoría de compactación de los suelos

Armas Novoa (2002) señala que "la compactación es un proceso realizado por medios mecánicos (energía de compactación), con el fin de reducir el índice de poros (□) y así incrementar el peso específico (γ_d) de cualquier suelo"; esto genera cambios de volumen por la reducción de espacio de vacíos.

Con la compactación se desea obtener un suelo mejor estructurado, de tal manera que mejore su comportamiento y propiedades mecánicas tales como: resistencia a la compresión y al corte, permeabilidad y flexibilidad (Montejo Fonseca, 2002), (Valero, 1963).

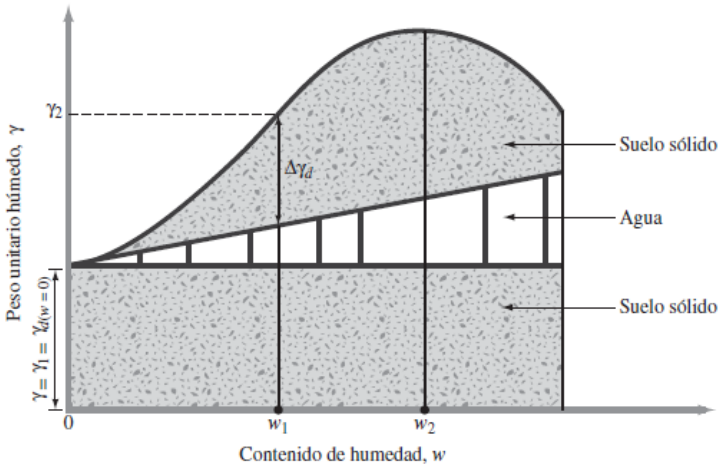


Figura 2.1 Principios de compactación
Fuente: (Das, 2001)

Das (2001) menciona que:

> Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de partículas de suelo, que hace que se deslice entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua (ver figura 2.1).
>
> El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo de peso específico seco se llama contenido de humedad.

Entonces se puede decir que, manteniendo la misma energía de compactación, el peso específico aumenta a medida que se incrementa la humedad. Este peso específico seco aumentará hasta un valor máximo donde el contenido de agua es conocido como humedad óptima (Londa & Maisincho, 2016).

Para realizar el ensayo de compactación existen dos variantes: el ensayo Proctor Estándar y Modificado, donde su principal diferencia es la energía de compactación por unidad de volumen que se utiliza en cada una de ellas. Es importante mencionar que el Proctor Modificado es una modificación del Proctor Estándar para representar mejor las condiciones de campo y se utiliza para obtener pesos específicos mayores (Das, 2001), (Londa & Maisincho, 2016).

Finalmente se dice que el ensayo Proctor, ya sea el Estándar o Modificado, (dependiendo del tipo de suelo) permite conocer la humedad óptima y densidad seca máxima de cualquier material.

2.3 Capacidad portante del suelo

Das (2001) menciona que "la capacidad portante del suelo es la capacidad que el material tiene para soportar cargas aplicadas sobre él, sin que se produzca una falla por corte o una deformación exagerada".

Existen diferentes teorías de cálculo de la capacidad portante de los suelos dependiendo de su comportamiento. Prandtl, Terzaghi y Housel desarrollaron teorías para calcular la carga máxima que puede soportar un suelo, mientras que Boussinesq consideraba que el suelo tiene un comportamiento elástico.

Capote (2012) menciona que las cargas que transmite una cimentación a las capas del terreno causan tensiones y deformaciones sobre el mismo. La deformación dependerá de la tensión y las propiedades físico-mecánicas del terreno. Esta tensión produce asentamientos de las superficies de contacto entre la cimentación y el terreno. La conducta del terreno bajo tensión está afectada por su densidad y por las proporciones relativas de agua y aire que llenan los huecos, las cuales, van variando con el tiempo.

En pavimentos, la carga transmitida es móvil, experimentando el suelo ciclos de carga y descarga, donde parte de la deformada se recupera y parte no (Iturbe, 2002).

Para evaluar la calidad relativa del suelo en base a su resistencia se utilizará el ensayo de CBR (California Bearing Ratio), el cual, "es muy aceptado por su bajo costo y por existir varias correlaciones con otros ensayos" (Londa & Maisincho, 2016) y se definirá como realizarlo en el capítulo 3. Cabe mencionar que el ensayo CBR arroja como resultado un índice, el cual, se puede relacionar con el módulo resiliente; este indica la calidad de soporte que tendrá el suelo. Autores como (Crespo, 2004) clasifican el suelo basándose únicamente en el índice de CBR, tal y como se muestra en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Clasificación del material en base al CBR

CBR	Clasificación general	Usos	SUCS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH,CM,MH,OL	A5,A6,A7
0-7	Pobre a regular	Subrasante	OH,CM,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7-20	Regular	Subbase	OL,CL,ML,SC,SM,SP	A2,A4,A6,A7
20-50	Bueno	Base, subbase	GM,GC,SW,SM,SP,GP	A1b,A2-5,A3,A2-6
>50	Muy bueno	Base	GW,GM	A1a,A2-4,A3

Fuente: (The Asphalt Institute, 1962)

Cuando los resultados de los ensayos realizados exponen que el material es de baja calidad para los requerimientos necesitados, se puede dar solución al problema mejorando las propiedades mecánicas del suelo mediante la estabilización.

2.4 Estabilización de suelos

Estabilizar un suelo es modificar las propiedades físico-mecánicas del material existente para que cumpla con ciertos requerimientos especificados.

Existen diferentes medios de estabilización entre los cuales están:

-Estabilización física

-Estabilización mecánica

-Estabilización química

2.4.1 Estabilización física

Este tipo de estabilización se utiliza para para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Existen algunos tipos como los geotextiles (ver figura 2.2), consolidación previa y el más común que es la mezcla de suelos. Este último, es de amplio uso, donde se mezclan suelos de grano grueso como gravas y arenas con arcillas, combinando sus propiedades de alta fricción interna y gran cohesión respectivamente. Su mezcla adecuada da como resultado un material estable que mantiene las partículas unidas, aunque para producir los efectos deseados, se necesita siempre complementarlo con compactación (Zuluaga, 2005).

Figura 2.2 Estabilización de suelos con geotextil
Fuente: (ML Ingeniería, 2017)

2.4.2 Estabilización mecánica

Este tipo de estabilización busca mejorar las propiedades físicas del suelo densificándolo por procesos de compactación, sin que exista ningún tipo de reacción química importante.

Este método de estabilización es el más económico y se logra una estructura del suelo resistente al corte y con una buena relación de vacíos sin cambiar su composición básica (Zuluaga, 2005).

2.4.3 Estabilización química

Zuluaga (2005) menciona que la estabilización química "se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso".

Se busca mezclar el suelo con ciertos elementos para mejorar sus propiedades y características. Entre los métodos más conocidos están la estabilización asfalto, cal y cemento.

2.4.3.1 Emulsión asfáltica

En ciertos casos, es conveniente estabilizar un material usando productos asfálticos para elaborar capas base o subbase. A estas bases asfálticas también se las conoce como base negra. El uso de ciertos productos asfalticos como emulsiones y cemento asfalticos está limitado a suelos granulares o de partículas gruesas. Es muy difícil estabilizar un material arcilloso, por los grumos de esos suelos. La estabilización con asfalto puede tener dos fines: reducir la absorción de agua del material usando poco asfalto, e incrementar la resistencia de un material usando mayor cantidad de asfalto como en las bases asfálticas (Quiroz, 2017).

Cabe recalcar que las emulsiones asfálticas son más utilizadas que el cemento asfáltico, ya que son más económicas, no se necesitan altas temperaturas para trabajarlas y pueden emplearse con pétreos húmedos (Quiroz, 2017).

2.4.3.2 Cal

Se utiliza generalmente cuando el material es una arcilla muy plástica, precisamente para disminuir la plasticidad del suelo y aumentar su resistencia. Existen diferentes tipos de cales, pero las utilizadas para estabilización de suelos son las cales aéreas vivas y las cales aéreas apagadas, ya que actúan más eficazmente sobre suelos arcillosos por liberar más rápidamente iones, que son los responsables de la floculación de las partículas de arcilla y elevar el PH del suelo para producir la reacción puzolánica causante del incremento de la resistencia mecánica a largo plazo (López, Fernadez, & López, 2010).

2.4.3.3 Cemento

Se utiliza en suelos granulares con algo de finos, donde su mezcla ayuda a mejorar mucho su resistencia mecánica o capacidad de soporte y su resistencia a los agentes físicos y químicos agresivos (López, Fernadez, & López, 2010).

La acción que produce el cemento al mezclarse con el suelo es doblemente positiva. Por una parte, actúa como aglomerante de gravas, arenas y limos desempeñando el mismo papel que en el hormigón. Además, el contacto del cemento con el agua da como resultado la disminución de la porosidad y plasticidad del material, al mismo tiempo de proveer un aumento en la resistencia y durabilidad. Las propiedades dependerán del tipo de suelo, cantidad de suelo cemento y agua, forma de ejecución, edad de la mezcla compactada y tipo de curado **(Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013)**. En la tabla 2.2 se puede observar que dependiendo del tipo de suelo se necesita una cantidad diferente de cemento para estabilizarlo.

Por lo general se puede utilizar cualquier tipo de cemento comercializado en el Ecuador, aunque los recomendados para este tipo de trabajo son los que presenten las siguientes propiedades:

-De inicio y final de fraguado suficientemente largos, para tener un elevado plazo de trabajabilidad.

-De moderado calor de hidratación, para limitar los efectos de la fisuración por retracción, especialmente en épocas calurosas.

-De desarrollo lento de resistencia y módulos de rigidez a edades tempranas, recuperándolas a largo plazo. Con ello se consigue limitar el efecto de retracción y los fenómenos iniciales de fatiga inducidos por las cargas de tráfico (López, Fernadez, & López, 2010).

También es importante mencionar que el suelo-cemento se puede elaborar, tanto en una central como simula la figura 2.3 donde se observa una muestra suelo con cemento mezclado en laboratorio, como *in situ* si se tiene el equipo necesario.

Tabla 2.2 Rango de cemento requerido en la estabilización de suelo con cemento.

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

Fuente: (FHWA, 1966 Reaprobada en 2017).

Figura 2.3 Suelo mezclado con cemento en laboratorio.
Fuente: .El autor.

La figura 2.4 muestra un triángulo de graduación para seleccionar un aditivo estabilizador, que, para utilizarlo, se requiere conocer previamente la granulometría del suelo (Suarez, 2011). Con esta información se ubica en las abscisas el porcentaje de material pasante del tamiz # 200 y en las ordenadas el porcentaje pasante del tamiz # 4. Las líneas punteadas dividen a los suelos clasificados mediante el sistema SUCS en 7 grupos: A1, A2, B1, B2, C1, C2 y 3 llamándolas “Áreas” y recomiendan el tipo de estabilización más idóneo (ver tabla 2.3) para el tipo de suelo a utilizar.

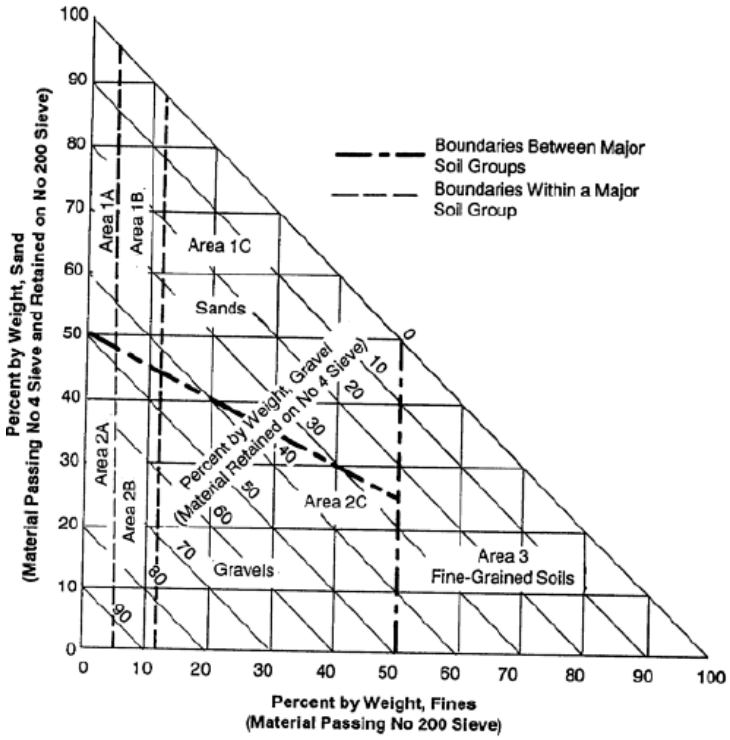


Figura 2.4 Triángulo de graduación para uso en la selección de un aditivo estabilizador
Fuente: (US. Army, 2012).

Tabla 2. 3 Tabla de graduación para uso en la selección de un aditivo estabilizador.

	1 A	**1 B**	**1 C**	
Suelo	SW O SP	SW-SM SP-SM SW-SC SP-SC	SM SC SM-SC	
Aditivo recomendado	1.-Asfalto 2.-Cemento IP no debe ser mayor de 25	1.-Asfalto IP<=10 2.-Cemento IP<=30 3.-Cal IP<=25	1.-Asfalto IP<=10 (no más del 30% de finos) 2.-Cemento IP<=20 + ((50-%pasa finos)/4)	
	2 A	**2 B**	**2 C**	**3**
Suelo	GW GP	GW-GM GP-GM GW-GC GP-GC	GM GC GM-GC	CH CL MH OH OL ML-C
Aditivo recomendado	1.-Asfalto 2.-Cemento (más del 45% pasante tamiz 4)	1.-Asfalto IP<=10 2.-Cemento IP<=30	1.-Asfalto IP<=10 2.-Cemento IP<=20 + ((50-%pasa 200)/4) 3.-Cal>=12	1.-Cemento IP<=30 LL<40 2.-Cal IP>=12

Fuente: (US. Army, 2012)

Al ver la tabla 2.3, se puede observar que el cemento puede utilizarse en casi todos los tipos de suelo, además de tener ventajas como:

-Es un método rápido de estabilización.

-No necesita tiempo de fraguado antes de la compactación.

-Proporciona una plataforma sin lixiviación.

Por tales motivos, el estudio del trabajo de investigación se centrará en el suelo-cemento.

La Federación Interamericana del Cemento (2008) señala que el suelo cemento comenzó a estudiarse entre 1910 y 1920 en Inglaterra y Estados Unidos; después de la segunda guerra mundial se inicia en España y Latinoamérica las primeras experiencias con suelo-cemento aplicado en carreteras, mientras que en los últimos 50 años, Argentina, Colombia y El Salvador han sido ejemplos de experiencia en la construcción de caminos con este material.

La revista Holcim (2015) menciona proyectos en los que se utilizó suelo-cemento en el Ecuador como la vía de ingreso al P.A.N. hasta la vía Duran-Yaguachi en el 2002; vía la Pila-Cadena en el 2009; vía de ingreso al botadero de basura Las Iguanas en el 2012; andenes del metro en Quito y estacionamiento de la UDLA en Quito, además, resaltan que el suelo-cemento representa el presente y el futuro de la construcción de estructuras de pavimentos debido a la creciente demanda de rehabilitación de vías y caminos urbanos y rurales.

Algunas ventajas de usar suelo-cemento son: el mejorar la resistencia del suelo, control de las deformaciones, reducción de los requerimientos de espesor de los pavimentos, aumento de la impermeabilidad del suelo, reducción del polvo, menor impacto ambiental al utilizar el mismo material de sitio, entre otros.

Aunque el ensayo que más se emplea para determinar las características mecánicas en suelos estabilizados con cemento es el de compresión simple, otros autores como: (Battacharaja & Bhatty, 2003), (Millogo, Morel, Traoré, & Ouedraogo, 2008), (Prassad & Satyanara Reddy, 2011), (Mengue, Mroueh, Lancelot, & Ecko, "Mechanical Improvement of a Fine-Grained Lateritic Soil Treated with Cement for use in Road", 2017) y (Mengue, Mroueh, Lancelot, & Eko, 2018) también realizan el ensayo de Capacidad Portante

(CBR). En todos los casos se reportaron un aumento en el índice CBR con el aumento del porcentaje de cemento.

Teniendo en cuenta los antecedentes antes mencionados, el objetivo de este trabajo de investigación es el estudio de la capacidad portante (CBR) del suelo estabilizado con cemento, proveniente de la mina Chocarsi, en la Ciudad de Cuenca. Dicho material es empleado como mejoramiento de la subrasante para vías de bajo volumen de tránsito en dicha ciudad (Londa & Maisincho, 2016). Teniendo en cuenta que los suelos estabilizados con cemento mejoran las propiedades físicas y mecánicas del mismo, es posible que el suelo de la mina Chocarsi luego de mezclarse con cemento (3% y 5%) pueda emplearse no solo como mejoramiento, sino como subbase o base para pavimentos.

Uno de los parámetros de clasificación del material como subbase y base es la capacidad portante (CBR) del suelo, asimismo, una correlación de este parámetro con el módulo de resiliencia se emplea en el diseño de pavimentos (Londa & Maisincho, 2016).

Para realizar los ensayos se empleará la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) sección de geotecnia y cimentaciones, donde menciona como realizarlos, y en caso de faltar información para ciertos ensayos, se referirá a la norma de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción general de la mina de Chocarsi

La mina de Chocarsi que se puede observar en la figura 3.1, se encuentra ubicada en la vía a Jadan en la parroquia de Nulti, al noreste del cantón Cuenca de la provincia del Azuay en Ecuador. Situada a 2577 metros sobre el nivel del mar, la temperatura media de esta zona es de 15,6ºC con una precipitación anual de 766,4 mm y velocidades de viento de 2,2 m/s (Municipalidad de Cuenca, 2010).

Geológicamente, en la parroquia de Nulti predomina la formación Azogues y la formación Yunguilla con más del 18%. Estas formaciones están presentes en los sectores de San Juan Pamba, Chocarsi, Challuabamba, Cofradía, donde existe gran desgaste del suelo por la erosión producida por las minas de lastre en las dos primeras y el crecimiento urbano en Challuabamba (Cabrera, 2017).

Figura 3.1 Mina de Chocarsi.
Fuente: El autor.

3.2 Recolección de muestras de la mina

Para la recolección de las muestras se contó con la ayuda de estudiantes de la universidad del Azuay que trabajaron de pasantes durante el proyecto y con la autorización del GAD municipal de Cuenca. Para mantener uniformidad en los datos de las muestras, cada toma de especímenes se realizó en lugares cercanos al primero, pero a diferentes alturas para que sea una muestra representativa.

3.3 Metodología para obtener los parámetros físicos y mecánicos del material

Con el material acopiado en el laboratorio de suelos de la Universidad del Azuay, se procederá a realizar los ensayos de laboratorio necesarios para determinar los parámetros físicos y mecánicos del suelo.

Para la determinación de los parámetros físicos, es preciso realizar ensayos de peso específico, granulometría, límite líquido y límite plástico. De este modo, se puede clasificar al material según las dos normas existentes: AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Para los parámetros mecánicos, utilizó el ensayo Proctor Modificado que proporciona la información de la humedad óptima y densidad seca máxima del suelo de dicha energía de compactación. Con estos resultados, se puede efectuar el ensayo CBR para conocer la capacidad de soporte del material.

3.3.1 Contenido de humedad (ω)

El contenido de humedad es:

> La cantidad de agua que está presente en una masa de suelo y se determina mediante el secado de una porción de la muestra en un horno, que mantenga una temperatura de 105±5°C. Esta cantidad de agua se expresa en porcentaje de masa seca (Londa & Maisincho, 2016).

El material que va al horno debe colocarse en recipientes resistentes a la corrosión y que no alteren su masa o se desintegren debido al fenómeno repetitivo de calentado y enfriado (INEN, 1982 - 2017).

Una vez transcurrido al menos 24 horas se procederá a retirar las muestras del horno y pesarlas. La diferencia de pesos de la muestra antes y después de ser colocada en el horno proporcionará la cantidad de agua que tiene la muestra de suelo expresada en porcentaje.

3.3.2 Análisis granulométrico

El ensayo de granulometría proveerá los datos del tamaño de las partículas y el porcentaje o distribución de éstas en una masa de suelo. Se determinará mediante el análisis granulométrico, que consiste en hacer pasar una determinada cantidad de suelo a través de una serie de tamices estándar, dispuestos de mayor a menor tal y como se puede observar en la figura 3.2. (Chimbo & León, 2018)

Este análisis busca establecer la distribución de las partículas gruesas y finas por tamizado, así como la cantidad de material que pasa el tamiz N°200, después del lavado del suelo (Chimbo & León, 2018).

Figura 3.2 Lavado de la muestra de la mina de Chocarsi.
Fuente: El autor.

3.3.3 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg que se determinarán son el límite líquido y el límite plástico. Mediante estos ensayos se pretende clasificar e identificar el comportamiento de las muestras ensayadas. Se realizarán tres ensayos de cada muestra con material pasante del tamiz 40 tanto para el límite líquido como para el límite plástico.

3.3.3.1 Límite líquido

Este ensayo busca determinar el contenido de agua que necesita el suelo para comportarse como un líquido. La norma INEN (1982 - 2017) menciona que el procedimiento es colocar una pasta de material tamizado con agua en un dispositivo llamado cuchara de Casagrande (ver figura 3.3) y formar un surco con un acanalador, este surco debe cerrarse a cierta cantidad de golpes.

Figura 3.3 Cuchara de Casagrande e implementos para el ensayo de límite líquido
Fuente: (Londa & Maisincho, 2016).

Se toman 3 puntos donde debe cerrarse el surco, el primero debe estar entre los 35 y 45 golpes y los dos siguientes deben estar bajo los 25 golpes, pero no menos de 5 golpes, mezclando cada incremento agua por lo menos durante 5 minutos.

Los datos obtenidos se grafican en una escala semilogarítmica donde se determina el contenido de agua a los 25 golpes.

Los resultados correctos dependerán mucho de la experticia de la persona que realiza el ensayo.

3.3.3.2 Límite plástico

Este ensayo busca determinar el contenido de agua que necesita el suelo para comportarse plásticamente. El procedimiento consiste en tomar material pasante del tamiz 40 y mezclarlo con agua formando una bola de material, esta se va amasando hasta formar hilos delgados de 3mm de diámetro (ver figura 3.4). El rolado del material ayuda a evaporar el agua y forma en los hilos pequeñas fisuras que indican una correcta humedad de la muestra para el ensayo, finalmente llevamos al horno por 24 horas.

Se realizará por triplicado el ensayo y el valor del límite plástico será el promedio del contenido de agua de los tres ensayos.

Al igual que el límite líquido, la precisión del ensayo dependerá de la experiencia del laboratorista o de la persona que realice el ensayo.

Figura 3.4 Prueba de límite plástico.
Fuente: (Londa & Maisincho, 2016).

3.3.4 Densidad específica del suelo

Según Guerrero & Lima (2018) "La densidad específica es un valor adimensional y se define como la relación entre la densidad de los sólidos del suelo y la densidad del agua destilada a 4°C", "debido a que en esta, la densidad del agua es 1 gr/cm^3" (Bowles, 1980).

En laboratorio, debido a la dificultad que existe para alcanzar 4°C en lo que a la temperatura de ensayo se refiere, se trabaja con 20±5°C sin afectar considerablemente el valor de Gs, teniéndose una densidad aproximada de 0.9991 y 0.99705 gr/cm^3 a 15 y 25°C respectivamente (Cernica, 1995).

En laboratorio, basta determinar el valor promedio de la gravedad específica de la materia sólida (granos de suelo), para lo cual se emplea un matraz que inicialmente se llena con agua hasta la marca de enrase y posteriormente se adicionará la muestra de suelo como se puede observar en la figura 3.5. El aire atrapado entre las partículas de suelo es extraído por ebullición, succión o una combinación de ambos métodos (Juárez & Rico, 2005).

Figura 3.5 Determinación de la temperatura y masa de la muestra de la mina de Chocarsi.
Fuente: El autor.

3.3.5 Densidad específica del cemento

Para el ensayo de densidad específica del cemento se basó en la norma ASTM C 188-95 donde se establecerá el peso específico relativo de los cementos que consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen de líquido desplazado por esta masa en un matraz de Le Chatelier (Cañas, 2007).

Lavamos el matraz de Le Chatelier y lo secamos para evitar que tenga cualquier tipo de residuo y humedad, entonces, llenamos el frasco con gasolina, keroseno o nafta entre las marcas de 0 y 1, esta será nuestra lectura A. A continuación, pesamos 64gr de cemento y los introducimos en el frasco sin que se adhiera material en las paredes; giramos el frasco circularmente para remover el aire existente y sumergimos en baño maría hasta conseguir una temperatura de 20°C del matraz, en este punto, tomamos una nueva medida que la llamaremos lectura B (ver figura 3.6).

La diferencia entre la masa de cemento y su variación de volumen en el matraz dará como resultado la densidad específica del cemento.

Figura 3.6 Colocación del cemento Holcim tipo MH en el matraz.
Fuente: El autor.

3.3.6 Contenido de materia orgánica

El ensayo de contenido de materia orgánica o también llamado contenido orgánico, se realizará en base a la norma ASTM D-2974, dicha norma indica como determinar la cantidad de materia orgánica en un suelo.

Se toma una muestra representativa que pese aproximadamente de 10gr a 40gr de una porción de material que pase el tamiz #10 y se introduce en un horno a 100±5°C de temperatura durante al menos 24 horas. Al transcurrir el tiempo indicado se retira la muestra del horno y se coloca el material en un desecador para dejarlo enfriar. Finalmente se retira la muestra enfriada del desecador y se procede a pesarla (INV E-121-07, 1996-2002).

El porcentaje de contenido orgánico debe ser menor al 2% para que sea posible una estabilización del material (ASTM, 1898 reaprobado 2013).

3.3.7 Clasificación de los suelos

La clasificación del material se realizará mediante los métodos SUCS y AASHTO. La clasificación SUCS se realiza en base a la norma ASTM D-2487. Este método clasifica al suelo mediante el tipo de granulometría que tiene el material y sus límites de Atterberg de la siguiente manera:

-Suelos de grano grueso más del 50% retiene el tamiz #200.

-Suelos de grano fino más del 50% pasa el tamiz #200.

-Suelos orgánicos.

En las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 se puede observar cómo se clasifica el suelo por el método SUCS conociendo su granulometría y los límites de Atterberg. Si se cumple la información mostrada en un recuadro, se avanza hacia el sí, caso contrario, se dirige hacia el no, hasta llegar a una clasificación mostrada en la tabla.

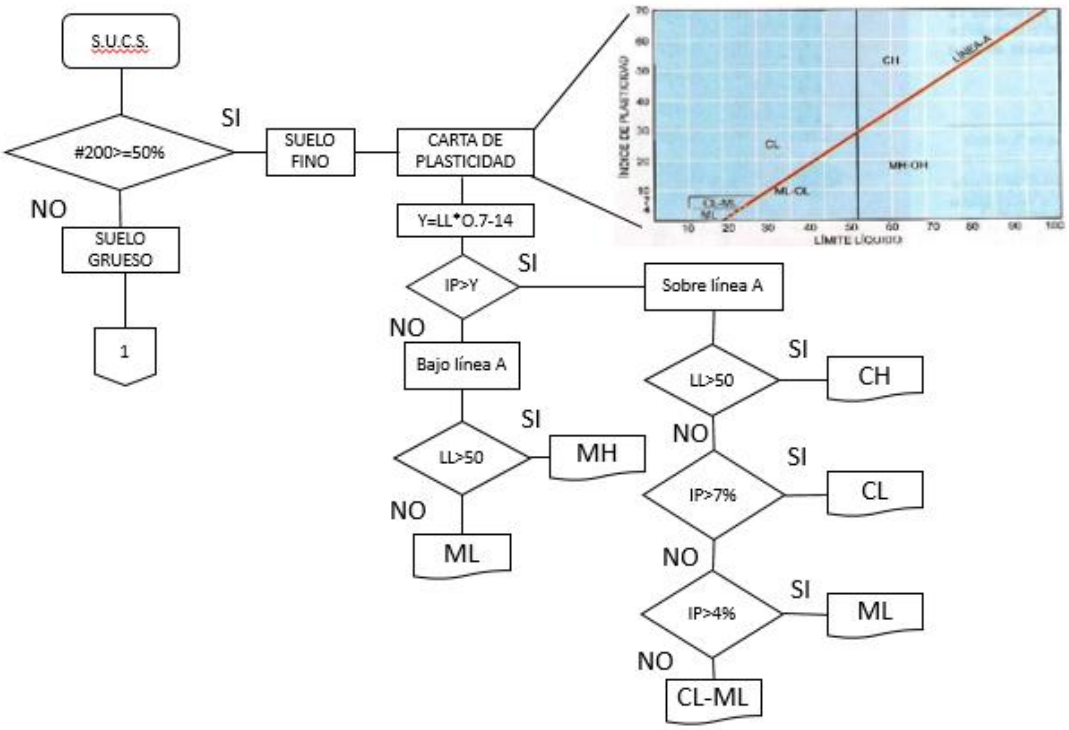


Figura 3.7 Sistema de clasificación SUCS Suelo fino.
Fuente: (Dante, 2014).

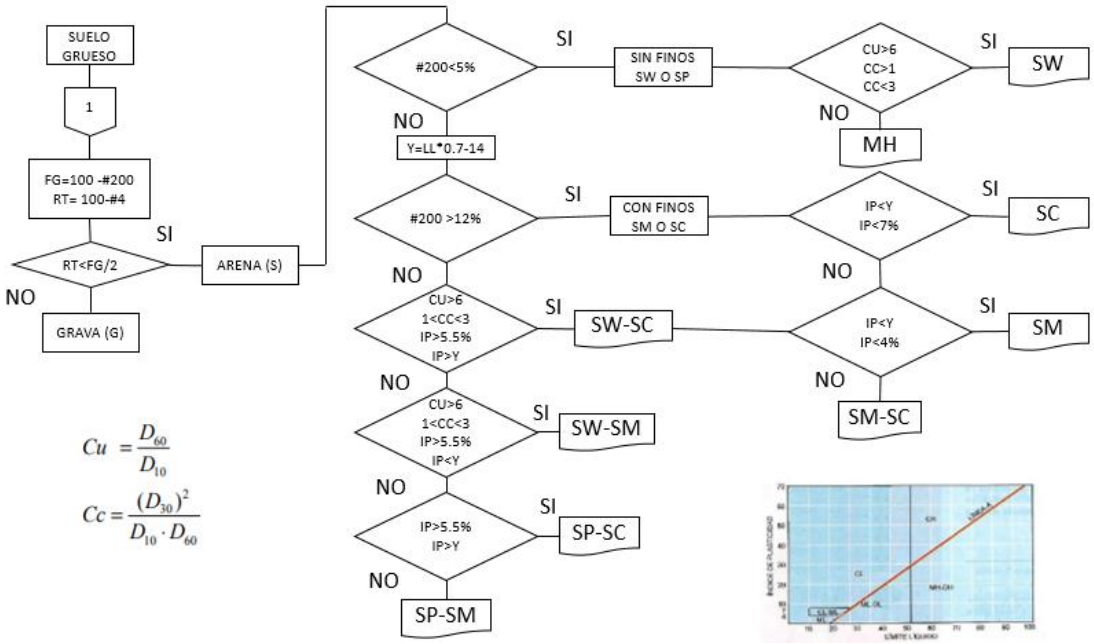


Figura 3.8 Sistema de clasificación SUCS Suelo grueso, arenas.
Fuente: (Dante, 2014).

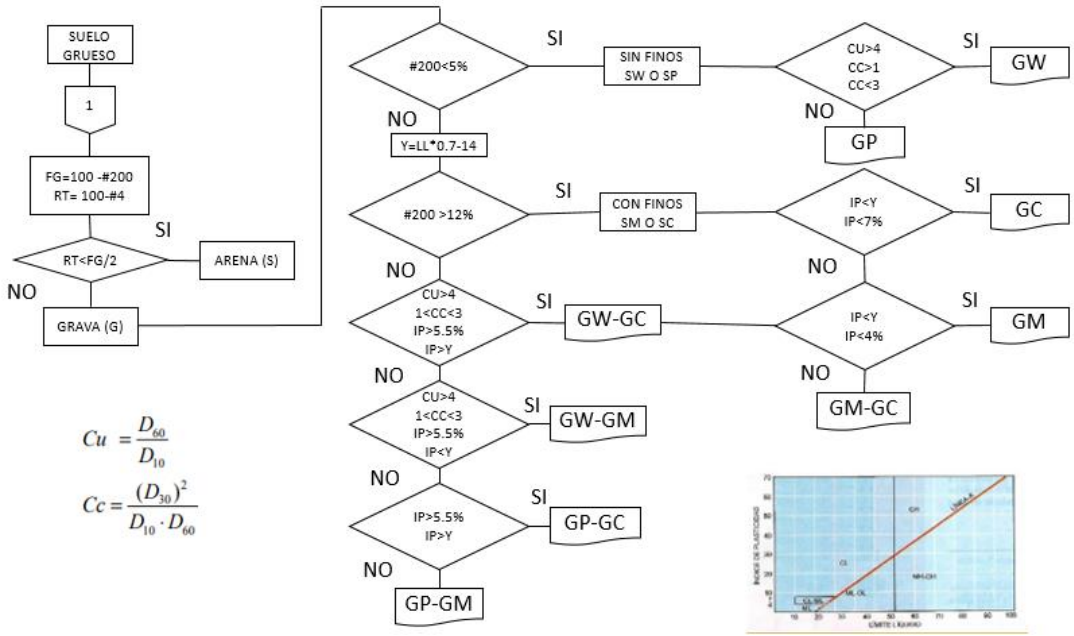


Figura 3.9 Sistema de clasificación SUCS Suelo grueso, gravas.
Fuente: (Dante, 2014).

Por otro lado, el método AASHTO sigue la norma ASTM-D2487 que clasifica al suelo en 7 grupos donde, para suelos granulares (35% o menos pasa el tamiz #200) serán de los grupos A1, A2 y A3, mientras que para suelos finos que comprenden materiales limoso-arcillosos (más del 35% pasa el tamiz #200, serán de los grupos A4, A5, A6, A7 (Holcim, 2015).

En la figura 3.10 se puede observar cómo se clasifica un suelo mediante la norma AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)							Materiales limoso arcilloso (Más de 35% pasa por el tamiz Nº200)			
Grupo	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa											
Nº10 (2mm)	50 máx	-	-	-				-			
Nº40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 min.	-				-			
Nº200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	40 máx	41 máx	40 máx	41 min (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 máx	11 máx	10 máx	10 máx	11 máx	11 min
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

Figura 3.10 Sistema de clasificación AASHTO.
Fuente: (Holcim, 2015).

Existen otros ensayos que son indispensables para determinar algunas características mecánicas del suelo como el ensayo de compactación Proctor Modificado y el ensayo CBR que se describe a continuación.

3.3.8 Ensayo de compactación (Proctor Modificado)

El ensayo Proctor Modificado se realizará en base a la norma ASTM D 1557-02, el mismo, busca densificar el suelo quitando el espacio de vacíos entre partículas dando golpes con un pistón de 44.5N de peso y un martillo de 457.2mm de caída, en un molde Proctor Modificado (ver figura 3.11) de 101.6mm de diámetro y 116.43mm de altura dando un volumen total del molde de 943.3cm³ sin collarín.

El material pasante del tamiz 3/4 ´´ se coloca en el molde Proctor en 5 capas iguales, donde a cada capa se le dará 56 golpes en toda la superficie, este ejercicio se repite con diferentes humedades del material hasta que su peso disminuya, como resultado se determinará la humedad óptima y densidad seca máxima del material, estos datos se emplearán para realizar el ensayo CBR.

Figura 3.11 Compactación del suelo en capas mediante le martillo de Proctor Modificado.
Fuente: El autor.

3.3.9 Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

La ASTM (1898 - 2013) indica que el ensayo CBR es un procedimiento para determinar el índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte. Por otra parte, Londa & Maisincho (2016) mencionan que el índice de CBR es la relación entre la carga necesaria para lograr una deformación establecida y la carga para realizar la misma deformación en una muestra patrón. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante, capas de subbase, base y mejoramiento.

$$\acute{I}ndice\ CBR = \frac{carga\ unitaria\ del\ ensayo}{carga\ unitaria\ patron} * 100$$

El análisis de las muestras se realizará sobre el suelo en condiciones determinadas de humedad y densidad (las encontradas en el Proctor Modificado). El material pasante del tamiz ¾´´ se coloca en 3 moldes de CBR en 5 capas iguales, donde el primero recibe 56 golpes por capa, el segundo 25 y el tercero 10 (ver figura 3.12).

El ensayo se realizará en muestras sumergidas, sin sumergir y curadas 4 días al aire libre en base a la norma ASTM D 1883-07 donde se obtendrá como resultado un valor de carga unitaria correspondiente las deformaciones a 0.1 pulg y 0.2 pulg.

Como resultado del ensayo se obtendrá el valor de la carga unitaria que corresponde a las deformaciones establecidas a 0.1 pulg y 0.2 pulg y con ellas se obtendrá un índice de CBR para cada una.

Es importante mencionar que cuando el índice de CBR calculado para la deformación a 0.2 pulg, arrojó como resultado un valor mayor al índice de CBR calculado para la deformación a 0.1 pulg, se debe repetir el ensayo tal y como indica la norma ASTM D 1883-07. Si luego de repetir el ensayo los resultados reflejan similitud, se toma el índice de CBR para la deformación de 0.2 pulg como indica la norma.

Figura 3.12 Moldes CBR con energías de compactación a 56, 25 y 10 golpes.
Fuente: El autor.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Propiedades físicas del suelo

Los ensayos descritos en el capítulo anterior han sido realizados al suelo de la mina de Chocarsi en el laboratorio de suelos de la Universidad del Azuay, obteniéndose los siguientes resultados.

4.1.1 Granulometría

Se realizaron 3 ensayos de granulometría por el método de cribado donde los resultados fueron muy similares como se puede observar en la Tabla 4.1. Los resultados indican que todas las muestras tienen entre un 4% y 7% pasante del tamiz #200 (0.75mm), si se emplea el valor promedio, que es 5.5% (ver tabla 4.1), se puede intuir que el material es una grava o una arena.

Tabla 4.1 Granulometría de suelo natural.

Granulometría													
		Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Acumulados promedio		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Material retenido (gr)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)	Material retenido (gr)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)	Material retenido (gr)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)	Material retenido (gr)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
3"	76.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
2 ½"	63.5	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.8	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
1½"	38.1	80.0	1.5	98.5	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	26.7	0.5	99.5
1"	25.4	238.0	4.6	95.4	42.0	0.8	99.2	59.0	1.4	98.6	113.0	2.3	97.7
3/4"	19.1	522.0	10.1	89.9	283.0	5.2	94.8	193.0	4.6	95.4	332.7	6.6	93.4
1/2"	12.7	1246.0	24.1	75.9	828.0	15.1	84.9	793.0	18.9	81.1	955.7	19.4	80.6
3/8"	9.5	1777.0	34.4	65.6	1546.0	28.1	71.9	1474.0	35.2	64.8	1599.0	32.6	67.4
N°4	4.8	3407.0	66.0	34.0	3441.0	62.6	37.4	3058.0	73.0	27.0	3302.0	67.2	32.8
< N°4		1757.0	34.0		2053.0	37.4		1133.0	27.0		1647.7	32.8	
N°10	2.0	882.0	83.1	16.9	1033.0	81.4	18.6	1340.0	85.9	14.1	1085.0	83.5	16.5
N°40	0.4	1339.0	91.9	8.1	1527.0	90.4	9.6	2112.0	93.3	6.7	1659.3	91.9	8.1
N°200	0.1	1485.0	94.7	5.3	1687.0	93.3	6.7	2328.0	95.4	4.6	1833.3	94.5	5.5
< N°200		272.0	5.3		366.0	6.7		476.0	4.6		371.3	5.5	

Fuente: El autor.

En la tabla 4.1 también se puede observar que el material retenido en el tamiz #4 (4.75mm) es del 67.2% en promedio, lo que indica que el material predominante en la muestra es la grava. A partir de los datos acumulados promedio de la tabla 4.1 se ha realizado la curva granulométrica que se muestra en la figura 4.1.

4.1.2 Límites de Atterberg de suelo natural

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados y el promedio obtenidos del límite líquido y límite plástico de las 3 muestras tomadas de la mina de Chocarsi (suelo natural).

Tabla 4.2 Resultado y promedio de los límites de Atterberg de suelo natural.

N° Muestra	**1**	**2**	**3**	**Promedio**
Límite líquido (%)	35.5	37.6	35.7	36.9
Límite plástico (%)	26.2	26.2	25.1	25.8
Índice plástico (%)	9.3	11.4	10.6	10.4

Fuente: El autor.

En el Anexo 2.1 se pueden encontrar los ensayos realizados para la obtención del límite líquido y el límite plástico del suelo en estado natural.

4.1.3 Clasificación del suelo

Con los resultados obtenidos de los ensayos de la granulometría y límites de Atterberg, se puede clasificar al suelo mediante los métodos SUCS y AASHTO.

Mediante el método SUCS, con ayuda de la figura 4.1 se obtiene el valor de los coeficientes de uniformidad y coeficiente de curvatura Cu=10.98 Cc=3.11 respectivamente. Con estos datos se clasifica el suelo como GP-GM, es decir, una grava mal graduada con limo y arena, mientras que por el método AASHTO se clasifica como A-2-6 (0), grava y arena limosa o arcillosa. En resumen, se puede decir que por los dos métodos se obtiene una grava mal graduada con contenido de arcilla, lo que pronostica una buena capacidad de soporte del material ya compactado en obra.

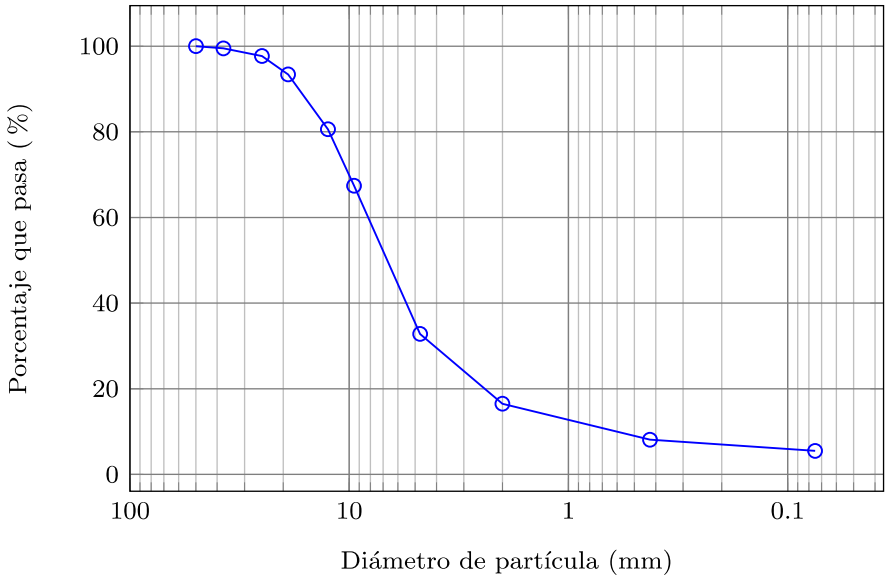


Figura 4.1 Curva granulométrica promedio de suelo natural.
Fuente: El autor.

4.1.4 Densidad específica del suelo natural (Gs)

Se realizaron 3 ensayos de peso específico en el laboratorio de suelos de la Universidad del Azuay de diferentes muestras de suelo natural de la mina de Chocarsi como se puede observar en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Peso específico de muestras del suelo natural.

Muestra	Gs
1	2.53
2	2.57
3	2.5
Promedio	2.53

Fuente: El autor.

Al ser un material bastante uniforme, se puede tomar un valor promedio de Gs=2.53, el cual es un valor adimensional.

4.1.5 Contenido de materia orgánica (Co)

Se realizaron 6 ensayos de contenido de materia orgánica al a muestra de suelo natural como se puede observar en la tabla 4.4 de diferentes muestras de suelo, por el método de ignición, como indica la norma (INV E-121-07, 1996-2002). Los resultados obtenidos

como muestran los resultados de las 6 muestras de material tomado de la mina de Chocarsi son bastante uniformes y arroja resultados similares. Por tal motivo, se realizó un promedio de los resultados de los ensayos de contenido orgánico, tomando este valor como representativo para todas las muestras de suelo.

Tabla 4.4 Contenido de materia orgánica de muestras de suelo natural.

# Muestra	Tara	Peso antes de la ignición	Peso después de la ignición	Contenido orgánico
	gr.	gr.	gr.	%
16	28.9	40.1	39.9	1.99
21	23.5	33.9	33.7	2.03
2	24.4	35.7	35.5	1.86
11	21.8	31.6	31.4	2.03
15	24.2	35.9	35.6	1.98
SN	35.7	45.8	45.6	2.01

Fuente: El autor.

El valor de contenido orgánico promedio es Co= 1.98%, el cual es menor al 2% lo que pronostica una correcta estabilización del suelo con cemento, como lo menciona el (ACI, 2009)

4.1.6 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con cemento

La estabilización del material con cemento se realizó con porcentajes del 3%, 5% y 7% de cemento, los cuales se encuentran dentro del orden general de porciento utilizado en la estabilización de suelos granulares como mencionan (Asgary, Baghebanzadeh Dezzfuki, & Bayat, 2015) y (López, Fernadez, & López, 2010) en sus trabajos.

En la Tabla 4.5 se muestra los resultados y sus promedios obtenidos del límite líquido y límite plástico de las muestras estabilizadas con 3% de cemento Holcim tipo MH.

Tabla 4.5 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con 3% de cemento.

N° Muestra	1	2	3	Promedio
Límite líquido (%)	36.1	34.4	35.8	35.4
Límite plástico (%)	26.3	25.4	26.5	26.1
Índice plástico (%)	9.8	9	9.3	9.3

Fuente: El autor.

De igual manera, en la Tabla 4.6 se muestra los resultados y sus promedios obtenidos del límite líquido y límite plástico de las muestras estabilizadas con 5% de cemento Holcim tipo MH.

Tabla 4.6 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con 5% de cemento.

N° Muestra	1	2	3	Promedio
Límite líquido (%)	33.4	34.1	35.8	34.43
Límite plástico (%)	26.5	25.7	24.8	25.67
Índice plástico (%)	6.9	8.4	11	8.77

Fuente: El autor.

Finalmente, en la Tabla 4.7 se muestra los resultados y sus promedios obtenidos del límite líquido y límite plástico de las muestras estabilizadas con 7% de cemento Holcim tipo MH.

Tabla 4.7 Límites de Atterberg de suelo estabilizado con 7% de cemento.

N° Muestra	1	2	3	Promedio
Límite líquido (%)	34	34.5	34.9	34.47
Límite plástico (%)	28.7	26.3	27.3	27.43
Índice plástico (%)	5.3	8.2	7.6	7.04

Fuente: El autor.

En el Anexo 2.2 y 2.3 se puede encontrar los ensayos realizados para la obtención del límite líquido y el límite plástico de las muestras estabilizadas con 3%, 5% y 7% de cemento.

Los resultados de los ensayos de límites de Atterberg, en función del contenido de cemento, se muestran en la Figura 4.2. Se puede observar que el límite líquido disminuye cuando el contenido de cemento aumenta, mientras el límite plástico aumenta cuando el

contenido de cemento aumenta. Consecuentemente, el índice de plasticidad disminuye con el aumento en el contenido de cemento. Es sabido que la trabajabilidad del suelo se incrementa con la disminución del índice de plasticidad (Mallega, Quintis, & Smith, 2004), por tanto, a mayor porcentaje de cemento mejoran las propiedades físicas del suelo.

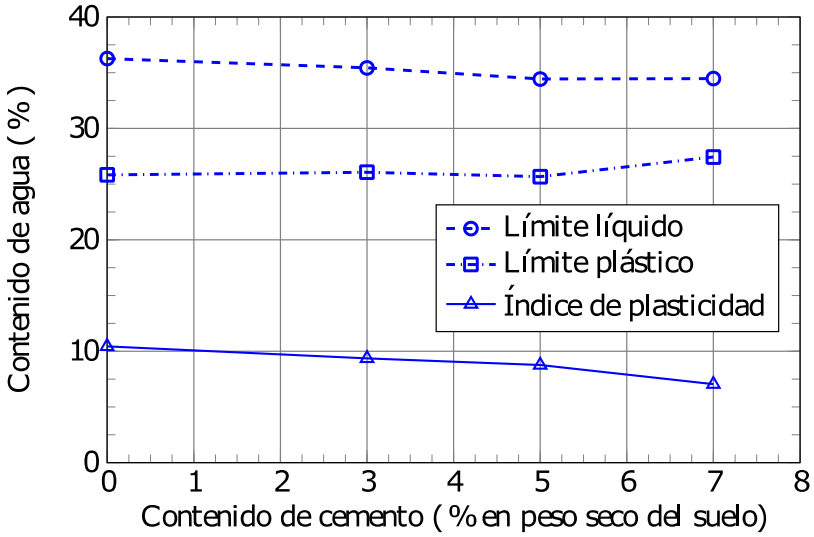


Figura 4.2 Límites de Atterberg en función del contenido de cemento.
Fuente: El autor.

Teniendo en cuenta la granulometría del suelo original y los límites de Atterberg, el suelo estabilizado con cemento según la AASHTO ahora se clasifica como A-2-4 (0), grava o arena limosa o arcilla para todos los contenidos de cemento, mientras que para la norma SUCS el suelo se mantiene como GP-GM.

4.1.7 Densidad específica del cemento (Gs)

Se realizaron 3 ensayos de densidad específica en el laboratorio de suelos de la Universidad del Azuay del cemento tipo MH brindado por la empresa Holcim, donde se puede observar (Ver tabla 4.8) que los valores de Gs del cemento varían entre 3.03 y 3.07 (adimensional).

Tabla 4.8 Densidad específica del cemento Holcim tipo MH.

Muestra	Gs
1	3.03
2	3.04
3	3.07
Promedio	3.04

Fuente: El autor.

Al no tener mucha variación de los resultados, se puede encontrar un valor promedio de los datos de densidad específica del cemento Gs=3.04. El valor del peso específico del cemento Holcim tipo MH se encuentra dentro de los parámetros establecidos por ser un cemento de bajo calor de hidratación como lo menciona (Cemento Chimborazo, 2016) para su marca de cemento.

4.2 Propiedades mecánicas del suelo

4.2.1 Ensayo de compactación (Proctor Modificado)

El ensayo Proctor Modificado fue realizado a muestras de suelo natural y para contenidos de 3%, 5% y 7% de cemento Holcim tipo MH tal y como indica la norma ASTM D-1557-2. A todas las muestra se les determinó la densidad seca máxima ($\rho_{max.}$) y humedad óptima ($\omega_{op.}$) de dicha energía de Proctor Modificado.

Tabla 4.9 Resultados de ensayo Proctor Modificado en suelo natural.

Ensayo de compactación Proctor Modificado			
	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2046	2013	2116
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	11.55	10.09	10.16

Fuente: El autor.

Tabla 4.10 Resultados del ensayo Proctor Modificado en suelo estabilizado con 3% de cemento.

Ensayo de compactación Proctor Modificado			
	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2094	2028	2058
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	11.48	11.81	11.97

Fuente: El autor.

Tabla 4.11 Resultados del ensayo Proctor Modificado en suelo estabilizado con 5% de cemento.

Ensayo de compactación Proctor Modificado			
	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2055	2056	2065
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	11.24	11.87	11.76

Fuente: El autor.

Tabla 4.12 Resultados del ensayo Proctor Modificado en suelo estabilizado con 7% de cemento.

Ensayo de compactación Proctor Modificado			
	Muestra 1	**Muestra 2**	**Muestra 3**
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2048	2565	2063
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	12.27	11.16	12.69

Nota: La muestra 2 ensayada se desechó por errores en la manipulación de esta y ejecución del ensayo.

Fuente: El autor.

En las tablas 4.9 - 4.12 se evidencia que el material es bastante homogéneo por la similitud de sus resultados, variando la densidad seca máxima ($\rho_{d\text{-}max.}$) de 2013 kg/m³ hasta 2116 kg/m³.

Por tratarse de dos parámetros que se relacionan para definir la humedad óptima ($\omega_{opt.}$ **)** con la que se debe compactar la muestra para determinar el valor del CBR, se definirá la humedad a compactar cada muestra con las energías de 10, 25 y 56 golpes, como los promedios obtenidos para cada muestra con la energía del Proctor Modificado como se puede observar en las tablas 4.13 – 4.16.

Tabla 4.13 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo natural.

Promedio del ensayo de compactación	
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2058
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	10.67

Fuente: El autor.

Tabla 4.14 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo estabilizado con 3% de cemento.

Promedio del ensayo de compactación	
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2060
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	11.75

Fuente: El autor.

Tabla 4.15 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo estabilizado con 5% de cemento.

Promedio del ensayo de compactación	
Densidad seca máxima $\rho_{d\text{-}max.}$ (kg/m³)	2059
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	11.81

Fuente: El autor.

Tabla 4.16 Promedio de la densidad seca máxima y humedad óptima de los ensayos Proctor Modificado en suelo estabilizado con 7% de cemento.

Promedio del ensayo de compactación	
Densidad seca máxima $\rho_{max.}$ (kg/m³)	2056
Humedad óptima $\omega_{opt.}$ (%)	12.48

Fuente: El autor.

4.2.2 Características de compactación

En los resultados anteriores se tiene la variación de la humedad óptima y la densidad seca máxima de la energía Proctor Modificado para el suelo natural y estabilizado con 3%, 5% y 7% de cemento, compactando la muestra inmediatamente que se mezcla el suelo, el cemento y el agua.

En la figura 4.3 se puede observar que, en general, a medida que el contenido de cemento aumenta, el contenido óptimo de humedad aumenta. En lo que respecta a la densidad seca máxima, se puede observar en la figura 4.4, que la misma aumenta con el 3% y 5% mientras que disminuye con el 7%; sin embargo, el aumento y/o disminución es relativamente pequeña, en comparación con la del suelo en estado natural. Resultados similares fueron obtenidos por investigadores como (Sariosseiri & Balasingam, 2009), (Asgary, Baghebanzadeh Dezzfuki, & Bayat, 2015) y (Mengue, Mroueh, Lancelot, & Eko, 2018) que emplearon cemento para mejorar las propiedades geotécnicas e ingenieriles del suelo.

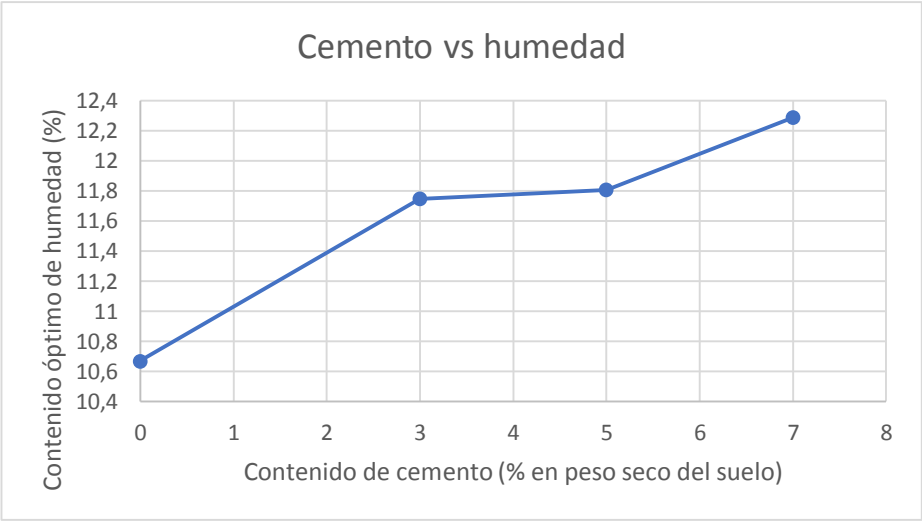


Figura 4.3 Contenido de cemento vs contenido de humedad óptima.
Fuente: El autor.

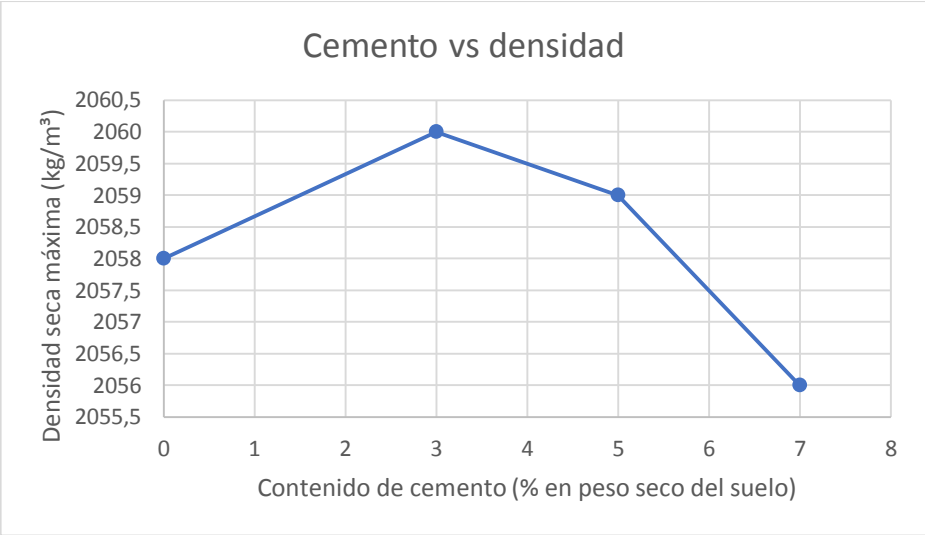


Figura 4.4 Contenido de cemento vs densidad seca máxima.
Fuente: El autor.

Como en obra puede existir demora entre el tiempo de ejecución del mezclado de los elementos y el inicio de la compactación, se ha tratado de conocer la afectación que puede tener en la densidad seca y por ende en la resistencia del suelo estabilizado, el tiempo transcurrido entre la mezcla de los materiales y el inicio de la compactación en el campo. Para ello se realizó el siguiente experimento:

Se mezclaron los materiales con el 3% y 5% de cemento, con la humedad óptima del Proctor Modificado de dichos porcentajes. Para cada porcentaje se realizaron 5 muestras, comenzando por la compactación inmediatamente determinada la mezcla, y a 1 hora, 2 horas, 4 horas y 6 horas de mezclada. Solo se le dejó al aire libre en bandejas dentro del local del laboratorio.

Los resultados se muestran en las tablas 4.17 y 4.18. En las mismas se observa que en la medida que aumenta el tiempo de inicio de la compactación, se obtienen densidades secas menores, siendo esto perjudicial, ya que, al disminuir la densidad seca, también disminuye la resistencia y la capacidad portante (CBR) del terraplén compactado.

Se concluye con estos resultados la importancia del período de tiempo que se debe tener entre el mezclado y la compactación de campo, sobre todo, cuando esto se realiza en período de verano donde la temperatura del sol disminuye sustancialmente la humedad de la mezcla.

Tabla 4.17 Densidad a diferentes tiempos de ensayo de muestras con 3% de cemento.

Tiempo (horas)	**Densidad kg/m³**
0	1994.9
1	1974.98
2	1953.68
4	1824.87
6	1825.93

Fuente: El autor.

Tabla 4.18 Densidad a diferentes tiempos de ensayo de muestras con 5% de cemento.

Tiempo (horas)	**Densidad kg/m³**
0	1995.83
1	1921.65
2	1849.70
4	1833.52
6	1789.09

Fuente: El autor.

4.2.3 Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

Para la determinación del ensayo CBR, al igual que en el Proctor Modificado, los ensayos fueron realizados a muestras de suelo en estado natural y suelos estabilizados con cemento Holcim, tipo MH, tal y como indica la norma ASTM D-1883-07, donde se utilizó la humedad óptima encontrada en el Proctor Modificado y la energía de compactación dada por 56, 25 y 10 golpes del martillo Proctor Modificado. Por cada muestra representativa se realizaron 3 ensayos de CBR con muestras sumergidas, 3 sin sumergir y penetradas inmediatamente y 3 curadas 4 días al aire libre previo a la penetración.

4.2.3.1 Determinación de la densidad seca (ϱ) y humedad (ω)

En las tablas 4.19 - 4.26 se observan los resultados de densidad seca obtenidos con la humedad óptima del ensayo Proctor Modificado aplicando las energías de compactación establecidas en la norma del ensayo (CBR), es decir con 10, 25 y 56 golpes del martillo Proctor Modificado.

Aunque a la humedad óptima de la energía Proctor Modificado le corresponde un valor, obtener la misma humedad al realizar la mezcla no es posible, por lo que las mismas difieren ligeramente en relación con la humedad óptima del Proctor Modificado obtenidas en las tablas 4.13 – 4.16.

Tabla 4.19 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR de suelo natural sumergidas.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa				
Muestra	**11**	**20**	**23**	**27**
Densidad seca γ (kg/m³)	1708	1778	1742	1729
Humedad ω (%)	11.65	12.07	12.35	11.93
Grupo 2: 25 golpes por cada capa				
Muestra	**11**	**20**	**23**	**27**
Densidad seca γ (kg/m³)	1834	1917	1914	1883
Humedad ω (%)	11.65	12.07	12.35	11.93
Grupo 3: 56 golpes por cada capa				
Muestra	**11**	**20**	**23**	**27**
Densidad seca γ (kg/m³)	1952	2.028	2.009	2.005
Humedad ω (%)	11.65	12.07	12.35	11.93

Fuente: El autor.

Tabla 4.20 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR de suelo natural sin sumergir.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa			
Muestra	**18**	**20**	**21**
Densidad seca γ (kg/m³)	1708	1778	1742
Humedad ω (%)	11.65	12.07	12.35
Grupo 2: 25 golpes por cada capa			
Muestra	**18**	**20**	**21**
Densidad seca γ (kg/m³)	1834	1917	1914
Humedad ω (%)	11.65	12.07	12.35
Grupo 3: 56 golpes por cada capa			
Muestra	**18**	**20**	**21**
Densidad seca γ (kg/m³)	1952	2028	2009
Humedad ω (%)	11.65	12.07	12.35

Fuente: El autor.

Tabla 4.21 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 3% de cemento sumergidas.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa			
Muestra	**25**	**30**	**31**
Densidad seca γ (kg/m³)	1757	1721	1735
Humedad ω (%)	12.04	12.15	12.16
Grupo 2: 25 golpes por cada capa			
Muestra	**25**	**30**	**31**
Densidad seca γ (kg/m³)	1933	1866	1873
Humedad ω (%)	12.04	12.15	12.16
Grupo 3: 56 golpes por cada capa			
Muestra	**25**	**30**	**31**
Densidad seca γ (kg/m³)	2013	1995	1993
Humedad ω (%)	12.04	12.15	12.16

Fuente: El autor.

Tabla 4.22 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa		
Muestra	**24**	**25**
Densidad seca γ (kg/m³)	1739	1806
Humedad ω (%)	12.27	12.84
Grupo 2: 25 golpes por cada capa		
Muestra	**24**	**25**
Densidad seca γ (kg/m³)	1877	1933
Humedad ω (%)	12.27	12.84
Grupo 3: 56 golpes por cada capa		
Muestra	**24**	**25**
Densidad seca γ (kg/m³)	2000	1979
Humedad ω (%)	12.27	12.84

Fuente: El autor.

Tabla 4.23 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 3% de cemento sin sumergir.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa			
Muestra	**25**	**26**	**27**
Densidad seca γ (kg/m³)	1778	1762	1739
Humedad ω (%)	12.51	12.39	12.54
Grupo 2: 25 golpes por cada capa			
Muestra	**25**	**26**	**27**
Densidad seca γ (kg/m³)	1924	1917	1908
Humedad ω (%)	12.51	12.39	12.54
Grupo 3: 56 golpes por cada capa			
Muestra	**25**	**26**	**27**
Densidad seca γ (kg/m³)	1994	1997	1996
Humedad ω (%)	12.51	12.39	12.54

Fuente: El autor.

Tabla 4.24 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 5% de cemento sumergidas.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa		
Muestra	**27**	**SN**
Densidad seca γ (kg/m³)	1784	1725
Humedad ω (%)	12.00	11.84
Grupo 2: 25 golpes por cada capa		
Muestra	**20**	**SN**
Densidad seca γ (kg/m³)	1933	1939
Humedad ω (%)	12.00	11.84
Grupo 3: 56 golpes por cada capa		
Muestra	**20**	**SN**
Densidad seca γ (kg/m³)	2014	2031
Humedad ω (%)	12.00	11.84

Fuente: El autor.

Tabla 4.25 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa			
Muestra	**23**	**24**	**26**
Densidad seca γ (kg/m³)	1742	1736	1749
Humedad ω (%)	12.54	12.41	11.87
Grupo 2: 25 golpes por cada capa			
Muestra	**23**	**24**	**26**
Densidad seca γ (kg/m³)	1864	1907	1912
Humedad ω (%)	12.54	12.41	11.87
Grupo 3: 56 golpes por cada capa			
Muestra	**23**	**24**	**26**
Densidad seca γ (kg/m³)	2004	1993	2016
Humedad ω (%)	12.54	12.41	11.87

Fuente: El autor.

Tabla 4.26 Densidad seca y humedad de las muestras de ensayo CBR estabilizadas con 5% de cemento sin sumergir.

Grupo 1: 10 golpes por cada capa		
Muestra	**20**	**21**
Densidad seca γ (kg/m³)	1718	1750
Humedad ω (%)	11.84	12.80
Grupo 2: 25 golpes por cada capa		
Muestra	**20**	**21**
Densidad seca γ (kg/m³)	1876	1920
Humedad ω (%)	11.84	12.80
Grupo 3: 56 golpes por cada capa		
Muestra	**20**	**21**
Densidad seca γ (kg/m³)	1998	2016
Humedad ω (%)	11.84	12.80

Fuente: El autor.

4.2.3.2. Determinación de la penetración y carga unitaria media

Teniendo tres muestras para cada energía de compactación, en las tablas 4.27 – 4.34 se presentan los resultados promedio de la penetración (pulg) y carga unitaria media (lb/pulg²).

Los resultados fueron obtenidos mediante la aplicación de una carga por medio de un pistón circular de 19.35cm² que se introduce en las muestra de suelo natural y estabilizado con 3% y 5% de cemento a una velocidad de 1,2 mm/min como indica la norma (ASTM, 1898 - 2013). Esta velocidad será aproximada ya que el ensayo se lo realizó manualmente tratando de mantener una velocidad uniforme y registrando los valores de carga para las magnitudes de penetración indicadas en la norma.

Tabla 4.27 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras de suelo natural sumergidas.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	56.28	126.79	42.06
0.050	102.67	249.87	109.47
0.075	133.59	343.88	202.87
0.100	157.72	418.72	330.27
0.150	197.92	534.38	517.68
0.200	234.41	623.44	676.63
0.250	261.00	701.99	814.55
0.300	294.40	766.31	982.17
0.400	348.21	894.34	1191.22
0.500	393.98	995.15	1413.87

Fuente: El autor.

Tabla 4.28 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras de suelo natural sin sumergir.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	65.15	112.15	286.98
0.050	106.38	213.59	463.46
0.075	142.67	291.93	616.02
0.100	173.18	345.53	761.98
0.150	223.48	433.77	986.29
0.200	265.54	510.46	1166.89
0.250	303.47	586.33	1321.10
0.300	338.11	649.00	1486.86
0.400	389.24	756.21	1726.83
0.500	444.49	864.24	1967.63

Fuente: El autor.

Tabla 4.29 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 3% de cemento sumergidas.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	347.18	242.45	380.17
0.050	673.74	749.61	777.65
0.075	757.86	1109.16	1181.73
0.100	888.16	1348.31	1554.48
0.150	1046.49	1710.34	2237.29
0.200	1201.52	2158.95	0.00
0.250	1317.80	0.00	0.00
0.300	1421.71	0.00	0.00
0.400	1570.15	0.00	0.00
0.500	1732.60	0.00	0.00

Fuente: El autor.

Tabla 4.30 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	128.65	352.54	158.33
0.050	322.85	592.52	335.22
0.075	395.84	745.90	664.26
0.100	444.08	854.76	890.63
0.150	531.90	1037.83	1265.44
0.200	609.83	1183.79	1710.75
0.250	680.34	1317.39	2050.92
0.300	739.72	1420.06	2245.13
0.400	855.99	1592.00	0.00
0.500	959.90	2000.20	0.00

Fuente: El autor.

Tabla 4.31 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 3% de cemento sin sumergir.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	125.35	188.02	158.33
0.050	211.11	356.25	261.42
0.075	271.31	502.22	424.70
0.100	325.74	633.34	607.77
0.150	426.35	857.64	865.89
0.200	480.77	1044.84	1138.03
0.250	550.05	1207.30	1399.44
0.300	611.90	1349.96	1593.24
0.400	722.40	1622.10	2030.30
0.500	831.25	1849.70	2251.31

Fuente: El autor.

Tabla 4.32 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 5% de cemento sumergido.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0	0	0	0
0.025	927.74	1026.70	470.05
0.05	1301.31	1657.56	1397.79
0.075	1536.34	1979.18	2177.09
0.1	1714.46	2177	2424
0.15	1959.38	0	0
0.2	2137.51	0	0
0.25	0	0	0
0.3	0	0	0
0.4	0	0	0
0.5	0	0	0

Fuente: El autor.

Tabla 4.33 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	338.93	791.67	635.81
0.050	531.90	1236.99	1220.49
0.075	685.29	1676.53	1640.24
0.100	883.21	1903.31	1949.49
0.150	1006.91	2258.73	0.00
0.200	1309.55	0.00	0.00
0.250	1328.52	0.00	0.00
0.300	1441.50	0.00	0.00
0.400	1630.35	0.00	0.00
0.500	1760.23	0.00	0.00

Fuente: El autor.

Tabla 4.34 Penetración y carga unitaria media del ensayo CBR de muestras estabilizadas con 5% de cemento sin sumergir.

Penetración	**Molde**		
	3	**2**	**1**
	10 (golpes/capa)	**25 (golpes/capa)**	**56 (golpes/capa)**
	Carga unitaria media.		
(pulg)	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**
0.000	0.00	0.00	0.00
0.025	258.53	335.22	129.88
0.050	374.81	556.64	320.38
0.075	457.68	743.43	550.46
0.100	523.24	917.84	851.05
0.150	606.12	1232.04	1223.38
0.200	686.53	1469.54	1537.57
0.250	755.80	1640.24	1892.59
0.300	813.94	1804.76	2063.29
0.400	931.45	2065.76	0.00
0.500	1027.93	0.00	0.00

Fuente: El autor.

4.2.3.3. Representación gráfica de las curvas esfuerzo-deformación para la determinación del CBR

Con los resultados de las cargas unitarias promedio, se realizaron las curvas de esfuerzo-deformación de las diferentes muestras en suelo natural y estabilizadas con cemento (ver figuras 4.5 - 4.12) con energías de compactación a 56, 25 y 10 golpes tal y como indica la norma. Se puede observar que mientras más cemento posea la muestra y mejor sea el curado, se obtendrá una mayor carga a un menor nivel de penetración, es decir, la capacidad de soporte del suelo aumenta.

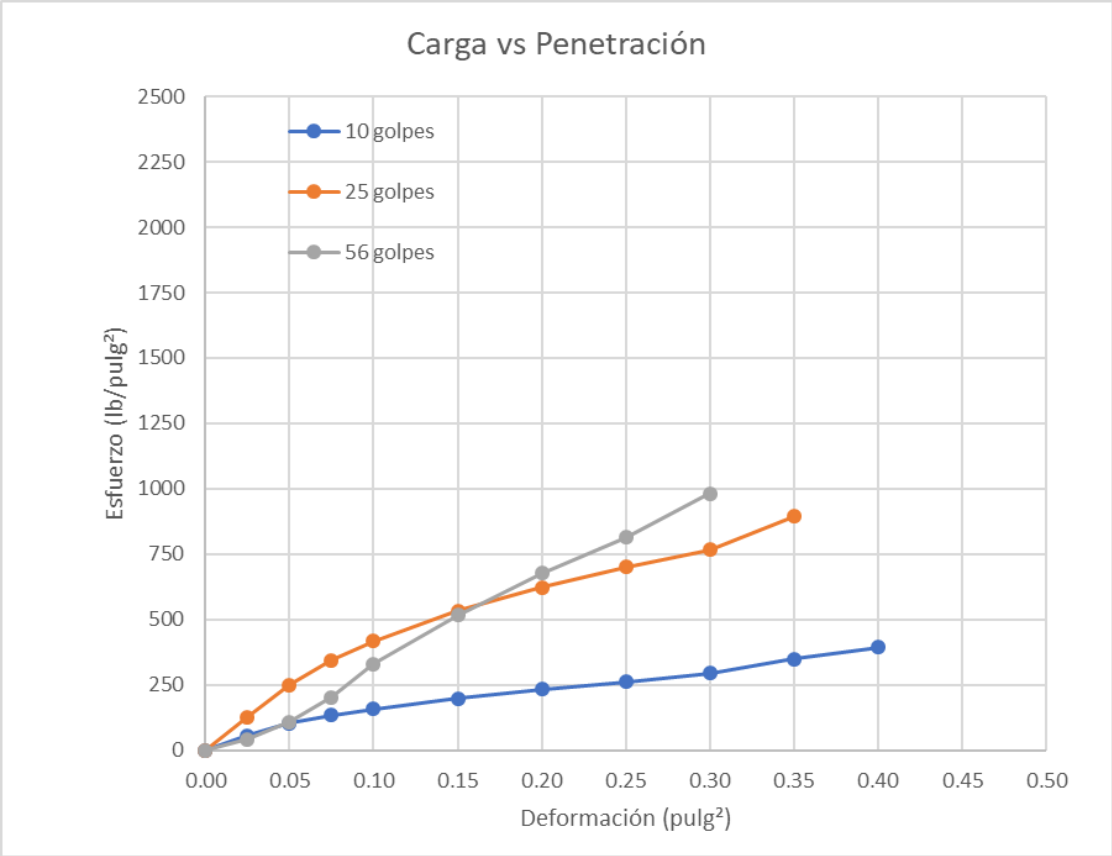


Figura 4.5 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras de suelo natural sumergidas.
Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 56 golpes.
Fuente: El autor.

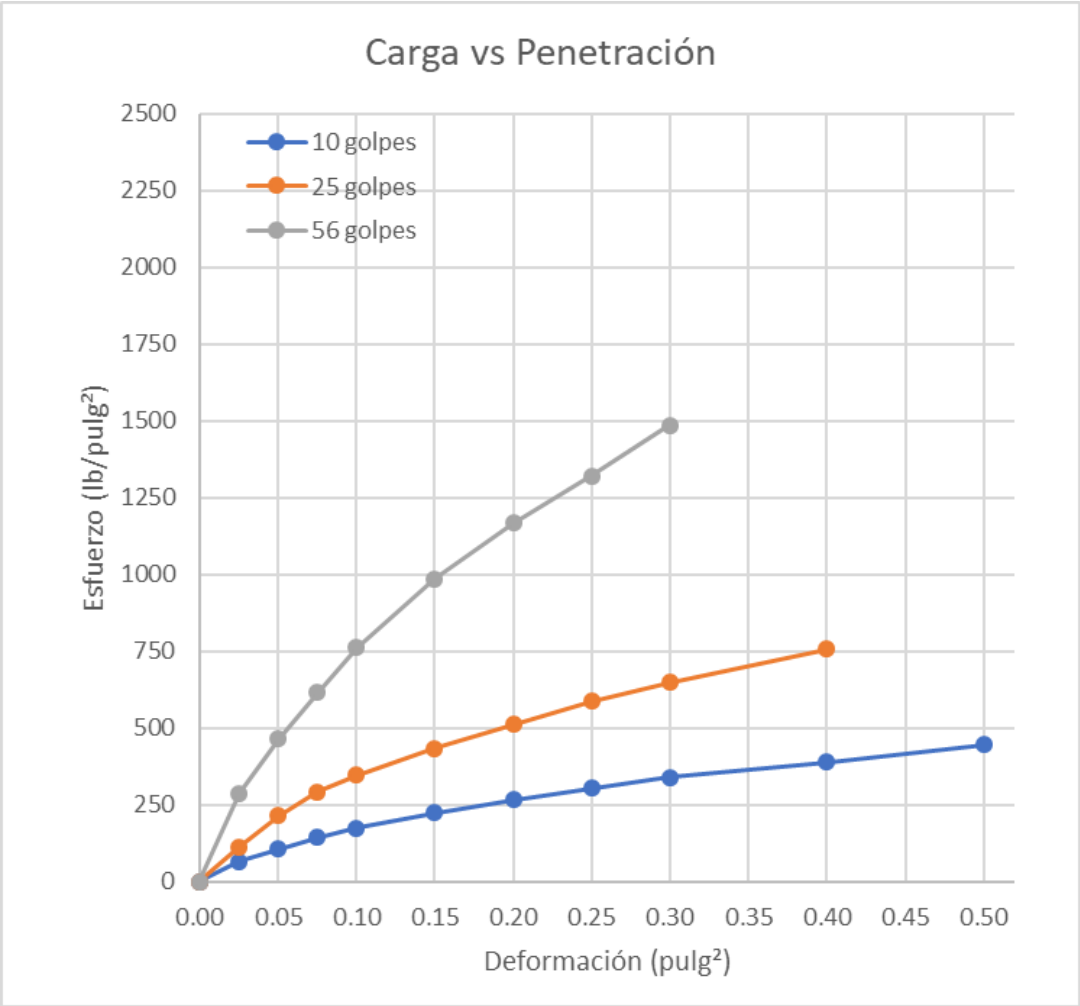


Figura 4.6 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras de suelo natuarl sin sumergir.

Nota: No se realizó ninguna corrección.

Fuente: El autor.

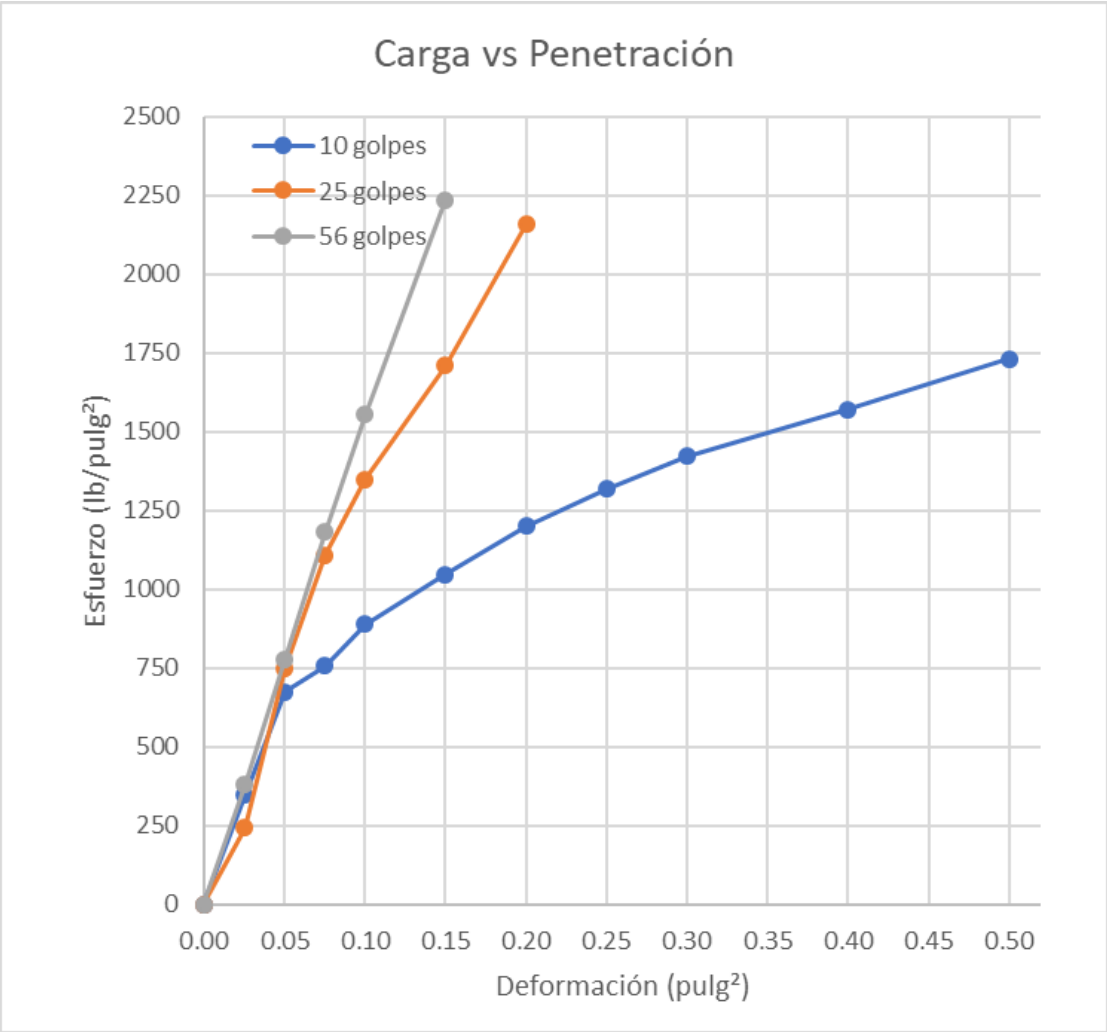


Figura 4.7 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 3% de cemento sumergido.

Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 25 golpes.

Fuente: El autor.

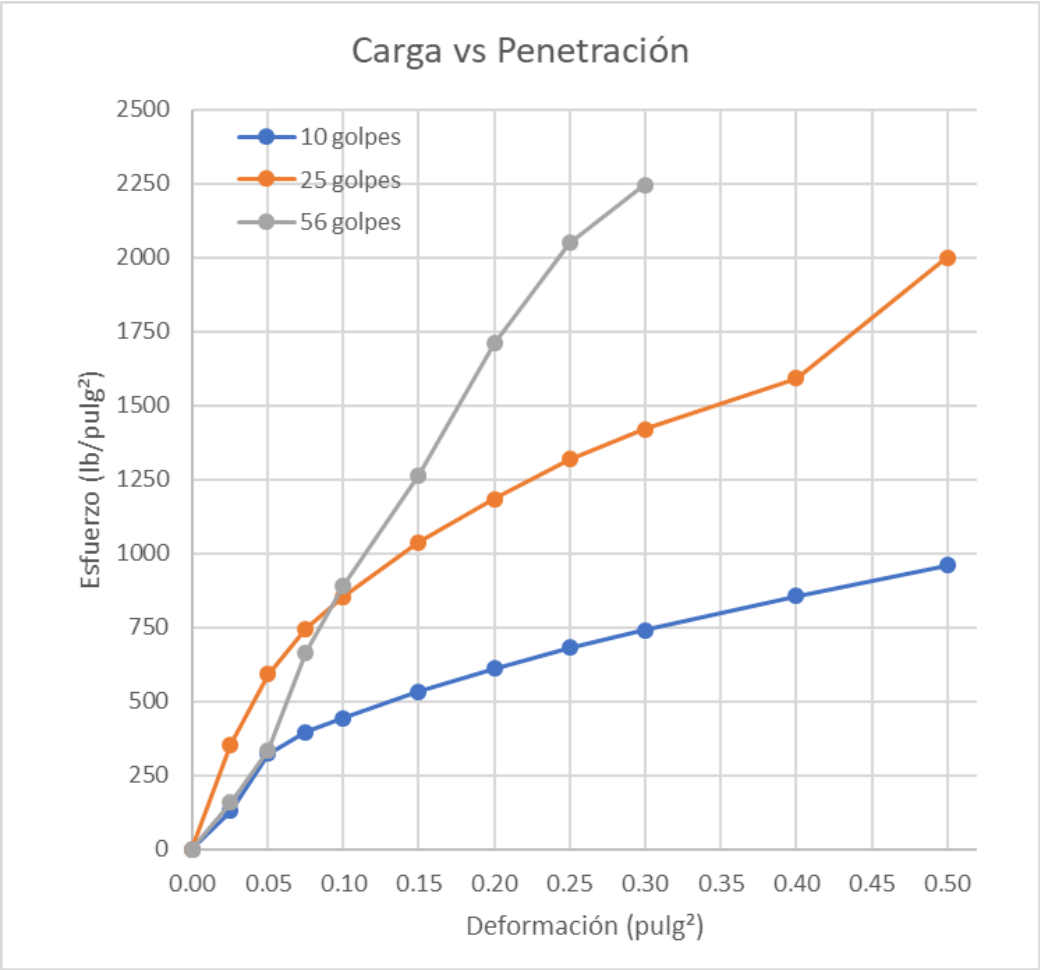


Figura 4. 8 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 56 y 10 golpes.

Fuete: El autor.

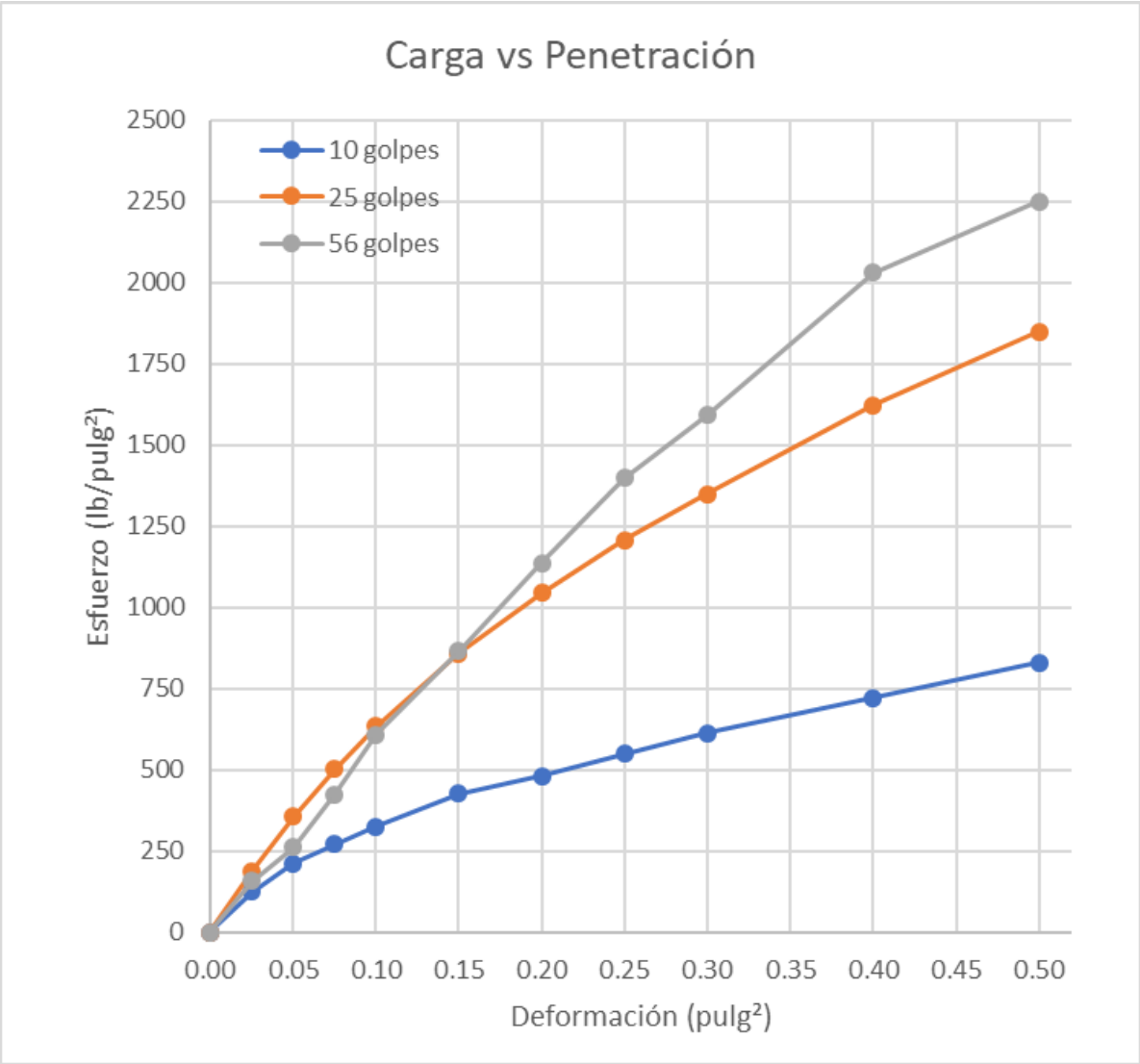


Figura 4.9 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 3% de cemento sin sumergir.

Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 56 golpes.

Fuente: El autor.

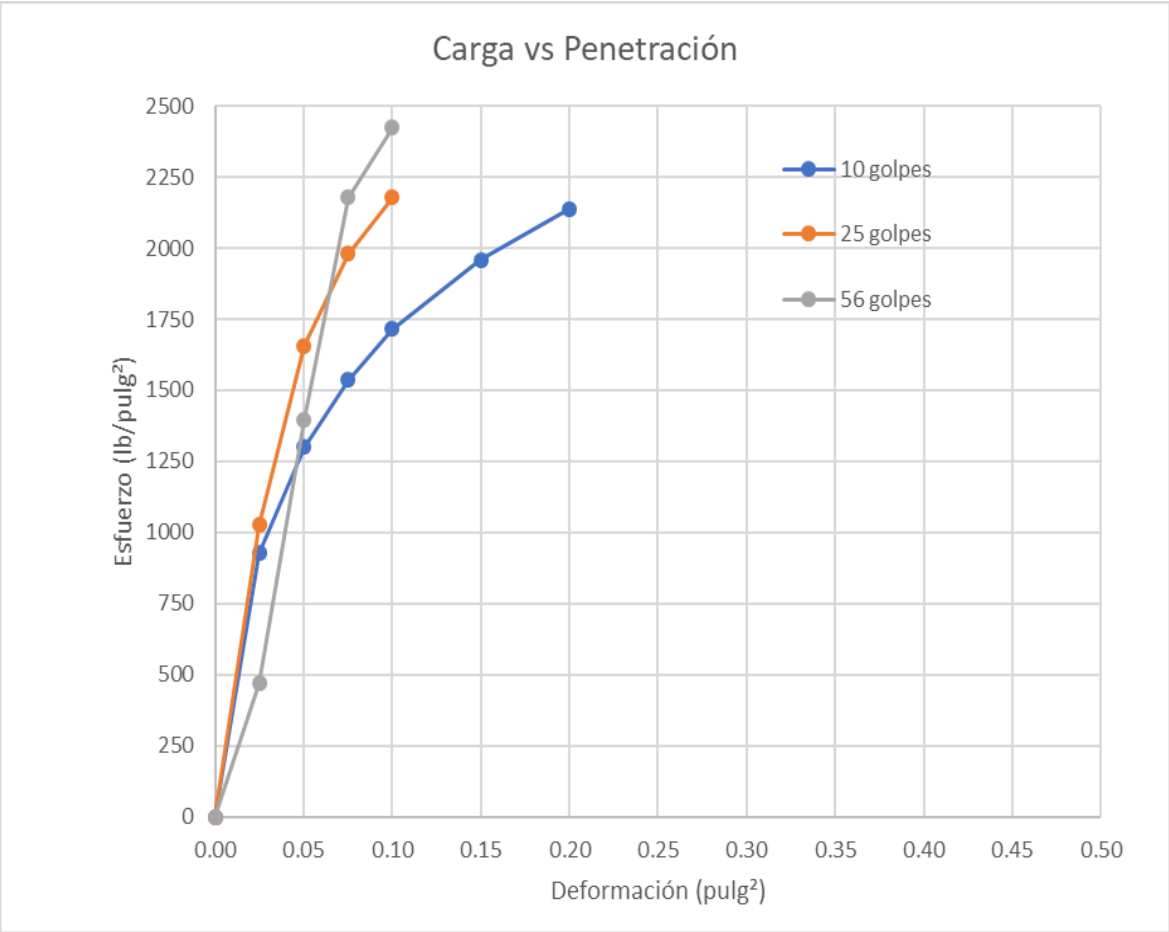


Figura 4.10 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 5% de cemento sumergido.

Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 56 golpes.
Fuente: El autor.

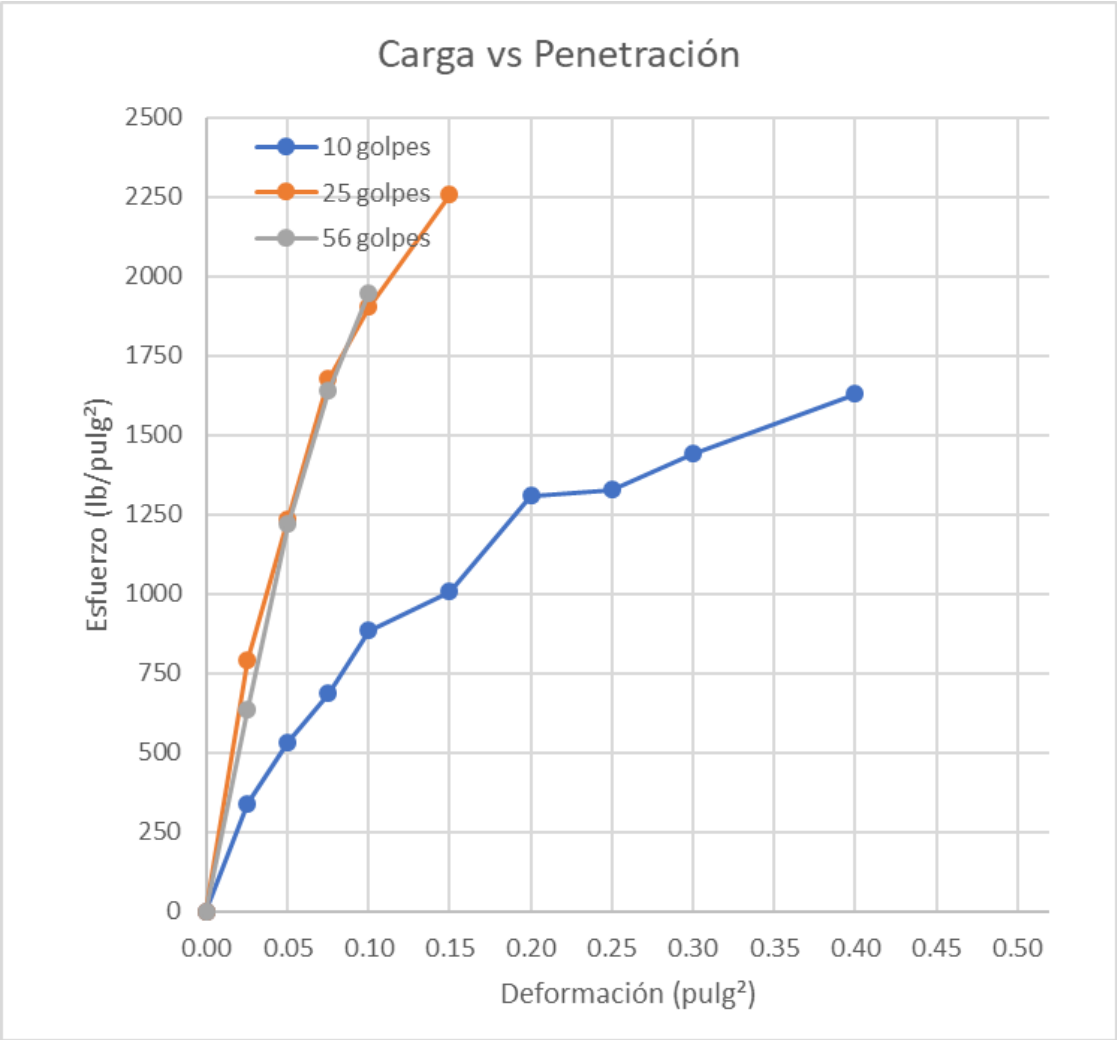


Figura 4.11 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 10 golpes.
Fuente: El autor.

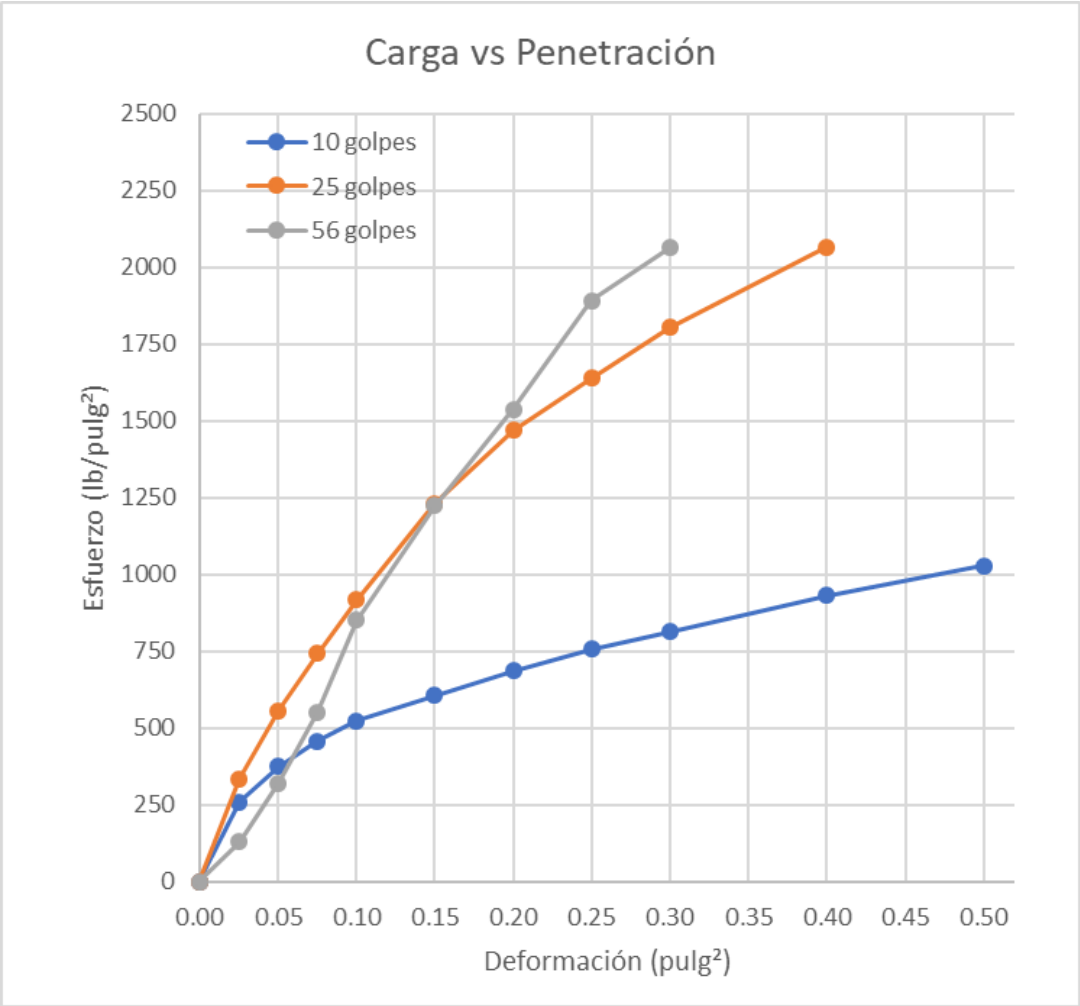


Figura 4.12 Curva esfuerzo-deformación de los valores medios de las muestras con 5% de cemento sin sumergir.

Nota: Se realizó la corrección a la curva con la energía de compactación de 56 golpes.

Fuente: El autor.

Ciertas curvas presentan un cambio de concavidad (cóncava hacia arriba), por tal motivo es necesario realizar la corrección correspondiente considerada en la norma D 1833-07 para encontrar el índice de CBR real.

Los índices de CBR corregidos a 0.1 pulg y 0.2 pulg de compactación para las diferentes muestras de suelo natural y estabilizado con cemento se presentan las tablas 4.35 - 4.42.

Tabla 4.35 Índice CBR medio para muestras de suelo natural sumergidas.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	157.72	16	418.72	42	475.76	48
0.2	234.41	16	623.44	42	797.17	53

Fuente: El autor.

Tabla 4.36 Índice CBR medio para muestras de suelo natural sin sumergir.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	173.18	17	345.53	35	761.98	76
0.2	265.54	18	510.46	34	1166.89	78

Fuente: El autor.

Tabla 4.37 Índice CBR medio para muestras con 3% de cemento sumergidas.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	888.16	89	1439.17	144	1755.48	176
0.2	1201.52	80	2158.95	144	0	0

Fuente: El autor.

Tabla 4. 38 Índice CBR medio para muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	444.08	44	854.76	85	1005.92	101
0.2	609.83	41	1193.79	80	1823.91	122

Fuente: El autor.

Tabla 4.39 Índice CBR medio para muestras con 3% de cemento sin sumergir.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	325.74	33	633.34	63	729.30	73
0.2	480.77	32	1044.84	70	1260.73	84

Fuente: El autor.

Tabla 4.40 Índice CBR medio para muestras con 5% de cemento sumergidas.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	1714.46	171	2177	218	2424	242
0.2	2137.51	143	0	0	0	0

Fuente: El Autor.

Tabla 4.41 Índice CBR medio para muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	883.21	88	1903.31	190	1949.49	195
0.2	1309.55	87	0	0	0	0

Fuente: El autor.

Tabla 4.42 Índice CBR medio para muestras con 5% de cemento sin sumergir.

Penetración	Molde					
	3		2		1	
	10 (golpes/capa)		25 (golpes/capa)		56 (golpes/capa)	
	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR	Carga unitaria media.	CBR
(pulg)	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%	(lb/pulg²)	%
0.1	523.24	52	917.84	92	1075.57	108
0.2	686.53	46	1469.54	98	1690.23	113

Fuente: El autor.

En las tablas 4.43 – 4.50 se muestran los resultados obtenidos del índice de CBR medio y los valores de densidad seca para las muestras de suelo natural y estabilizado con cemento, al 3% y 5%, en condiciones sumergidas, sin sumergir (ensayadas inmediatamente a la penetración) y curadas al aire libre durante 4 días.

Es importante mencionar que cuando el índice de CBR calculado para la deformación a 0.2 pulg, arrojó como resultado un valor mayor al índice de CBR calculado para la deformación a 0.1 pulg, se procedió a repetir el ensayo tal y como indica la norma ASTM D 1883-07. Luego de repetir el ensayo, si los resultados son similares, se toma el índice de CBR para la deformación de 0.2 pulg como indica la norma.

Tabla 4.43 Densidad media e índice de CBR de muestras de suelo natural sumergidas.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1739	16
25	1887	42
56	1999	48

Fuente: El autor.

Tabla 4.44 Densidad media e índice de CBR de muestras de suelo natural sin sumergir.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1714	17
25	1845	34
56	1983	76

Fuente: El autor.

Tabla 4.45 Densidad media e índice de CBR de muestras con 3% de cemento sumergidas.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1738	89
25	1891	144
56	2000	176

Fuente: El autor.

Tabla 4.46 Densidad media e índice de CBR de muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1773	44
25	1905	85
56	1990	122

Fuente: El autor.

Tabla 4.47 Densidad media e índice de CBR de muestras con 3% de cemento sin sumergir.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1760	32
25	1916	63
56	1996	73

Fuente: El autor.

Tabla 4.48 Densidad media e índice de CBR de muestras con 5% de cemento sumergidas.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1755	143
25	1936	218
56	2023	242

Fuente: El autor.

Tabla 4.49 Densidad media e índice de CBR de muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1742	87
25	1894	190
56	2004	195

Fuente: El autor.

Tabla 4.50 Densidad media e índice de CBR de muestras con 5% de cemento sin sumergir.

Golpes por capa	Densidad seca media	CBR
	kg/m³	%
10	1734	52
25	1898	92
56	2007	113

Fuente: El autor.

Con ayuda de los datos que se encuentran en las tablas resumen 4.43 - 4.50 se generaron las correspondientes curvas densidad seca-índice de CBR que se muestran en las figuras de la 4.13 a la 4.20. Mediante estas curvas se establece el índice CBR para un grado de compactación del 95 por ciento de la densidad seca máxima de la energía del Proctor Modificado (1955 Kg/m^3, 1957 Kg/m^3 y 1956 Kg/m^3, para el suelo natural, con 3% y 5% de cemento, respectivamente).

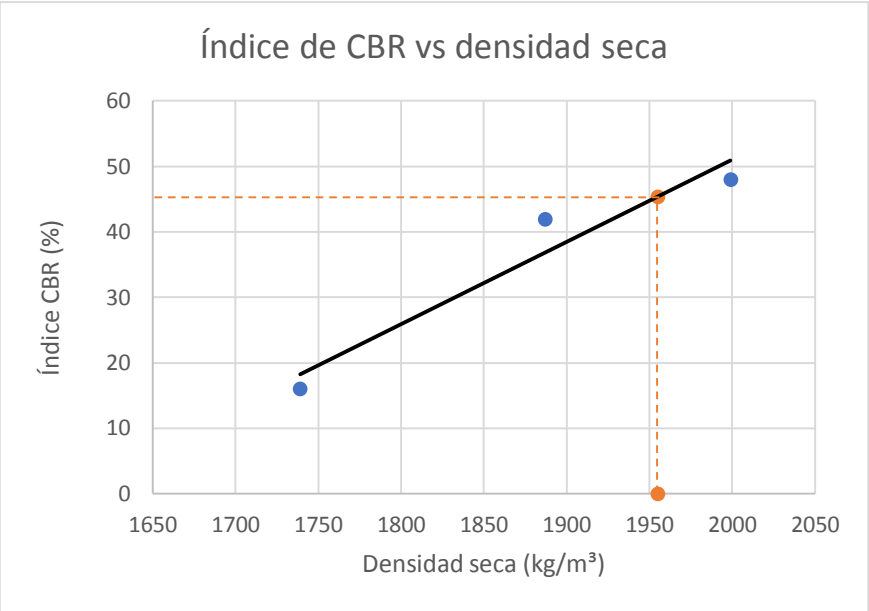


Figura 4.13 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras sin cemento sumergidas.
Fuente: El autor.

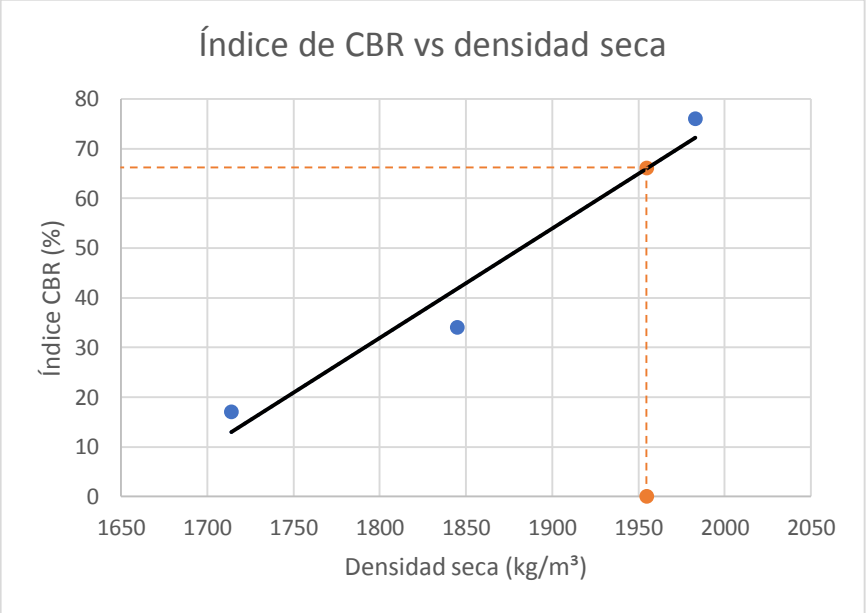


Figura 4.14 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras sin cemento sin sumergir.
Fuente: El autor.

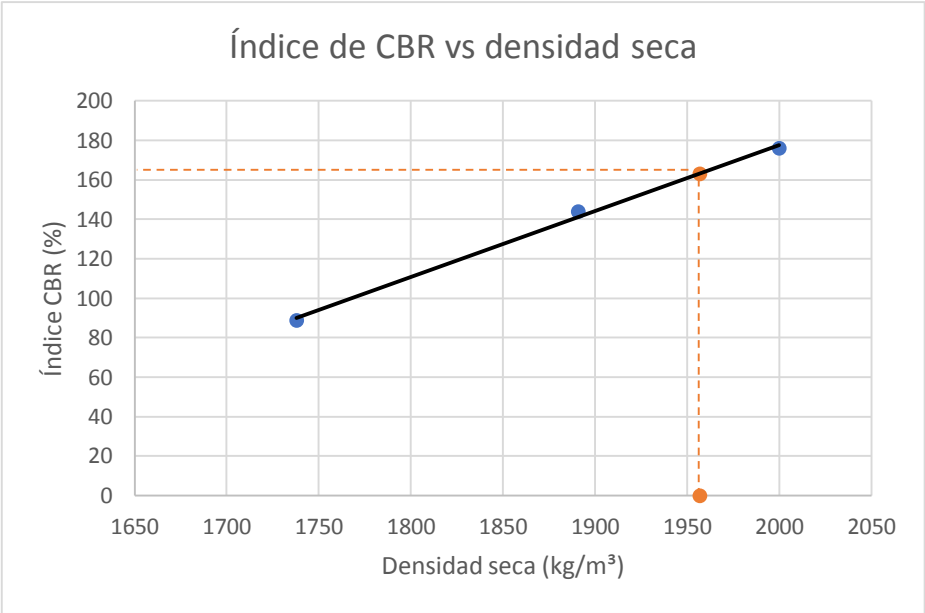


Figura 4.15 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 3% de cemento sumergidas.
Fuente: El autor.

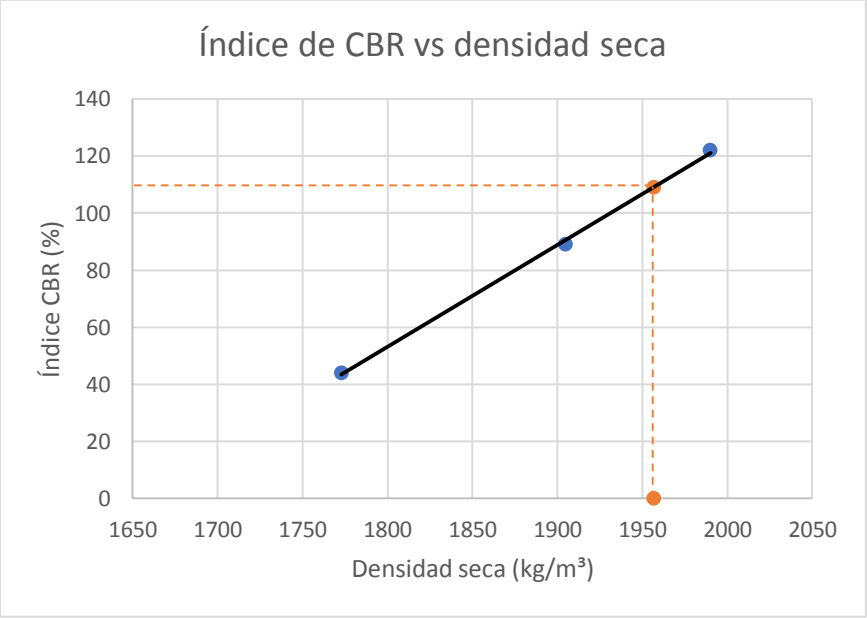


Figura 4.16 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 3% de cemento curadas 4 días al aire libre.
Fuente: El autor.

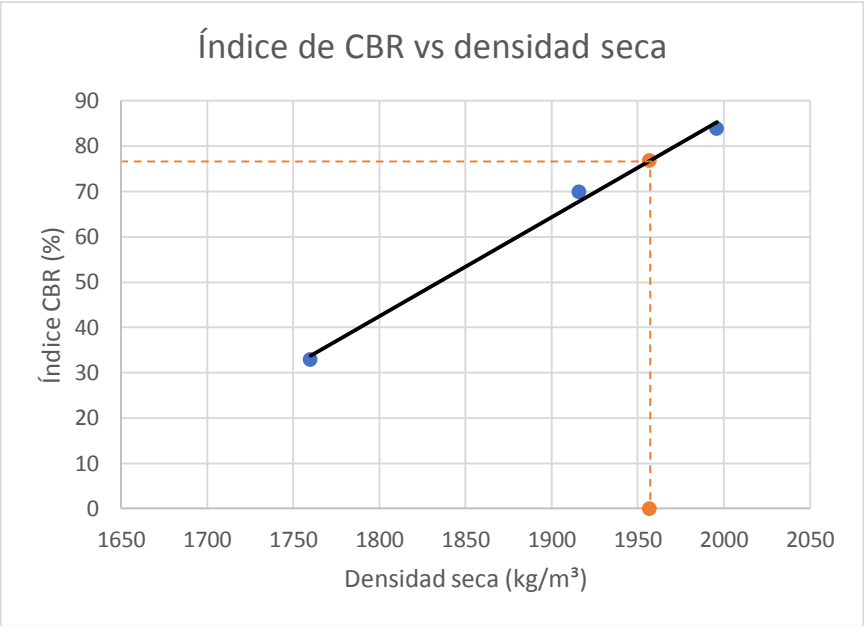


Figura 4.17 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 3% de cemento sin sumergir
Fuente: El autor.

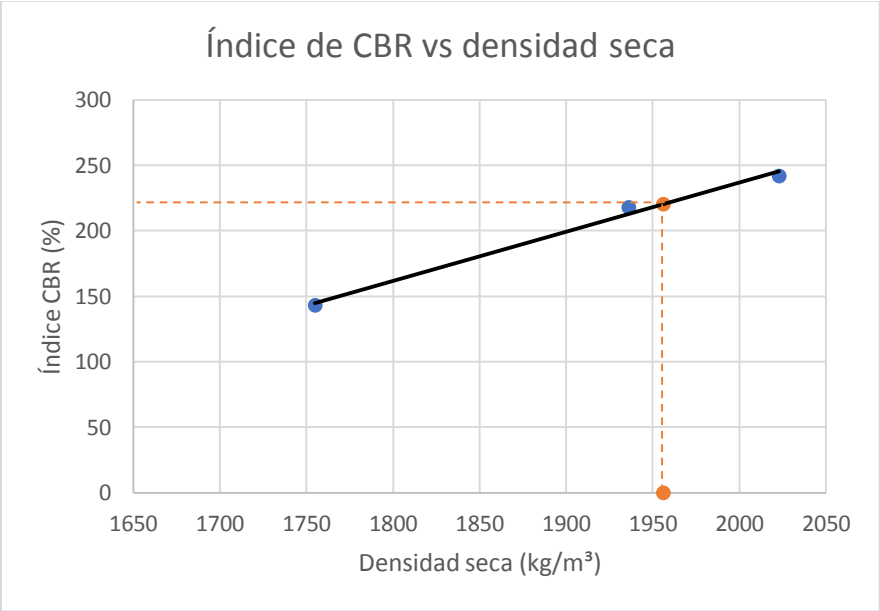


Figura 4. 18 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 5% de cemento sumergido.
Fuente: El autor.

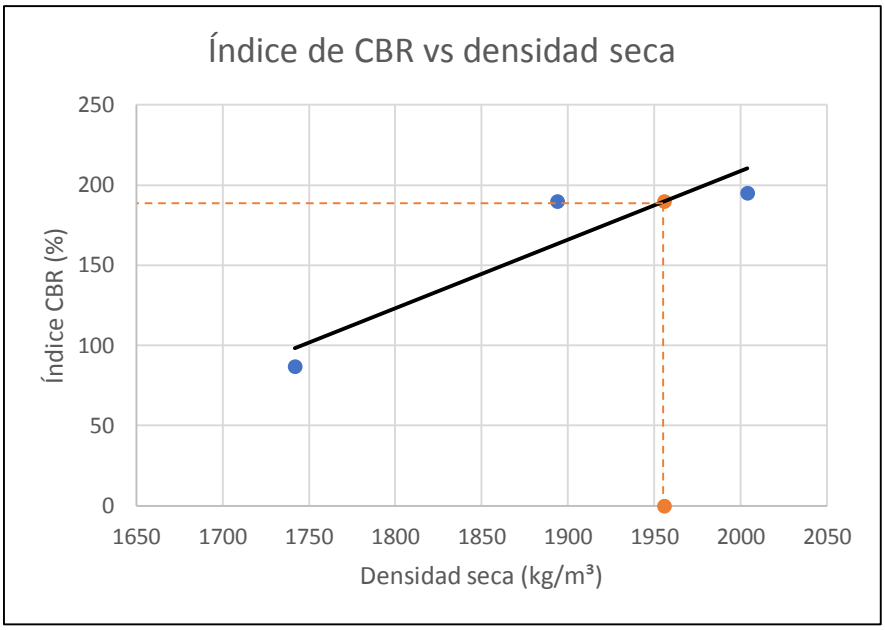


Figura 4.19 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 5% de cemento curadas 4 días al aire libre.
Fuente: El autor.

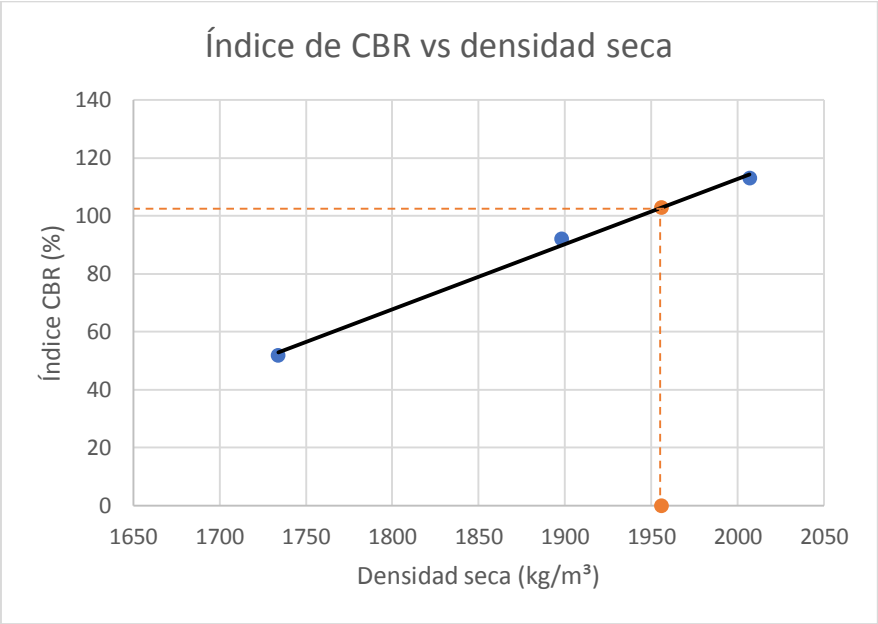


Figura 4.20 Curva densidad seca-índice de CBR de muestras con 5% de cemento sin sumergir.
Fuente: El autor.

En la Figura 4.21 se muestra la variación del índice CBR en función del contenido de cemento. En esta Figura se puede observar que el índice CBR, en todos los casos ($I_{CBR\text{-}ss}$,

I_{CBR-s} y I_{CBR-4}), aumenta a medida que aumenta el contenido de cemento. Se observa un leve incremento entre I_{CBR-ss} del suelo natural y el suelo con 3% de cemento (66% a 77%). Sin embargo, hay un mayor incremento entre el suelo natural y el suelo con 5% de cemento (66% a 103%). El incremento en el I_{CBR-ss} es menor al presentado en las otras muestras (I_{CBR-s} y I_{CBR-4}), este resultado parece lógico, ya que el proceso de fraguado del cemento aún no culmina.

En la Figura 4.22 también se puede observar un gran incremento entre I_{CBR-s} del suelo natural y el suelo con 3% de cemento (45% a 163%). El comportamiento es similar entre el suelo natural y el suelo con 5% de cemento (45% a 220%). El incremento en el I_{CBR-s} es elevado, esto se debe a que las muestras sumergidas en agua ya han fraguado completamente y además el proceso de hidratación de cemento es bueno (buen curado). De igual manera, se puede observar un incremento elevado entre I_{CBR-4} del suelo natural y el suelo con 3% de cemento (66% a 109%). El comportamiento es similar entre el suelo natural y el suelo con 5% de cemento (66% a 190%). Si bien hay un elevado incremento en el I_{CBR-4}, el mismo es inferior al obtenido en muestras sumergidas 4 días, I_{CBR-s}, debido a que el proceso de hidratación del cemento no es adecuado. Cabe resaltar que el incremento del I_{CBR-4}, es superior al I_{CBR-ss}, debido a las muestras han tenido suficiente tiempo para fraguar (4 días).

Resultados similares fueron reportados en (Millogo, Morel, Traoré, & Ouedraogo, 2008), no solo porque los índices CBR crecen con el aumento del contenido de cemento, sino también porque los valores de I_{CBR-s} son más elevados que los valores de I_{CBR-4}.

De igual manera, resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo de investigación en cuanto a los especímenes: con cemento, sumergidos y sin sumergir (I_{CBR-ss}, I_{CBR-s}) se reportaron en (Battacharaja & Bhatty, 2003), es decir, los valores de I_{CBR-s} son más elevados que los valores de $I_{CBR-ss.}$

En todos los casos el Índice CBR aumenta con el aumento del porcentaje de cemento como se muestra en (Battacharaja & Bhatty, 2003), (Millogo, Morel, Traoré, & Ouedraogo, 2008), (Prassad & Satyanara Reddy, 2011), (Mengue, Mroueh, Lancelot, &

Ecko, "Mechanical Improvement of a Fine-Grained Lateritic Soil Treated with Cement for use in Road", 2017) y (Mengue, Mroueh, Lancelot, & Eko, 2018).

Finalmente cabe recalcar que el Índice CBR del suelo natural es inferior en muestras sumergidas que en muestras curadas 4 días al aire libre. Por otro lado, en muestras con cemento, el Índice CBR de las muestras sumergidas es mayor que en muestras sin sumergir.

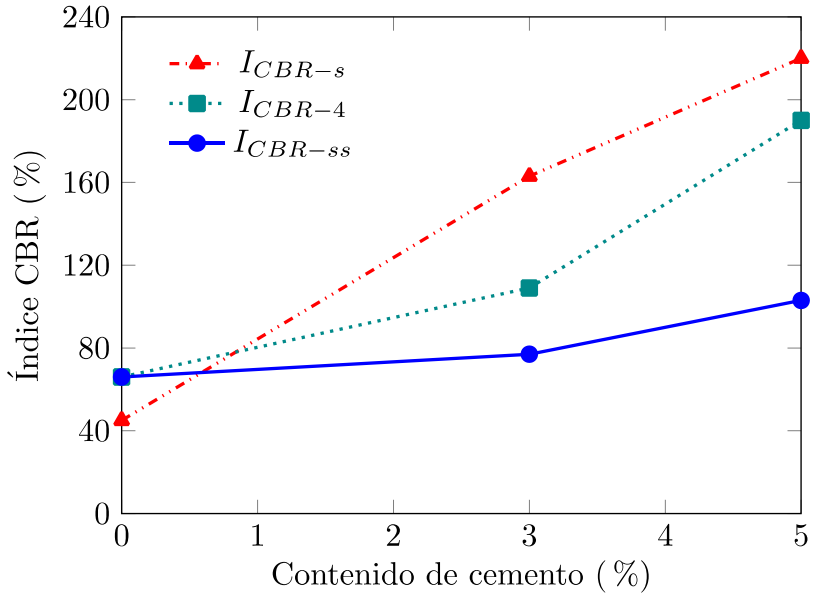


Figura 4.21 Capacidad portante del suelo (CBR) vs contenido de cemento.
Fuente: El autor.

En la tabla 4.51 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de índice de CBR para un grado de compactación del 95% para las diferentes muestras de suelo natural y estabilizado con cemento con porcentajes del 3% y 5%; ensayadas sumergidas, sin sumergir y curadas 4 días al aire libre.

Tabla 4.51 Índices de CBR.

	Índice de CBR (%)		
Ensayadas	**Suelo natural**	**3% de cemento**	**5% de cemento**
Después de 4 días sumergidos en agua	45	163	220
Después de 4 días al aire libre	66	109	190
Sin sumergir y penetradas inmediatamente	66	77	103

Fuente: El autor.

De acuerdo con el valor del índice CBR del suelo natural, el mismo puede ser utilizado como una subbase, mientras que el suelo estabilizado con 3% y 5% de cemento, puede ser utilizado como una base en ambos casos como menciona (Villalaz, 2004) y se puede observar en la tabla 2.1 clasificación del material en base al CBR que se encuentra en el capítulo II.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo con el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo de investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1.- Según el ensayo granulométrico y los límites de Atterberg, el material puede ser clasificado mediante el método SUCS como GP-GM, es decir, una grava mal graduada con limo y arena, y por el método AASHTO como A-2-6, que es una grava y arena limosa o arcillosa. En resumen, mediante los dos métodos, se obtiene como resultado una grava mal graduada con contenido de arena y limo.

2.-El porcentaje de contenido de materia orgánico del suelo de la mina de Chocarsi, que se presenta en la tabla 4.4 es del 1.99%. De acuerdo con el American Concrete Institute (ACI, 2009) para estabilizar suelos con cemento, este debe tener contenidos de materia orgánica menores al 2%, por lo cual, el material de la mina de Chocarsi puede ser estabilizado con cemento.

Por ello se decidió estabilizar el material con porcentajes de 3%, 5% y 7% de cemento con relación al peso seco del material.

3.- En las tablas 4.4, 4.10, 4.11 y 4.12 se muestra la variación de los límites de plasticidad con el incremento de 3%, 5% y 7% de cemento con relación al peso seco de suelo natural de la mina de Chocarsi. Como se observa en la tabla 4.10 – 4.12, a medida que el contenido de cemento aumenta el índice plástico disminuye desde 10.40% hasta 7.04%.

Lo anterior concuerda con la experiencia internacional en el campo de la estabilización de suelos con cemento, donde dicha reducción es mayor en la medida que el suelo a estabilizar sea más plástico. En nuestro caso, la reducción de plasticidad solo se trata del 3.37% toda vez que el índice plástico del suelo

natural de la mina de Chocarsi, es de 10.40% considerado como de baja plasticidad (IP<= 10%).

4.- En la figura 4.3 y 4.4 se muestra la variación de la humedad óptima y la densidad seca máxima de la energía de compactación del ensayo Proctor modificado, en el suelo natural de la mina de Chocarsi y con la adición de un 3% y 5% y 7% de cemento, con respecto al peso seco de material.

Sin embargo, la variación de la humedad óptima es de 1.81% y la densidad seca máxima es de 4kg/m³, prácticamente despreciables, por lo que estos parámetros no son de interés para la investigación que nos hemos trazado.

5.- En la tabla 4.51 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de índice de CBR para un grado de compactación del 95% de la energía del Proctor Modificado para las diferentes muestras de suelo natural y estabilizado con porcentajes de 3% y 5% de cemento; ensayadas sin sumergir y penetradas 4 inmediatamente, ensayadas después de 4 días al aire libre y ensayadas después de 4 días sumergidas en agua.

	Índice de CBR (%)		
Ensayadas	**Suelo natural**	**3% de cemento**	**5% de cemento**
Después de 4 días sumergidos en agua	45	163	220
Después de 4 días al aire libre	66	109	190
Sin sumergir y penetradas inmediatamente	66	77	103

Como se observa en la tabla, a medida que el porcentaje de cemento aumenta, aumenta el CBR, para cualquiera de las condiciones estudiadas.

El aumento del porcentaje de cemento, aumenta el valor del CBR bajo cualquier condición de curado del suelo-cemento, concluyéndose que el procedimiento de curado de las muestras de suelo-cemento más efectivo es el sumergido en agua

durante 4 días, aunque para estabilización de suelos en carretera esto carece de importancia, ya que no es posible el curado bajo sumersión de la misma.

6.- Como se muestra en los objetivos, se pretendía estudiar la estabilización de este suelo con un 7% de cemento, pero su capacidad portante en estado natural, hace que al estabilizarse con un 7% de cemento, el mismo incremente su resistencia, al extremo, que no es posible determinar la carga unitaria para penetraciones de 0.1 pulg con el anillo dinamométrico del equipo de CBR que posee el laboratorio de suelos y materiales de la UDA.

7.-En el caso que se requiera estabilizar el material de la mina de Chocarsi con porcentajes de cemento mayores al 5%, para casos que no serían de mejorar subrasantes y materiales de base y subbase de caminos y carreteras en que se usa el índice de CBR, habría que recurrir al estudia de la estabilización con dichos porcentajes de cemento, haciendo uso de otros ensayos de laboratorio como el ensayo de compresión simple.

8.-El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), menciona que, para un material utilizado como una subrasante para vías de pavimento rígido y flexible, el índice de CBR debe ser mayor al 20%, por lo que el suelo procedente de la mina Chocarsi puede ser utilizado como subrasante para pavimentos en todos los casos estudiados.

De igual manera, el MTOP menciona que, para utilizar un material como base para pavimentos para una vía de pavimento rígido o flexible, su índice de CBR debe ser mayor al 80%, por lo que el material de la mina de Chocarsi, luego de ser estabilizado con porcentajes de 3% y 5% de cemento puede emplearse como base para pavimentos en todos los casos estudiados.

5.2 Recomendaciones

1.- Por los resultados alcanzados en este estudio del material de la mina de Chocarsi y la calidad de este suelo, no tiene sentido hacer estudios para porcentajes de cemento superiores al 5%, ya que, además de obtenerse valores de resistencia

superiores, estas no pueden ser evaluadas mediante el índice CBR. Si es factible estudiar porcentajes de cemento inferiores al 5% y con ello, precisar contenidos de cemento más económicos como 2% y 4%

2.- En realidad no es necesario determinar el CBR con energías de compactación de 10 y 25 golpes del martillo Proctor Modificado, por lo que para investigaciones posteriores, esto pudiera tenerse en cuenta y con ello agilizar el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Armas Novoa, R. (2002). *Compactacion de suelos.* La Habana, Cuba.

Asgary, M. R., Baghebanzadeh Dezzfuki, A., & Bayat, M. (2015). "Experimental study on stabilization of a low plasticity clayey soil with cement/lime.". *Arabic Journal of Geoscienses, vol 8, num 3,* 1439-1452.

ASTM. (diciembre de 1898 reaprobado 2013). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of laboratory-Compacted soils.* Pensilvania, USA: ASTM.

ASTM. (1898 reaprobado 2013). *Standard Test Methods for moisture, ash and organic matterof peat and other organic soils.* Pensilvania, USA.

Battacharaja, S., & Bhatty, J. (2003). *"Comparative Performance of Portland Cement and Lime Stabilization of Moderate to High Plasticy Clay Soils". Portland Cement Associaciton, RD125.* Skokie, Illinois.

Boules, J. E. (1980). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil.* Bogota, Colombia: McGraw-Hill Inc.

Cabrera, A. (2017). *La inestabilidad del suelo en la parroquia de Nulti.* Cuenca, Ecuador.

Cañas, U. c. (2007). *Determinación del peso específico del cemento.* San Salvador, El Salvador.

Capote, J. (2012). *La mecánica de suelos y las cimentaciones.* Santander, España.

Carpio, J. (2014). *Valoración de las propiedades geotécnicas del material de mejoramiento proveniente de la mina de Llacton como elemento estructural para pavimentos flexibles de la Universidad de Cuenca.* Cuenca.

Cemento Chimborazo. (2016). Obtenido de www.cementochimborazo.com: http://www.cementochimborazo.com/Archivos/FICHA%20TECNICA%20CEMENTO%20CHIMBORAZO%20HE.pdf

Cernica, J. N. (1995). *Geotechnical Engineering: Soils Mechanics.* Youngstown, USA: Corpyright.

Chimbo, P., & León, C. (2018). *Elaboración de guias metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de materiales de construcción de la universidad del Azuay.* Cuenca.

Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y ciemntaciones.* México: Limusa.

Dante, B. (2014). *Unidad IV Identificación y clasificación de suelos.* Río Grande, Brasil.

Das, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* Mexico: Ed. Thomson SA.

FHWA. (1966 Reaprobada en 2017). *Federal Highway Administration.* Estados Unidos.

FICEM. (08 de Marzo de 2008). *Federación interamericana del cemento*. Obtenido de http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm

Gerrero, A., & Lima, E. (2018). *Elaboración de guías metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de mecánica de suelos de la Universidad del Azuay*. Cuenca.

Holcim. (2015). Holcim base vial. Cemento hidráulico tipo MH para estabilzación de suelos. *Holcim Ecuador SA*, 4.

INEN. (1982 reaporbado 2017). *NTE INIEN 0690: Mecánica de suelos. Determinación del contenido de agua.Método de secado al horno.* Quito,Ecuador.

INEN. (1982 reaprobado 2017). *NTE INEN 0691: Mecánca de suelos. Determinación del límite líquido método de casagrande.* Quito, Ecuador.

INV E-121-07. (1996 reaprobado 2002). *Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición.* Bogotá, Colombia.

Iturbe, J. (2002). *Manual centroamericano para diseño de pavimentos.* Guatemala: SIECA.

Juárez, B. E., & Rico, R. A. (2005). *Mecánica de suelos. Tomo 1. Fundamentos de la mecánica de suelos.* Mexico DF, Mexico: Limusa.

Londa, B., & Maisincho, L. (Abril de 2016). Etudio comparativo del método Colombiano y la NEVI-12, para vías de bajo volumen de tránsito con subrasante de la mina de Chocarsi. Cuenca, Azuay, Ecuador.

López, J., Fernadez, R., & López, M. (2010). *Manual de estabilizaciòn de suelos con cemento o cal.* Madrid, España: Vaquero servicios de publicaciones, SL.

Mallega, J., Quintis, H., & Smith, K. (2004). *"Consideration of lime-stabilized layers in Mechanistic-empirical pavement design". The National Lime Association.* Arlington, Virginia.

Mengue, E., Mroueh, H., Lancelot, L., & Ecko, R. M. (2017). "Mechanical Improvement of a Fine-Grained Lateritic Soil Treated with Cement for use in Road". *Journal of Materials in Civil Engineering, vol 29, num 11, 04017206*.

Mengue, E., Mroueh, H., Lancelot, L., & Eko, R. M. (2018). "Design and parameric study of a pavement foundation layer made of cement-treated fine-grained lateritic soil". *Soils and Foundations, vol 58, num 3, num 11*, 666-677.

Millogo, Y., Morel, J., Traoré, K., & Ouedraogo, R. (2008). *"Microstructure, geotechnical and mechanical characteristics of quiklime-lateritic gravels mixtures used in road construction". Construction and Building Materials.* Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: Board.

Ministerio de transportes y comunicaciones del Perú. (2013). *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos.* Lima, Perú.

ML Ingeniería. (Abril de 2017). Obtenido de ML Ingeniería: https://mlingenieria.com

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de paviemntos para carreteras. Tomo 1* . Colombia: Ediciones y publicaciones universidad católica de Colombia.

Municipalidad de Cuenca. (2010). *Ordenamiento territorial. En Nulti (5).* Cuenca, Ecuador.

Prassad, A. C., & Satyanara Reddy, C. N. (2011). "The Potential of Cement Stabilized Gravelly Soils and Construccion Materials". *Indian Geotechnical Conference*, (págs. 493-4969). Kochi.

Quiroz, W. (2017). *Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la emulsion de suelos con asfalto y diésel para determinar cual estabilización proporciona myor densidad aparente y relación de soporte CBR* . Ambato, Ecuador.

RAE. (1713 reaprobado en 2014). *Diccionario de la Real Academia Española.* Madrid, España: Espasa calpe.

Sariosseiri, F., & Balasingam, M. (2009). *Effect of cemente treatment on geotechnical properties of some Washington State soils. Engineering Geology.* Washington.

Suarez, J. (2011). *Sección 5-Seminario rellenos-Estabilizacion de suelos.* Bucaramanga, Colombia.

The Asphalt Institute. (1962). *El Manual del Asfalto.* Maryland, Estado Unidos.

US. Army. (2012). *Soil stabilization for pavements.* Estados Unidos.

Valero, A. (1963). *Soil Mechanics for road Engineers.* Madrid.

Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones.* México: Limuas.

Zuluaga, D. (2005). *El uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas de volcánicas (andosoles). Un caso particular.* Manizales, Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de granulometría

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 1B

FECHA: Mar 5 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

GRANULOMETRÍA (ASTM D422-63)

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	**100.0**
2 ½"	-	-	-	100.0
2"	-	-	-	100.0
1½"	80	80	1.5	98.5
1"	158	238	4.6	95.4
3/4"	284	522	10.1	89.9
1/2"	724	1,246	24.1	75.9
3/8"	531	1,777	34.4	65.6
N°4	1,630	3,407	66.0	**34.0**
< N°4	1,757	1,757	**34.0**	
N°10	882	882	83.1	16.9
N°40	457	1,339	91.9	8.1
N°200	146	1,485	94.7	**5.3**
< N°200	272	272	**5.3**	

PESO TOTAL **5164 grm**

CUARTEO(PESO)

ANTES **1757 grm**

DESPUÉS **1485 grm**

GRAVA **66 %**

ARENA **29 %**

FINOS **5 %**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 5

FECHA: Mar 5 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

GRANULOMETRÍA (ASTM D422-63)

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	**100.0**
2 ½"	-	-	-	100.0
2"	-	-	-	100.0
1½"	-		-	100.0
1"	42	42	0.8	99.2
3/4"	241	283	5.2	94.8
1/2"	545	828	15.1	84.9
3/8"	718	1,546	28.1	71.9
N°4	1,895	3,441	62.6	**37.4**
< N°4	2,053	2,053	**37.4**	
N°10	1,033	1,033	81.4	18.6
N°40	494	1,527	90.4	9.6
N°200	160	1,687	93.3	**6.7**
< N°200	366	366	**6.7**	

PESO TOTAL **5494 grm**

CUARTEO(PESO)

ANTES **2053 grm**

DESPUÉS **1687 grm**

GRAVA **63 %**

ARENA **31 %**

FINOS **7 %**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 6-1A

FECHA: Lun 4 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

GRANULOMETRÍA (ASTM D422-63)

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	**100.0**
2 ½"	-	-	-	100.0
2"	-	-	-	100.0
1½"	-		-	100.0
1"	143	143	2.8	97.2
3/4"	183	326	6.4	93.6
1/2"	803	1,129	22.1	77.9
3/8"	839	1,968	38.6	61.4
N°4	1,691	3,659	71.7	**28.3**
< N°4	1,443	1,443	**28.3**	
N°10	688	688	85.2	14.8
N°40	355	1,043	92.2	7.8
N°200	138	1,181	94.9	**5.1**
< N°200	262	262	**5.1**	

PESO TOTAL **5102 grm**

CUARTEO(PESO)

ANTES **1443 grm**

DESPUÉS **1181 grm**

GRAVA **72 %**

ARENA **23 %**

FINOS **5 %**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 11

FECHA: Mier 18 Jul 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

GRANULOMETRÍA (ASTM D422-63)

TAMIZ	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
3"	-	-	-	**100.0**
2 ½"	-	-	-	100.0
2"	-	-	-	100.0
1½"	-	-	-	100.0
1"	59	59	1.4	98.6
3/4"	134	193	4.6	95.4
1/2"	600	793	18.9	81.1
3/8"	681	1,474	35.2	64.8
N°4	1,584	3,058	73.0	**27.0**
< N°4	1,133	1,133	**27.0**	
N°10	1,340	1,340	85.9	14.1
N°40	772	2,112	93.3	6.7
N°200	216	2,328	95.4	**4.6**
< N°200	476	476	**4.6**	

PESO TOTAL **4191 grm**

CUARTEO(PESO)

ANTES **2804 grm**

DESPUÉS **2328 grm**

GRAVA **73 %**

ARENA **22 %**

FINOS **5 %**

Anexo 2. Humedad natural y límites de Atterberg

Anexo 2.1. Suelo en estado natural

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 1B
FECHA: Mar 5 jun 2018
OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
51	106.46	103.07	30.94	4.7	
311	105.61	102.31	29.97	4.6	
----	-	-	-		**4.6**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
-	-	-	-	-	
25	22.38	18.10	6.18	35.9	
25	19.52	16.23	6.85	35.1	
-	-	-	-	-	**35.5**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
7	10.69	9.87	6.81	26.8	
79	10.46	9.70	6.78	26.0	
25	10.21	9.49	6.71	25.9	**26.2**

HUMEDAD NATURAL:	**4.6 %**
LIMITE LIQUIDO:	**35.5**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**9.2**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 5

FECHA: Mar 5 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
33	106.46	103.07	30.94	4.7	
1	105.61	102.31	29.97	4.6	
----	-	-	-		**4.6**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
-	-	-	-	-	
25	20.51	16.61	6.29	37.8	
25	20.15	16.54	6.88	37.4	
-	-	-	-	-	**37.6**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
7	10.69	9.87	6.81	26.8	
79	10.46	9.70	6.78	26.0	
25	10.21	9.49	6.71	25.9	**26.2**

HUMEDAD NATURAL:	**4.6 %**
LIMITE LIQUIDO:	**37.6**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**11.3**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 6-1A

FECHA: Lun 4 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
3	97.71	94.91	30.73	4.4	
36	92.18	89.47	30.58	4.6	
----	-	-	-		**4.5**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
-	-	-	-	-	
25	26.40	21.23	6.83	35.9	
25	22.68	18.53	6.84	35.5	
-	-	-	-	-	**35.7**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	10.59	9.83	6.85	25.5	
----	10.65	9.90	6.83	24.4	
----	10.36	9.53	6.24	25.2	**25.1**

HUMEDAD NATURAL:	**4.5 %**
LIMITE LIQUIDO:	**35.7**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**10.6**

Anexo 2.2. Suelo estabilizado con 3% de cemento.

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 9

FECHA: Lun 25 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
SI	103.05	100.25	29.87	4.0	
B2	114.95	111.41	31.21	4.4	**4.2**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
40	18.25	15.13	6.02	34.2	
30	17.25	14.30	6.25	36.6	
21	22.14	18.03	6.92	37.0	
11	19.19	15.57	6.04	38.0	**36.1**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	10.25	9.54	6.82	26.1	
----	11.36	10.42	6.83	26.2	
----	10.85	10.01	6.86	26.7	**26.3**

HUMEDAD NATURAL:	**4.2 %**
LIMITE LIQUIDO:	**36.1**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**9.8**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 11

FECHA: Mier 18 Jul 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
3	110.83	107.21	30.07	4.7	
6	124.42	120.52	30.18	4.3	**4.5**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
39	19.47	16.13	6.11	33.33	
33	18.42	15.19	6.04	35.30	
21	17.58	14.45	6.08	37.40	
12	18.24	14.92	6.25	38.29	**35.8**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	10.33	9.45	6.11	26.35	
----	12.14	10.92	6.32	26.52	
----	11.25	10.18	6.14	26.49	**26.5**

HUMEDAD NATURAL:	**4.5 %**
LIMITE LIQUIDO:	**35.8**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**9.3**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 9

FECHA: Lun 25 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
SI	103.05	100.25	29.87	4.0	
B2	114.95	111.41	31.21	4.4	**4.2**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
39	20.61	17.09	6.14	32.15	
27	21.14	17.31	6.14	34.29	
19	20.00	16.33	6.25	36.41	
10	20.58	16.80	6.85	37.99	**34.4**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	11.11	10.13	6.22	25.1	
----	12.14	10.96	6.41	25.9	
----	11.08	10.11	6.25	25.1	**25.4**

HUMEDAD NATURAL:	**4.2 %**
LIMITE LIQUIDO:	**34.4**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**9.0**

Anexo 2.3. Suelo estabilizado con 5% de cemento.

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. SN

FECHA: Lun 4 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
3	112.59	108.61	30.79	5.1	
36	119.39	115.18	29.96	4.9	
----	-	-	-		**5.0**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
38	18.25	15.23	6.11	32.15	
32	17.36	14.44	6.04	34.29	
24	17.65	14.53	6.08	36.41	
14	17.42	14.32	6.25	37.99	**35.8**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	10.14	9.35	6.11	24.38	
----	10.32	9.50	6.32	25.79	
----	10.58	9.71	6.14	24.37	**24.8**

HUMEDAD NATURAL:	**5.0 %**
LIMITE LIQUIDO:	**35.8**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**11.0**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. SN

FECHA: Lun 4 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
3	112.59	108.61	30.79	5.1	
36	119.39	115.18	29.96	4.9	
----	-	-	-		**5.0**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
41	18.25	15.31	6.14	32.06	
28	19.25	15.98	6.14	33.23	
21	18.14	15.06	6.25	34.96	
14	18.36	15.26	6.85	36.86	**34.1**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	9.32	8.68	6.22	26.02	
----	9.47	8.85	6.41	25.41	
----	9.47	8.81	6.25	25.78	**25.7**

HUMEDAD NATURAL:	**5.0 %**
LIMITE LIQUIDO:	**34.1**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**8.4**

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

MUESTRA Nº. SN

FECHA: Lun 4 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
3	112.59	108.61	30.79	5.1	
36	119.39	115.18	29.96	4.9	
----	-	-	-		**5.0**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
42	16.25	13.85	6.02	30.65	
30	20.47	17.00	6.25	32.28	
25	17.60	14.94	6.92	33.17	
13	18.36	14.99	6.04	37.65	**33.4**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
----	9.16	8.67	6.82	26.49	
----	9.38	8.84	6.83	26.87	
----	8.79	8.39	6.86	26.14	**26.5**

HUMEDAD NATURAL:	**5.0 %**
LIMITE LIQUIDO:	**33.4**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**6.9**

Anexo 2.4. Suelo estabilizado con 7% de cemento.

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 1B

FECHA: Mar 5 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
51	117.41	112.60	30.06	5.8	
311	122.43	117.73	29.84	5.3	
----	-	-	-		**5.6**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
41	18.24	15.21	6.14	33.42	
25	17.50	14.79	6.83	34.05	
25	18.73	15.61	6.70	35.02	
14	18.41	15.26	6.85	37.46	**34.9**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
-	10.12	9.39	6.81	28.29	
-	10.36	9.59	6.70	26.64	
-	10.23	9.38	6.23	26.98	**27.3**

HUMEDAD NATURAL:	**5.6 %**
LIMITE LIQUIDO:	**34.9**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**7.6**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 1B

FECHA: Mar 5 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
51	117.41	112.60	30.06	5.8	
311	122.43	117.73	29.84	5.3	
----	-	-	-		**5.6**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
9	16.25	13.85	6.02	30.65	
34	20.46	16.80	6.30	34.86	
7	20.41	16.95	6.83	34.19	
47	18.35	15.01	6.00	37.07	**34.0**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
-	9.00	8.46	6.65	29.83	
-	9.46	8.87	6.85	29.21	
-	9.24	8.59	6.19	27.08	**28.7**

HUMEDAD NATURAL:	**5.6 %**
LIMITE LIQUIDO:	**34.0**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**5.3**

LABORATORIO DE SUELOS

Universidad del Azuay

MUESTRA Nº. 1B

FECHA: Mar 5 jun 2018

OBSERVACIONES: Mina Chocarsi

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)					
Nº GOLPES	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
51	117.41	112.60	30.06	5.8	
311	122.43	117.73	29.84	5.3	
----	-	-	-		**5.6**

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)					
42	18.24	15.26	6.00	32.18	
31	17.38	14.53	6.02	33.49	
22	17.67	14.59	5.90	35.44	
10	17.43	14.32	6.28	38.68	**34.5**

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)					
-	10.15	9.31	6.12	26.33	
-	10.34	9.42	6.00	26.90	
-	10.59	9.68	6.15	25.78	**26.3**

HUMEDAD NATURAL:	**5.6 %**
LIMITE LIQUIDO:	**34.5**
ÍNDICE PLÁSTICO:	**8.1**

Anexo 3. Peso específico.

Anexo 3.1. Peso específico del suelo.

UDA	FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA EN CONSTRUCCIONES

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS (Gs)

OBRA:	Mina del municipio		
ZONA:	Chocarsi	Autor:	Edwin Moscoso
Fecha:	29/05/2018	Muestra:	1

Nº DE LABORATORIO				
PROFUNDIDAD, (m)				
PICNÓMETRO Nº	1	2	3	
CAPACIDAD PICNÓMETRO CM3	500	500	500	
PESO PICNÓMETRO , gr.	159	159	159	
PESO PICNÓMETRO + SUELO SECO , gr.	258.92	259.36	259.17	
PESO SUELO SECO , gr. (Ws)	**99.92**	**100.36**	**100.17**	
PESO PICN. + AGUA + SUELO , gr.	797.70	826.36	801.16	
PESO PICN. + AGUA A TEMP. ENSAYO.	737.20	765.08	741.00	
TEMPERATURA DE ENSAYO, º C	20	20	20	
GS A TEMPERATURA ENSAYO	**2.53**	**2.57**	**2.5**	

PROMEDIO	
RESULTADO:	**2.53**

Anexo 3.2. Peso específico del cemento.

UDA	FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA EN CONSTRUCCIONES

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO (Gs)

OBRA:	Mina del municipio		
ZONA:	Chocarsi	Autor:	Edw in Moscoso
Fecha:	27/08/2018	Muestra:	XX

PICNÓMETRO Nº	1	2	3	
Masa cemento (Mc)=	64.13	64.12	64.11	
Lectura A=	0	0.3	0.5	
Lectura B=	21.2	21.4	21.4	
Volumen cemento (Vc)=	21.2	21.1	20.9	
Densidad del ceneto (ϱc)=	3.03	3.04	3.07	
Densidad del agua (ϱw)=	**1**	**1**	**1**	
DENSIDAD ESPECIFICA	3.03	3.04	3.07	

PROMEDIO	
RESULTADO:	**3.04**

Anexo 4. Tiempo de trabajo.

Anexo 4.1. Suelo estabilizado con 3% de cemento.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PROYECTO:	Mina del municipio	**MUESTRA N°:**	27
SECTOR:	Chocarsi	**FECHA:**	Jueves 16 agosto 2018
OBSERVACIONES:	Proctor modificado método C Norma ASTM 1557-91 3% cemento con humedad optima Humedad nat: 4.1	**REALIZADO POR:**	Edwin Moscoso

ASTM T1557-91(modificado)

MOLDE Nº. 1		
PESO	**4411**	gramos
VOLUMEN	**2,315**	cm 3.
DIÁMETRO	**15.9**	cm.

NUMERO DE CAPAS : 5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56
PESO DEL MARTILLO : 44.5 Newtons.
ALTURA DE CAÍDA DEL MARTILLO: 45,72 cm.

DENSIDAD

HORAS	0h	1h	2h	4h	6h
MUESTRA N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
PESO SUELO + MOLDE	9627	9503	9422	9085	9078
DENSIDAD HÚMEDA	2.253	2.200	2.165	2.019	2.016
DENSIDAD SECA	**1.99490**	**1.975**	**1.954**	**1.825**	**1.826**

% DE HUMEDAD ANTES HACER ENSAYO

TARRO N°	3C3	52	71	33	13	2K	3D	4	33	1
PESO HÚMEDO +TARRO	108.32	108.14	135.04	126.25	140.27	132.95	112.27	105.69	124.19	113.75
PESO SECO +TARRO	99.45	99.10	124.03	116.34	129.24	122.53	103.87	98.35	114.73	105.58
PESO TARRO	30.10	30.09	29.9	30.71	29.94	29.82	30.04	30.66	30.94	30.02
% DE HUMEDAD	12.79	13.10	11.70	11.57	11.11	11.24	11.38	10.84	11.29	10.81
PROMEDIO % HUMEDAD	**12.94**		**11.63**		**11.17**		**11.11**		**11.05**	

% DE HUMEDAD DESPUES DE HACER ENSAYO

TARRO N°	94	41	224	18	5	ZZ	2	C2	14	6
PESO HÚMEDO +TARRO	114.56	115.69	115.49	112.17	129.29	132.79	122.02	129.73	142.06	131.13
PESO SECO +TARRO	105.55	106.49	106.63	103.96	119.56	122.87	113.37	119.98	131.35	121.8
PESO TARRO	30.86	30.32	29.81	30.72	29.85	30.54	30.44	30.09	30.91	29.92
% DE HUMEDAD	12.06	12.08	11.53	11.21	10.85	10.74	10.43	10.85	10.66	10.15
PROMEDIO % HUMEDAD	**12.07**		**11.37**		**10.80**		**10.64**		**10.41**	

Anexo 4.2. Suelo estabilizado con 5% de cemento.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PROYECTO:	Mina del municipio	**MUESTRA N°:**	29
SECTOR:	Chocarsi	**FECHA:**	Martes 21 ago 2018
OBSERVACIONES:	Proctor modificado método C Norma ASTM 1557-91 3% cemento con humedad optima Humedad nat: 5.0%	**REALIZADO POR:**	Edwin Moscoso

ASTM T1557-91(modificado)

MOLDE Nº. 1		
PESO	**4411**	gramos
VOLUMEN	**2,315**	cm 3.
DIÁMETRO	**15.9**	cm.

NUMERO DE CAPAS : 5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56
PESO DEL MARTILLO : 44.5 Newtons.
ALTURA DE CAÍDA DEL MARTILLO: 45,72 cm.

DENSIDAD

HORAS	0h	1h	2h	4h	6h
MUESTRA N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
PESO SUELO + MOLDE	9589	9365	9116	9055	8937
DENSIDAD HÚMEDA	2.237	2.140	2.032	2.006	1.955
DENSIDAD SECA	**1.99583**	**1.922**	**1.850**	**1.834**	**1.789**

% DE HUMEDAD ANTES HACER ENSAYO

TARRO N°	B2	224	37	12	2	9	33	C2	6	1
PESO HÚMEDO +TARRO	126.62	125.96	105.51	118.64	116.27	117.1	123.55	117.6	109.01	115.04
PESO SECO +TARRO	116.01	115.84	97.16	109.18	107.16	107.69	113.57	108.13	100.51	105.98
PESO TARRO	30.26	29.83	30.82	30.55	30.61	29.99	30.76	30.09	29.88	30.32
% DE HUMEDAD	12.37	11.77	12.59	12.03	11.90	12.11	12.05	12.13	12.03	11.97
PROMEDIO % HUMEDAD	**12.07**		**12.31**		**12.01**		**12.09**		**12.00**	

% DE HUMEDAD DESPUES DE HACER ENSAYO

TARRO N°	ZZ	71	41	18	112	5	4C	3C3	A2	11
PESO HÚMEDO +TARRO	109.32	112.93	126.16	135.05	124.81	121.97	114.71	115.23	125.65	117.11
PESO SECO +TARRO	100.72	104.19	116.4	124.39	116.50	113.59	107.55	107.79	117.42	109.91
PESO TARRO	30.56	29.94	30.33	30.73	30.01	31	30.05	30.13	30.73	30.45
% DE HUMEDAD	12.26	11.77	11.34	11.38	9.61	10.15	9.24	9.58	9.49	9.06
PROMEDIO % HUMEDAD	**12.01**		**11.36**		**9.88**		**9.41**		**9.28**	

Anexo 5. Ensayo CBR (California Bearing Ratio).

Anexo 5.1. Densidad y contenido de humedad.

Anexo 5.1.1. Suelo en estado natural sumergido.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	11
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sumergida 4 días Humedad nat: 4.8/opt:10.5	**FECHA:**	Jueves 19 julio 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**25**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12711	12787	12411	12531	12284	12436
Peso molde Gr.	8085	8085	8063	8063	8235	8235
Peso muestra Gr.	4626	4702	4348	4468	4049	4201
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.179	2.215	2.048	2.105	1.907	1.979
Densidad seca kg/M³,	1.952	2.022	1.834	1.917	1.708	1.788

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	2	12	1	3	5	8
Peso húmedo + tarro (gr.)	96.33	97.88	98.85	100.10	109.99	101.63
Peso seco + tarro (gr.)	90.54	92.04	92.64	94.05	102.42	94.76
Peso tarro (gr.)	30.19	30.33	30.3	30.75	31.02	30.65
Contenido de humedad %	9.59	9.46	9.96	9.56	10.60	10.72
Promedio humedad %	**11.65**	**9.53**	**11.65**	**9.76**	**11.65**	**10.66**
Agua absorbida %		**1.64**		**2.76**		**3.75**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	20
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sumergida 4 días Humedad nat: 5.7/opt:10.5	**FECHA:**	Martes 31 julio 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12855	12855	12799	12799	12308	12308
Peso molde Gr.	8029	8029	8237	8237	8077	8077
Peso muestra Gr.	4826	4826	4562	4562	4231	4231
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.273	2.273	2.149	2.149	1.993	1.993
Densidad seca kg/M³,	2.028	2.051	1.917	1.936	1.778	1.773

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	6	2	9	70	A2	C2
Peso húmedo + tarro (gr.)	112.62	105.28	121.43	112.91	119.94	129.34
Peso seco + tarro (gr.)	104.76	97.82	112.68	104.40	110.14	118.30
Peso tarro (gr.)	30.98	30.23	29.99	29.68	30.72	30.08
Contenido de humedad %	10.65	11.04	10.58	11.39	12.34	12.51
Promedio humedad %	**12.07**	**10.85**	**12.07**	**10.99**	**12.07**	**12.43**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	23
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sumergida 4 días Humedad nat: 4.7/opt:10.5	**FECHA:**	Sabado 04 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12875	12948	12624	12742	12389	12540
Peso molde Gr.	8083	8083	8060	8060	8233	8233
Peso muestra Gr.	4792	4865	4564	4682	4156	4307
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.257	2.292	2.150	2.205	1.958	2.029
Densidad seca kg/M³,	2.009	2.074	1.914	1.966	1.742	1.806

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	417	9	33	19	3	5
Peso húmedo + tarro (gr.)	116.80	124.58	130.65	119.75	108.68	115.51
Peso seco + tarro (gr.)	108.65	115.58	120.72	110.44	99.78	106.41
Peso tarro (gr.)	30.76	29.98	30.94	30.06	30.02	30.17
Contenido de humedad %	10.46	10.51	11.06	11.58	12.76	11.94
Promedio humedad %	**12.35**	**10.49**	**12.35**	**12.17**	**12.35**	**12.35**
Agua absorbida %		**1.52**		**2.59**		**3.63**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	27
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sumergida 4 días	**FECHA:**	Vienes 17 ago 2018
	Humedad nat: 4.4/opt:10.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12796	12829	12716	12806	12190	12316
Peso molde Gr.	8032	8032	8242	8242	8081	8081
Peso muestra Gr.	4764	4797	4474	4564	4109	4235
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.244	2.260	2.107	2.150	1.935	1.995
Densidad seca kg/M³,	2.005	2.045	1.883	1.944	1.729	1.792

CONTENIDO DE AGUA CENTRO

Tarro No.	3	A	12	406	100	8
Peso húmedo + tarro (gr.)	104.40	105.97	125.51	114.77	126.7	124.80
Peso seco + tarro (gr.)	97.58	98.57	116.52	106.62	117.12	114.97
Peso tarro (gr.)	30.76	29.92	30.37	30.85	30.23	30.11
Contenido de humedad %	10.21	10.78	10.44	10.76	11.03	11.58
Promedio humedad %	**11.93**	**10.49**	**11.93**	**10.60**	**11.93**	**11.30**
Agua absorbida %		**0.69**		**2.01**		**3.07**

CONTENIDO DE AGUA LADOS

Tarro No.	6	5	9	11	2C	K1
Peso húmedo + tarro (gr.)	115.19	110.38	118.12	127.82	135.27	127.92
Peso seco + tarro (gr.)	106.82	102.30	107.89	118.01	124.49	117.82
Peso tarro (gr.)	30.98	29.92	30.26	30.53	30.76	30.43
Contenido de humedad %	11.04	11.16	13.18	11.21	11.50	11.56
Promedio humedad %	**11.91**	**11.16**	**11.91**	**11.21**	**11.91**	**11.56**
Agua absorbida %		**0.69**		**2.01**		**3.07**

Anexo 5.1.2. Suelo en estado natural sin sumergir.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	20
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sin sumergir	**FECHA:**	Mierco 01 ago 2018
	Humedad nat: 5.2/opt:10.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12655	12655	12268	12268	12191	12191
Peso molde Gr.	8090	8090	8066	8066	8239	8239
Peso muestra Gr.	4565	4565	4202	4202	3952	3952
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.150	2.150	1.979	1.979	1.862	1.862
Densidad seca kg/M³,	1.948	1.972	1.793	1.814	1.686	1.704

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	5	2	37	83	11	6
Peso húmedo + tarro (gr.)	124.35	113.54	116.32	116.41	117.74	119.34
Peso seco + tarro (gr.)	116.80	106.43	109.04	109.28	110.45	111.68
Peso tarro (gr.)	31.00	29.86	30.85	29.63	30.53	29.95
Contenido de humedad %	8.80	9.29	9.31	8.95	9.12	9.37
Promedio humedad %	**10.39**	**9.04**	**10.39**	**9.13**	**10.39**	**9.25**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	18
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sin sumergir	**FECHA:**	Viernes 27 julio 2018
	Humedad nat: 5.6/opt:10.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12756	12756	12440	12440	12259	12259
Peso molde Gr.	8085	8085	8063	8063	8235	8235
Peso muestra Gr.	4671	4671	4377	4377	4024	4024
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.200	2.200	2.062	2.062	1.895	1.895
Densidad seca kg/M³,	1.981	2.022	1.856	1.881	1.706	1.723

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	6	3	1	51	10	2
Peso húmedo + tarro (gr.)	119.73	117.04	102.47	112.61	103.6	98.92
Peso seco + tarro (gr.)	112.28	110.17	96.08	105.52	96.67	93.01
Peso tarro (gr.)	30.25	30.05	30.93	29.84	30.77	30.46
Contenido de humedad %	9.08	8.57	9.81	9.37	10.52	9.45
Promedio humedad %	**11.09**	**8.83**	**11.09**	**9.59**	**11.09**	**9.98**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	21
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Sin cemento sin sumergir Humedad nat: 5.1/opt:10.5	**FECHA:**	Jueves 02 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12852	12852	12514	12514	12366	12366
Peso molde Gr.	8083	8083	8060	8060	8233	8233
Peso muestra Gr.	4769	4769	4454	4454	4133	4133
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.246	2.246	2.098	2.098	1.947	1.947
Densidad seca kg/M³,	2.019	2.070	1.886	1.926	1.750	1.791

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	12	114	36	9	311	10
Peso húmedo + tarro (gr.)	133.42	120.11	110.25	112.93	114.85	119.01
Peso seco + tarro (gr.)	125.71	112.72	103.41	106.49	107.86	112.23
Peso tarro (gr.)	30.39	30.23	30.59	30.26	31.81	29.89
Contenido de humedad %	8.09	8.96	9.39	8.45	9.19	8.23
Promedio humedad %	**11.26**	**8.52**	**11.26**	**8.92**	**11.26**	**8.71**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

Anexo 5.1.3. Suelo estabilizado con 3% de cemento sumergido.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	25
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sumergido 4 días	**FECHA:**	Lunes 13 ago 2018
	Humedad nat: 4.3/opt:11.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12847	12881	12642	12712	12245	12401
Peso molde Gr.	8059	8059	8045	8045	8066	8066
Peso muestra Gr.	4788	4822	4597	4667	4179	4335
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.255	2.271	2.165	2.198	1.968	2.042
Densidad seca kg/M³,	2.013	2.050	1.933	1.953	1.757	1.801

CONTENIDO DE AGUA CENRO

Tarro No.	4	10	5	37	1	12
Peso húmedo + tarro (gr.)	113.06	111.72	122.26	134.04	113.7	129.74
Peso seco + tarro (gr.)	105.17	103.69	113.6	124.02	103.26	118.73
Peso tarro (gr.)	30.68	30.79	30.17	30.82	30.32	30.54
Contenido de humedad %	10.59	11.02	10.38	10.75	14.31	12.48
Promedio humedad %	**12.04**	**10.80**	**12.04**	**12.53**	**12.04**	**13.40**
Agua absorbida %		**0.71**		**1.52**		**3.73**

CONTENIDO DE AGUA LADOS

Tarro No.	5	112	B2	3M	11	A2
Peso húmedo + tarro (gr.)	122.06	122.30	124.18	131.48	122.84	123.33
Peso seco + tarro (gr.)	113.00	112.35	113.97	120.24	111.5	112.16
Peso tarro (gr.)	31.00	30.00	30.17	30.82	30.44	30.72
Contenido de humedad %	11.05	12.08	12.18	12.57	13.99	13.72
Promedio humedad %	**12.41**	**12.08**	**12.41**	**12.57**	**12.41**	**13.72**
Agua absorbida %		**0.71**		**1.52**		**3.73**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	30
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sumergido 4 días	**FECHA:**	Martes 21 ago 2018
	Humedad nat: 4.7/opt:11.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12783	12817	12685	12768	12182	12310
Peso molde Gr.	8034	8034	8243	8243	8084	8084
Peso muestra Gr.	4749	4783	4442	4525	4098	4226
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.237	2.253	2.092	2.131	1.930	1.991
Densidad seca kg/M³,	1.995	2.046	1.866	1.923	1.721	1.787

CONTENIDO DE AGUA CENTRO

Tarro No.	10	9	14	12	94	16
Peso húmedo + tarro (gr.)	121.40	114.32	113.26	111.65	112.43	108.94
Peso seco + tarro (gr.)	113.01	106.58	105.27	103.68	103.94	100.99
Peso tarro (gr.)	29.94	30.08	30.86	30.54	30.32	30.54
Contenido de humedad %	10.10	10.12	10.74	10.90	11.53	11.28
Promedio humedad %	**12.15**	**10.11**	**12.15**	**10.82**	**12.15**	**11.41**
Agua absorbida %		**0.72**		**1.87**		**3.12**

CONTENIDO DE AGUA LADOS

Tarro No.	70	5	6	3	1	B2
Peso húmedo + tarro (gr.)	127.34	124.17	126.24	120.46	125.72	110.26
Peso seco + tarro (gr.)	118.41	115.09	116.29	111.38	115.88	101.92
Peso tarro (gr.)	29.68	29.85	29.87	30.75	30.05	30.26
Contenido de humedad %	10.06	10.65	11.51	11.26	11.46	11.64
Promedio humedad %	**11.01**	**10.65**	**11.01**	**11.26**	**11.01**	**11.64**
Agua absorbida %		**0.72**		**1.87**		**3.12**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	30²
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sumergido 4 días	**FECHA:**	Martes 21 ago 2018
	Humedad nat: 4.7/opt:11.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12812	12852	12546	12637	12369	12510
Peso molde Gr.	8066	8066	8086	8086	8237	8237
Peso muestra Gr.	4746	4786	4460	4551	4132	4273
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.236	2.254	2.101	2.144	1.946	2.013
Densidad seca kg/M³,	1.993	2.053	1.873	1.926	1.735	1.807

CONTENIDO DE AGUA CENTRO

Tarro No.	3	22	4	3C3	29	CK
Peso húmedo + tarro (gr.)	106.31	117.19	118.26	121.42	116.63	122.27
Peso seco + tarro (gr.)	99.91	109.04	109.26	112.49	107.6	113.06
Peso tarro (gr.)	30.83	30.10	30.71	31.12	29.81	30.33
Contenido de humedad %	9.26	10.32	11.46	10.97	11.61	11.13
Promedio humedad %	**12.16**	**9.79**	**12.16**	**11.29**	**12.16**	**11.37**
Agua absorbida %		**0.84**		**2.04**		**3.41**

CONTENIDO DE AGUA LADOS

Tarro No.	3M	ZZ	52	11	367	A
Peso húmedo + tarro (gr.)	116.80	123.98	122.76	130.77	125.13	120.83
Peso seco + tarro (gr.)	108.18	114.93	113.92	120.75	115.79	111.70
Peso tarro (gr.)	31.75	30.56	30.15	30.44	30.02	29.93
Contenido de humedad %	11.28	10.73	10.55	11.10	10.89	11.17
Promedio humedad %	**10.91**	**10.73**	**10.91**	**11.10**	**10.91**	**11.17**
Agua absorbida %		**0.84**		**2.04**		**3.41**

Anexo 5.1.4. Suelo estabilizado con 3% de cemento curado 4 días al aire libre.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-07)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	24
SECTOR:	Chocarsi	**FECHA:**	Jueves 09 ago 2018
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% 4 días aire libre	Humedad nat: 4.8/opt:11.5	

DENSIDAD

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		25		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12797	12797	12711	12711	12222	12222
Peso molde Gr.	8029	8029	8237	8237	8078	8078
Peso muestra Gr.	4768	4768	4474	4474	4144	4144
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.246	2.246	2.107	2.107	1.952	1.952
Densidad seca kg/M³,	2.000	2.064	1.877	1.917	1.739	1.792

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	105	33	37	3CG	112	311
Peso húmedo + tarro (gr.)	138.09	136.52	137.71	134.01	136.69	137.21
Peso seco + tarro (gr.)	129.20	128.12	128.19	124.54	128.07	128.41
Peso tarro (gr.)	30.80	30.92	30.82	30.17	30	31.87
Contenido de humedad %	9.03	8.64	9.78	10.03	8.79	9.12
Promedio humedad %	**12.27**	**8.84**	**12.27**	**9.91**	**12.27**	**8.95**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	25
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% 4 días aire libre	**FECHA:**	Jueves 09 ago 2018
	Humedad nat: 4.1/opt:11.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12824	12824	12692	12692	12559	12559
Peso molde Gr.	8083	8083	8061	8061	8233	8233
Peso muestra Gr.	4741	4741	4631	4631	4326	4326
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.233	2.233	2.181	2.181	2.038	2.038
Densidad seca kg/M³,	1.979	2.023	1.933	1.989	1.806	1.856

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	19	C	59	2C	A	3C3
Peso húmedo + tarro (gr.)	115.92	132.35	113.39	133.69	125.56	123.38
Peso seco + tarro (gr.)	107.78	122.80	105.92	124.83	116.93	115.17
Peso tarro (gr.)	30.08	30.32	29.86	30.74	29.92	30.10
Contenido de humedad %	10.48	10.33	9.82	9.42	9.92	9.65
Promedio humedad %	**12.84**	**10.40**	**12.84**	**9.67**	**12.84**	**9.78**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	25²
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% 4 días aire libre	**FECHA:**	Lunes 13 ago 2018
	Humedad nat: 4.3/opt:11.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12808	12808	12746	12746	12339	12339
Peso molde Gr.	8032	8032	8240	8240	8081	8081
Peso muestra Gr.	4776	4776	4506	4506	4258	4258
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.250	2.250	2.122	2.122	2.006	2.006
Densidad seca kg/M³,	2.048	2.042	1.932	1.930	1.826	1.814

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	9	3	10	6	83	5
Peso húmedo + tarro (gr.)	130.44	131.10	138.9	133.23	137.13	123.67
Peso seco + tarro (gr.)	121.21	121.84	129.11	123.85	127.83	114.77
Peso tarro (gr.)	30.05	30.82	30.8	29.87	29.65	30.62
Contenido de humedad %	10.13	10.17	9.96	9.98	9.47	10.58
Promedio humedad %	**9.85**	**10.17**	**9.85**	**9.98**	**9.85**	**10.58**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

Anexo 5.1.5. Suelo estabilizado con 3% de cemento sin sumergir.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	25
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sin sumergir Humedad nat: 4.3/opt:11.5	**FECHA:**	Martes 14 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12846	12846	12658	12658	12482	12482
Peso molde Gr.	8084	8084	8062	8062	8234	8234
Peso muestra Gr.	4762	4762	4596	4596	4248	4248
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.243	2.243	2.165	2.165	2.001	2.001
Densidad seca kg/M³,	1.994	2.046	1.924	1.973	1.778	1.821

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	A2	3	311	112	5	6
Peso húmedo + tarro (gr.)	132.63	131.80	128.53	131.41	137.18	127.39
Peso seco + tarro (gr.)	123.58	123.07	120.34	122.55	127.58	118.59
Peso tarro (gr.)	30.73	30.84	31.87	30.01	30.18	29.87
Contenido de humedad %	9.75	9.47	9.26	9.57	9.86	9.92
Promedio humedad %	**12.51**	**9.61**	**12.51**	**9.72**	**12.51**	**9.89**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	26
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sin sumergir Humedad nat: 4.3/opt:11.5	**FECHA:**	Martes 14 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12829	12829	12659	12659	12439	12439
Peso molde Gr.	8065	8065	8086	8086	8236	8236
Peso muestra Gr.	4764	4764	4573	4573	4203	4203
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.244	2.244	2.154	2.154	1.980	1.980
Densidad seca kg/M³,	1.997	2.043	1.917	1.950	1.762	1.794

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	3	14	4	6	1	5
Peso húmedo + tarro (gr.)	107.16	115.56	117.12	119.98	119.81	122.94
Peso seco + tarro (gr.)	100.56	107.69	108.82	111.53	111.36	114.30
Peso tarro (gr.)	30.91	30.90	30.34	29.92	30.02	30.64
Contenido de humedad %	9.48	10.25	10.58	10.35	10.39	10.33
Promedio humedad %	**12.39**	**9.86**	**12.39**	**10.47**	**12.39**	**10.36**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	27
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sin sumergir Humedad nat: 4.1/opt:11.5	**FECHA:**	Mierco 15 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12832	12832	12643	12643	12391	12391
Peso molde Gr.	8064	8064	8085	8085	8235	8235
Peso muestra Gr.	4768	4768	4558	4558	4156	4156
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.246	2.246	2.147	2.147	1.958	1.958
Densidad seca kg/M³,	1.996	2.050	1.908	1.954	1.739	1.780

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	5	37	3	3CG	3X	112
Peso húmedo + tarro (gr.)	135.72	126.48	129.9	133.65	118.93	128.22
Peso seco + tarro (gr.)	126.59	118.08	120.98	124.33	110.59	119.67
Peso tarro (gr.)	30.20	30.84	30.83	30.17	30.9	30.01
Contenido de humedad %	9.47	9.63	9.89	9.90	10.47	9.54
Promedio humedad %	**12.54**	**9.55**	**12.54**	**9.90**	**12.54**	**10.00**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

Anexo 5.1.6. Suelo estabilizado con 5% de cemento sumergido.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	27
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% sumergido 4 días Humedad nat: 4.4/opt:11.6	**FECHA:**	Viernes 17 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12851	12883	12679	12753	12474	12612
Peso molde Gr.	8061	8061	8083	8083	8233	8233
Peso muestra Gr.	4790	4822	4596	4670	4241	4379
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.256	2.271	2.165	2.200	1.998	2.063
Densidad seca kg/M³,	2.014	2.035	1.933	1.988	1.784	1.820

CONTENIDO DE AGUA CENTRO

Tarro No.	21	114	10	sello	8	14
Peso húmedo + tarro (gr.)	114.40	114.17	127.3	112.11	113.65	113.06
Peso seco + tarro (gr.)	105.41	105.63	118	104.12	103.82	103.43
Peso tarro (gr.)	29.83	30.23	29.93	30.07	30.67	30.85
Contenido de humedad %	11.89	11.33	10.56	10.79	13.44	13.27
Promedio humedad %	**12.00**	**11.61**	**12.00**	**10.67**	**12.00**	**13.35**
Agua absorbida %		**0.67**		**1.61**		**3.25**

CONTENIDO DE AGUA LADOS

Tarro No.	367	1	CK	260	16	11
Peso húmedo + tarro (gr.)	131.79	113.19	124.48	134.62	120.63	137.33
Peso seco + tarro (gr.)	121.33	104.02	114.45	123.19	109.25	124.79
Peso tarro (gr.)	30.04	29.95	30.33	29.80	30.62	30.00
Contenido de humedad %	11.46	12.38	11.92	12.24	14.47	13.23
Promedio humedad %	**12.62**	**12.38**	**12.62**	**12.24**	**12.62**	**13.23**
Agua absorbida %		**0.67**		**352.38**		**3.25**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	SN
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% sumergido 4 días	**FECHA:**	Lunes 23 julio 2018
	Humedad nat: 5.0/opt:11.5		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12855	12917	12845	12932	12175	12360
Peso molde Gr.	8032	8032	8241	8241	8080	8080
Peso muestra Gr.	4823	4885	4604	4691	4095	4280
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.272	2.301	2.169	2.210	1.929	2.016
Densidad seca kg/M³,	2.031	2.078	1.939	1.991	1.725	1.781

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	CK	2	6	8	9	36
Peso húmedo + tarro (gr.)	143.63	132.28	136.64	134.39	134.32	124.65
Peso seco + tarro (gr.)	132.15	122.89	125.97	124.36	122.03	113.81
Peso tarro (gr.)	30.31	30.41	30.96	30.66	29.92	30.36
Contenido de humedad %	11.27	10.15	11.23	10.70	13.34	12.99
Promedio humedad %	**11.84**	**10.71**	**11.84**	**10.97**	**11.84**	**13.17**
Agua absorbida %		**1.29**		**1.89**		**4.52**

Anexo 5.1.7 Suelo estabilizado con 5% de cemento curado 4 días al aire libre.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	23
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% 4 días aire libre Humedad nat: 4.8/opt:11.6	**FECHA:**	Jueves 09 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12866	12866	12432	12432	12253	12253
Peso molde Gr.	8078	8078	7979	7979	8090	8090
Peso muestra Gr.	4788	4788	4453	4453	4163	4163
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.255	2.255	2.098	2.098	1.961	1.961
Densidad seca kg/M³,	2.004	2.064	1.864	1.926	1.742	1.787

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	70	11	A2	3	83	C2
Peso húmedo + tarro (gr.)	126.52	138.15	142.28	142.69	125.47	129.20
Peso seco + tarro (gr.)	117.71	129.74	133.53	133.22	117.08	120.33
Peso tarro (gr.)	29.70	30.53	30.72	30.84	29.67	30.09
Contenido de humedad %	10.01	8.48	8.51	9.25	9.60	9.83
Promedio humedad %	**12.54**	**9.24**	**12.54**	**8.88**	**12.54**	**9.71**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	23²
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% 4 días aire libre	**FECHA:**	Jueves 09 ago 2018
	Humedad nat: 4.8/opt:11.6		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12813	12813	12594	12594	12208	12208
Peso molde Gr.	8057	8057	8042	8042	8065	8065
Peso muestra Gr.	4756	4756	4552	4552	4143	4143
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.240	2.240	2.144	2.144	1.951	1.951
Densidad seca kg/M³,	1.993	2.051	1.907	1.963	1.736	1.790

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	9	12	36	2	30	1
Peso húmedo + tarro (gr.)	135.71	137.60	128.77	135.97	146.22	139.26
Peso seco + tarro (gr.)	127.58	127.75	120.16	127.38	136.5	130.37
Peso tarro (gr.)	29.99	30.54	30.58	30.67	30.07	30.34
Contenido de humedad %	8.33	10.13	9.61	8.88	9.13	8.89
Promedio humedad %	**12.41**	**9.23**	**12.41**	**9.25**	**12.41**	**9.01**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	26
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% 4 días aire libre	**FECHA:**	Lunes 13 ago 2018
	Humedad nat: 4.3/opt:11.6		

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12866	12866	12521	12521	12246	12246
Peso molde Gr.	8079	8079	7981	7981	8092	8092
Peso muestra Gr.	4787	4787	4540	4540	4154	4154
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.255	2.255	2.138	2.138	1.957	1.957
Densidad seca kg/M³,	2.016	2.038	1.912	1.950	1.749	1.784

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	6	311	2	9	28	3CG
Peso húmedo + tarro (gr.)	116.85	127.37	135.14	128.57	121.28	137.04
Peso seco + tarro (gr.)	108.50	118.22	126	119.79	113.31	127.56
Peso tarro (gr.)	30.22	31.86	30.68	30.02	30.24	30.18
Contenido de humedad %	10.67	10.60	9.59	9.78	9.59	9.74
Promedio humedad %	**11.87**	**10.63**	**11.87**	**9.68**	**11.87**	**9.66**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

Anexo 5.1.8. Suelo estabilizado con 5% de cemento sin sumergir.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	20
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% sin sumergir Humedad nat: 5.7/opt:11.5	**FECHA:**	Martes 31 julio 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12834	12834	12519	12519	12319	12319
Peso molde Gr.	8090	8090	8066	8066	8239	8239
Peso muestra Gr.	4744	4744	4453	4453	4080	4080
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.235	2.235	2.098	2.098	1.922	1.922
Densidad seca kg/M³,	1.998	2.035	1.876	1.911	1.718	1.743

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	1	4	10	9	51	7
Peso húmedo + tarro (gr.)	123.29	124.92	124.3	120.20	106.68	114.39
Peso seco + tarro (gr.)	114.88	116.59	116.08	112.13	99.63	106.41
Peso tarro (gr.)	30.30	30.33	30.78	30.01	29.84	29.69
Contenido de humedad %	9.94	9.66	9.64	9.83	10.10	10.40
Promedio humedad %	**11.84**	**9.80**	**11.84**	**9.73**	**11.84**	**10.25**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	21
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% sin sumergir Humedad nat: 5.1/opt:11.5	**FECHA:**	Jueves 02 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	1		2		3	
Numero de capas	5		5		5	
# de golpes por capa	56		27		10	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12870	12870	12517	12517	12175	12175
Peso molde Gr.	8083	8083	8060	8060	8233	8233
Peso muestra Gr.	4787	4787	4457	4457	3942	3942
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.255	2.255	2.099	2.099	1.857	1.857
Densidad seca kg/M³,	2.066	2.065	1.924	1.904	1.701	1.703

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	4	9	37	6	V	8
Peso húmedo + tarro (gr.)	133.95	124.77	132.53	130.91	135.25	138.78
Peso seco + tarro (gr.)	125.90	116.79	123.36	121.53	126.52	129.80
Peso tarro (gr.)	30.32	30.05	30.83	29.93	30.3	30.65
Contenido de humedad %	8.42	9.20	9.91	10.24	9.07	9.06
Promedio humedad %	**9.14**	**9.20**	**9.14**	**10.24**	**9.14**	**9.06**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR. (ASTM D1883-73)

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	21 segunda
SECTOR:	Chocarsi	**SOBRECARGA:**	10libras
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% sin sumergir Humedad nat: 5.1/opt:11.5	**FECHA:**	Viernes 03 ago 2018

DENSIDAD

PESO DEL MARTILLO: 4.55 kilos ALTURA DE CAÍDA : 45,72 cm.

Molde No.	**1**		**2**		**3**	
Numero de capas	**5**		**5**		**5**	
# de golpes por capa	**56**		**27**		**10**	
	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUÉS DEL REMOJO
Peso muestra+molde Gr.	12911	12911	12659	12659	12423	12423
Peso molde Gr.	8083	8083	8060	8060	8233	8233
Peso muestra Gr.	4828	4828	4599	4599	4190	4190
Volumen muestra cm³.	2123	2123	2123	2123	2123	2123
Densidad húmeda kg/M³,	2.274	2.274	2.166	2.166	1.974	1.974
Densidad seca kg/M³,	2.016	2.065	1.920	1.961	1.750	1.783

CONTENIDO DE AGUA

Tarro No.	66	3	36	12	9	6
Peso húmedo + tarro (gr.)	132.97	124.56	128.48	129.13	124.44	137.82
Peso seco + tarro (gr.)	123.49	115.91	119.3	119.70	115.35	127.39
Peso tarro (gr.)	30.12	30.03	30.57	30.36	30.24	30.21
Contenido de humedad %	10.15	10.07	10.35	10.56	10.68	10.73
Promedio humedad %	**12.80**	**10.11**	**12.80**	**10.45**	**12.80**	**10.71**
Agua absorbida %		**0.00**		**0.00**		**0.00**

Anexo 5.2. Carga y penetración.

Anexo 5.2.1. Suelo en estado natural sumergido.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 11

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Lunes 23 de julio del 2018

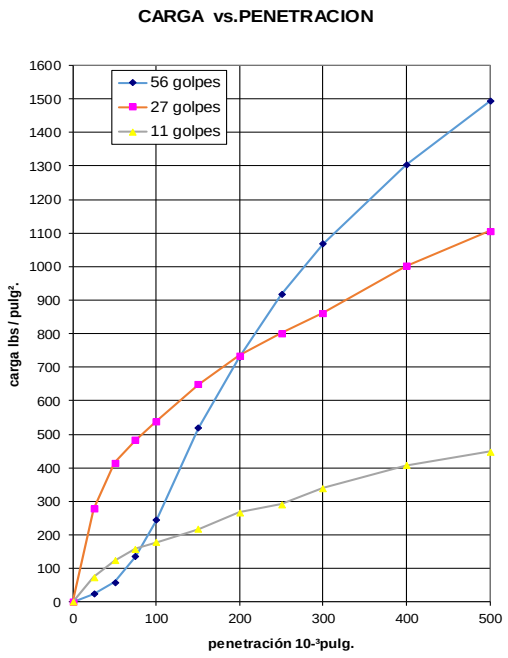
OBSERVACIONES: Sin cemento sumergido 4días Humedad nat: 4.8/opt:10.5 **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	10	24.7			
1	50	24	59.4			
1.5	75	55	136.1			
2	100	99	244.9		1000	**0.0**
3	150	210	519.5			
4	200	295	729.8			
5	250	371	917.8			
6	300	432	1068.8			
8	400	527	1303.8			
10	500	604	1494.3			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	112	277.1			
1	50	168	415.6			
1.5	75	195	482.4			
2	100	218	539.3		1000	**0.0**
3	150	262	648.2			
4	200	297	734.8			
5	250	324	801.6			
6	300	348	860.9			
8	400	405	1002.0			
10	500	447	1105.9			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	30	74.2			
1	50	50	123.7			
1.5	75	64	158.3			
2	100	72	178.1		1000	**0.0**
3	150	88	217.7			
4	200	108	267.2			
5	250	118	291.9			
6	300	137	338.9			
8	400	165	408.2			
10	500	181	447.8			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 20

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Sabado 04 agosto 2018

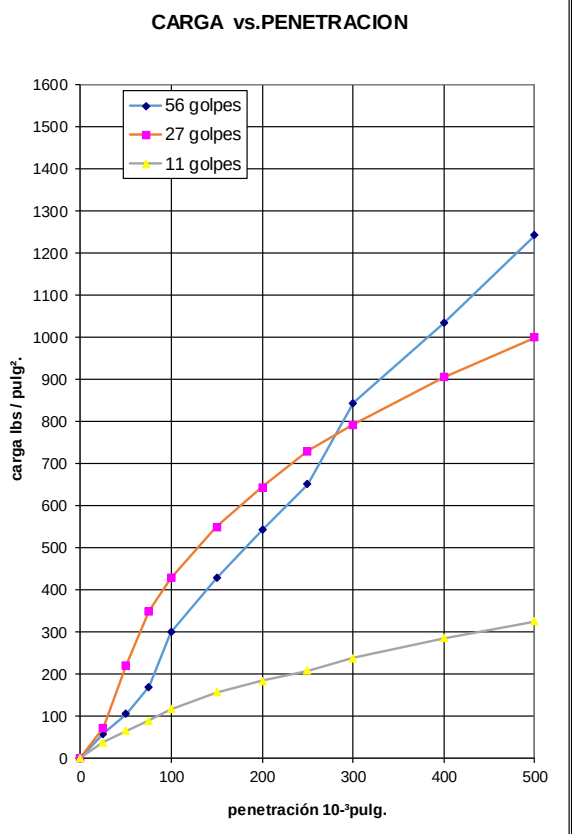
OBSERVACIONES: Sin cemento sumergido 4días Humedad nat: 5.7/opt:10.5 **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	23	56.9			
1	50	42	103.9			
1.5	75	68	168.2			
2	100	121	299.4		1000	**0.0**
3	150	173	428.0			
4	200	219	541.8			
5	250	263	650.7			
6	300	341	843.6			
8	400	418	1034.1			
10	500	502	1241.9			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	29	71.7			
1	50	89	220.2			
1.5	75	141	348.8			
2	100	173	428.0		1000	**0.0**
3	150	222	549.2			
4	200	260	643.2			
5	250	295	729.8			
6	300	320	791.7			
8	400	366	905.5			
10	500	404	999.5			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	15	37.1			
1	50	26	64.3			
1.5	75	36	89.1			
2	100	47	116.3		1000	**0.0**
3	150	63	155.9			
4	200	74	183.1			
5	250	84	207.8			
6	300	96	237.5			
8	400	115	284.5			
10	500	131	324.1			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 23

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Sabado 04 agosto 2018

OBSERVACIONES: Sin cemento sumergido 4días **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

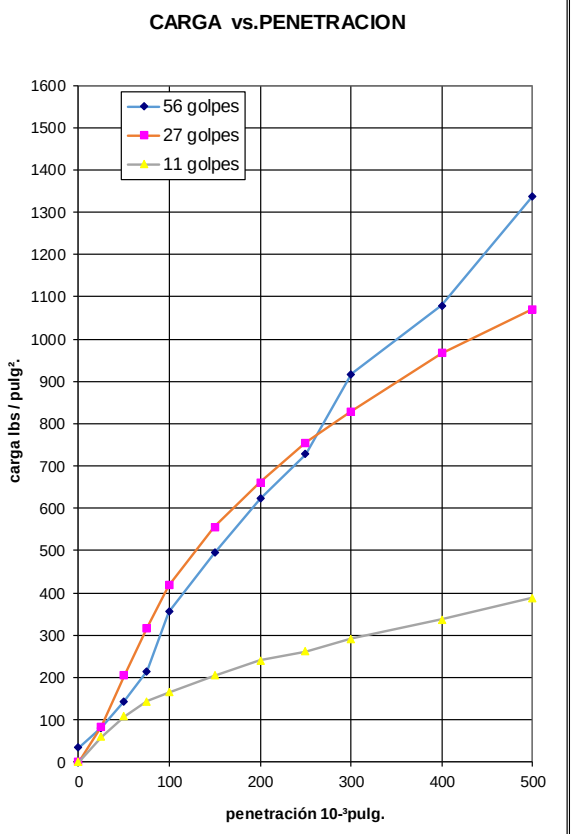
Humedad nat: 4.7/opt:10.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	14	34.6			
0.5	25	33	81.6			
1	50	58	143.5			
1.5	75	87	215.2			
2	100	144	356.3		1000	**0.0**
3	150	200	494.8			
4	200	252	623.4			
5	250	294	727.3			
6	300	371	917.8			
8	400	436	1078.7			
10	500	541	1338.4			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	34	84.1			
1	50	83	205.3			
1.5	75	128	316.7			
2	100	169	418.1		1000	**0.0**
3	150	225	556.6			
4	200	267	660.5			
5	250	305	754.6			
6	300	335	828.8			
8	400	391	967.3			
10	500	433	1071.2			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	24	59.4			
1	50	44	108.9			
1.5	75	58	143.5			
2	100	67	165.8		1000	**0.0**
3	150	83	205.3			
4	200	97	240.0			
5	250	106	262.2			
6	300	118	291.9			
8	400	136	336.5			
10	500	157	388.4			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 27

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Martes 21 ago 2018

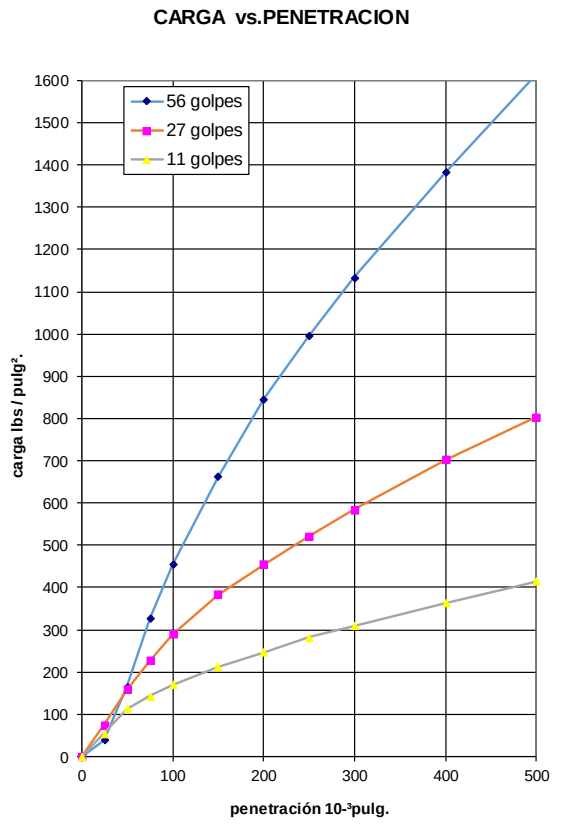
OBSERVACIONES: Sin cemento sumergido 4días **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.4/opt:10.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	16	39.6			
1	50	67	165.8			
1.5	75	132	326.6			
2	100	184	455.2		1000	**0.0**
3	150	268	663.0			
4	200	342	846.1			
5	250	403	997.0			
6	300	458	1133.1			
8	400	559	1382.9			
10	500	653	1615.5			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	30	74.2			
1	50	64	158.3			
1.5	75	92	227.6			
2	100	117	289.5		1000	**0.0**
3	150	155	383.5			
4	200	184	455.2			
5	250	211	522.0			
6	300	236	583.9			
8	400	284	702.6			
10	500	325	804.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	22	54.4			
1	50	46	113.8			
1.5	75	58	143.5			
2	100	69	170.7		1000	**0.0**
3	150	86	212.8			
4	200	100	247.4			
5	250	114	282.0			
6	300	125	309.2			
8	400	147	363.7			
10	500	168	415.6			



Anexo 5.2.2. Suelo en estado natural sin sumergir.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 18

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Viernes 27 de julio del 2018

OBSERVACIONES: Sin cemento sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

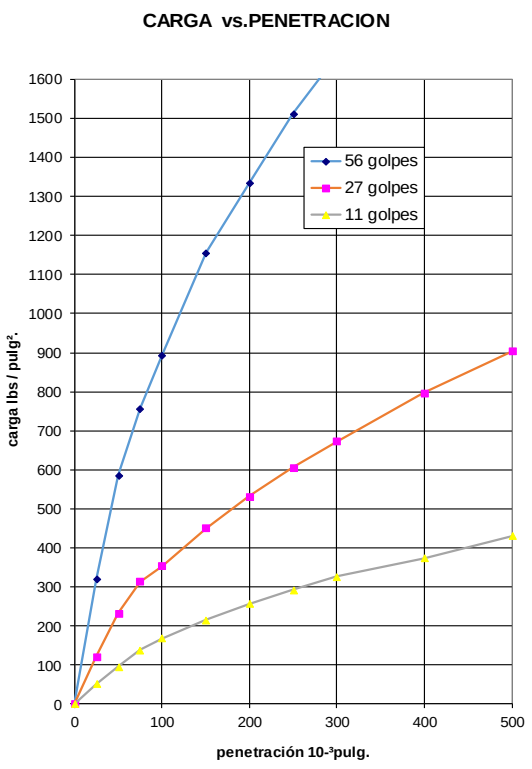
Humedad nat: 5.6/opt:10.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	129	319.1			
1	50	237	586.3			
1.5	75	306	757.0			
2	100	361	893.1		1000	**0.0**
3	150	467	1155.3			
4	200	539	1333.5			
5	250	611	1511.6			
6	300	671	1660.0			
8	400	779	1927.2			
10	500	877	2169.7			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	49	121.2			
1	50	94	232.6			
1.5	75	127	314.2			
2	100	143	353.8		1000	**0.0**
3	150	182	450.3			
4	200	215	531.9			
5	250	245	606.1			
6	300	272	672.9			
8	400	322	796.6			
10	500	365	903.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	21	52.0			
1	50	39	96.5			
1.5	75	56	138.5			
2	100	68	168.2		1000	**0.0**
3	150	87	215.2			
4	200	104	257.3			
5	250	118	291.9			
6	300	132	326.6			
8	400	151	373.6			
10	500	174	430.5			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 20

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Miercoles 01 agosto 2018

OBSERVACIONES: Sin cemento sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

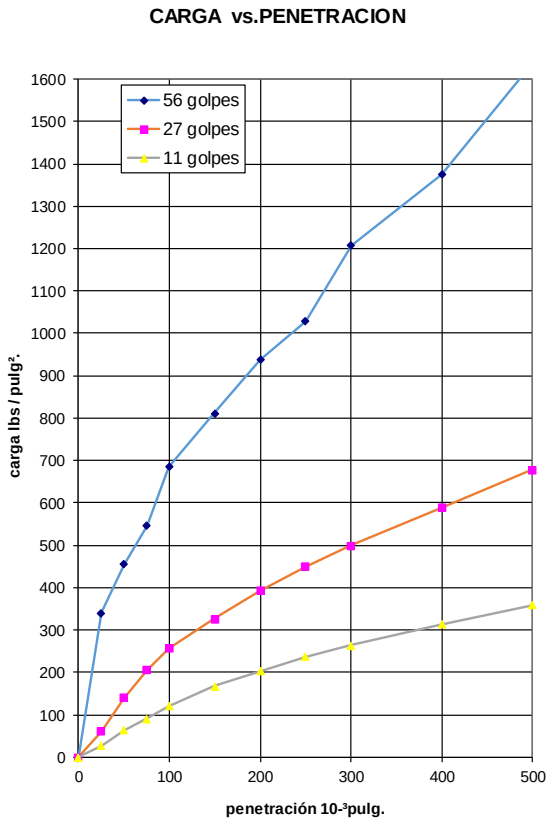
Humedad nat: 5.2/opt:10.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	138	341.4			
1	50	184	455.2			
1.5	75	221	546.7			
2	100	277	685.3		1000	**0.0**
3	150	328	811.5			
4	200	379	937.6			
5	250	416	1029.2			
6	300	488	1207.3			
8	400	556	1375.5			
10	500	662	1637.8			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	25	61.8			
1	50	57	141.0			
1.5	75	83	205.3			
2	100	104	257.3		1000	**0.0**
3	150	132	326.6			
4	200	159	393.4			
5	250	182	450.3			
6	300	202	499.7			
8	400	238	588.8			
10	500	274	677.9			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	11	27.2			
1	50	26	64.3			
1.5	75	37	91.5			
2	100	49	121.2		1000	**0.0**
3	150	68	168.2			
4	200	82	202.9			
5	250	96	237.5			
6	300	107	264.7			
8	400	127	314.2			
10	500	145	358.7			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 21

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Jueves 02 agosto del 2018

OBSERVACIONES: Sin cemento sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

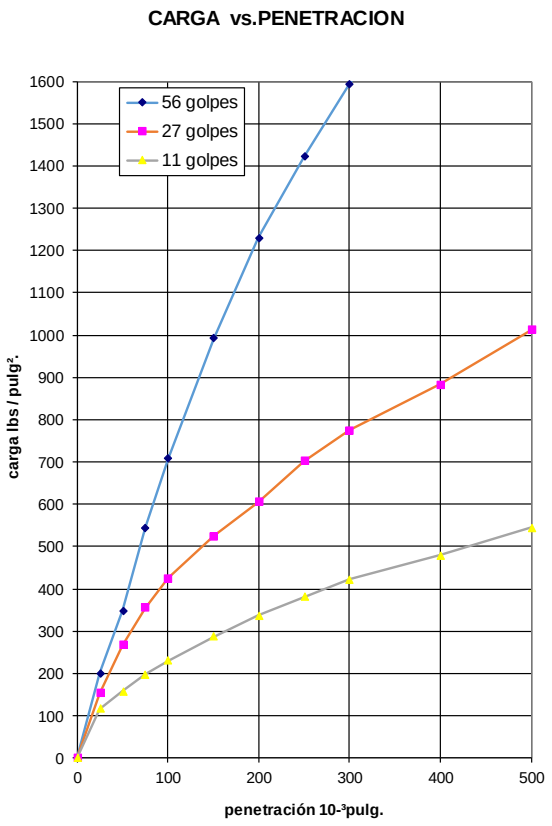
Humedad nat: 5.1/opt:10.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	81	200.4			
1	50	141	348.8			
1.5	75	220	544.3			
2	100	286	707.6		1000	**0.0**
3	150	401	992.1			
4	200	497	1229.6			
5	250	575	1422.5			
6	300	644	1593.2			
8	400	759	1877.7			
10	500	847	2095.5			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	62	153.4			
1	50	108	267.2			
1.5	75	144	356.3			
2	100	172	425.5		1000	**0.0**
3	150	212	524.5			
4	200	245	606.1			
5	250	284	702.6			
6	300	313	774.4			
8	400	357	883.2			
10	500	409	1011.9			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	47	116.3			
1	50	64	158.3			
1.5	75	80	197.9			
2	100	93	230.1		1000	**0.0**
3	150	116	287.0			
4	200	136	336.5			
5	250	154	381.0			
6	300	171	423.0			
8	400	194	480.0			
10	500	220	544.3			



Anexo 5.2.3. Suelo estabilizado con 3% de cemento sumergido.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

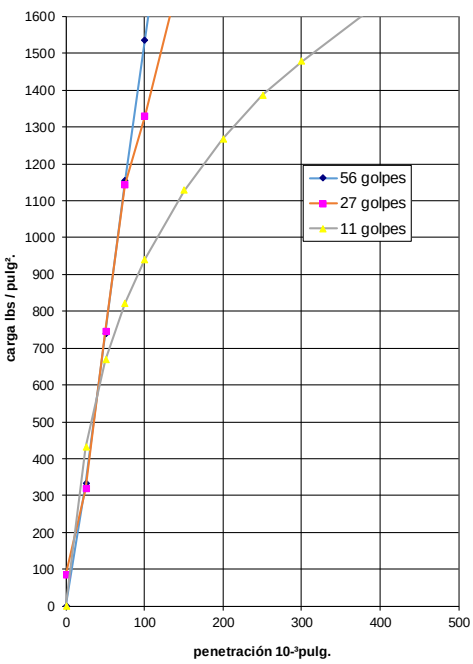
PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	25
SECTOR:	Chocarsi	**FECHA:**	Viernes 17 agosto 2018
OBSERVACIONES:	Con cemento 3% sumergido 4días Humedad nat: 4.3/opt:11.5	**REALIZADO POR:**	Edwin Moscoso

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	134	331.5			
1	50	299	739.7			
1.5	75	466	1152.9			
2	100	620	1533.9		1000	**0.0**
3	150	924	2285.9			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	34	84.1			
0.5	25	128	316.7			
1	50	301	744.7			
1.5	75	462	1143.0			
2	100	537	1328.5		1000	**0.0**
3	150	710	1756.5			
4	200	910	2251.3	160		
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	174	430.5			
1	50	270	668.0			
1.5	75	332	821.4			
2	100	380	940.1		1000	**0.0**
3	150	456	1128.1			
4	200	512	1266.7			
5	250	560	1385.4			
6	300	597	1477.0			
8	400	662	1637.8			
10	500	715	1768.9			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 30

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Sabado 25 ago 2018

OBSERVACIONES: Con cemento 3% sumergido 4días **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

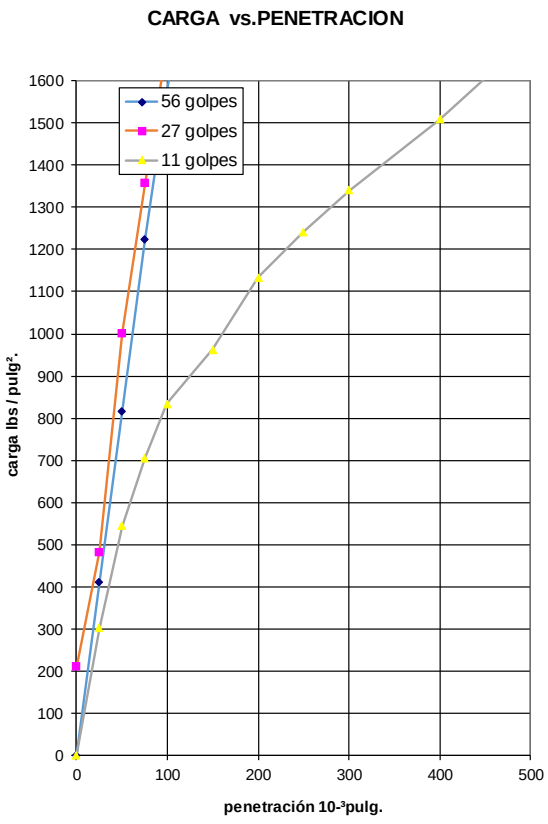
Humedad nat: 4.7/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	166	410.7			
1	50	330	816.4			
1.5	75	495	1224.6			
2	100	636	1573.4		1000	**0.0**
3	150	887	2194.4			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	85	210.3			
0.5	25	195	482.4			
1	50	405	1002.0			
1.5	75	549	1358.2			
2	100	680	1682.3		1000	**0.0**
3	150	777	1922.3			
4	200	925	2288.4			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	122	301.8			
1	50	220	544.3			
1.5	75	285	705.1			
2	100	337	833.7		1000	**0.0**
3	150	389	962.4			
4	200	458	1133.1			
5	250	502	1241.9			
6	300	542	1340.9			
8	400	610	1509.1			
10	500	689	1704.6			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 30²

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Sabado 25 ago 2018

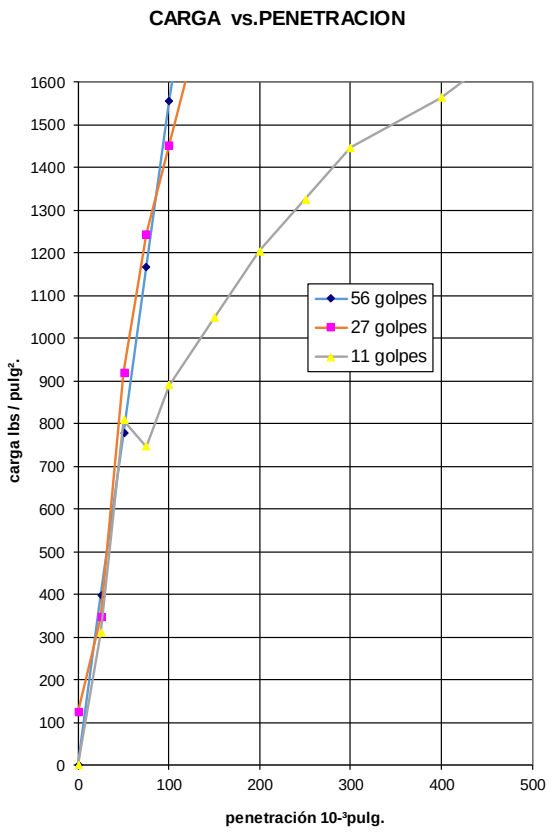
OBSERVACIONES: Con cemento 3% sumergido 4días **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.7/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	161	398.3			
1	50	314	776.8			
1.5	75	472	1167.7			
2	100	629	1556.1		1000	**0.0**
3	150	902	2231.5			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	50	123.7			
0.5	25	140	346.4			
1	50	372	920.3			
1.5	75	503	1244.4			
2	100	587	1452.2		1000	**0.0**
3	150	756	1870.3			
4	200	918	2271.1			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	125	309.2			
1	50	327	809.0			
1.5	75	302	747.1			
2	100	360	890.6		1000	**0.0**
3	150	424	1049.0			
4	200	487	1204.8			
5	250	536	1326.0			
6	300	585	1447.3			
8	400	632	1563.5			
10	500	697	1724.4			



Anexo 5.2.4. Suelo estabilizado con 3% de cemento curado 4 días al aire libre.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883-07)

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 24

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Lunes 13 agosto 2018

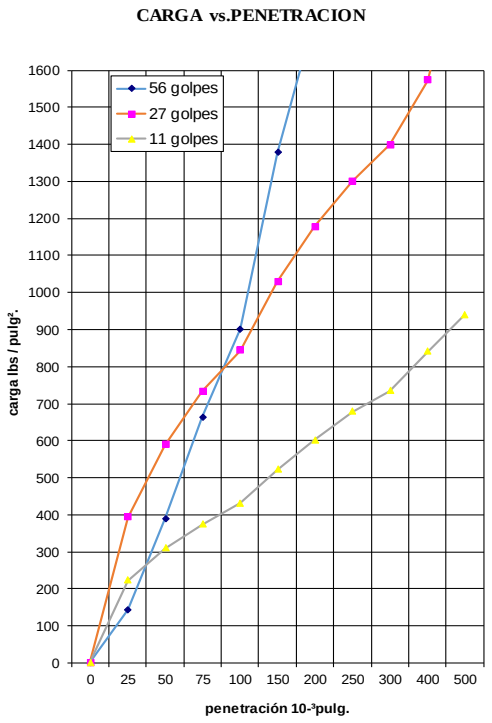
OBSERVACIONES: Con cemento 3% 4 días aire libre Humedad nat: 4.8/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	58	143.5			
1	50	157	388.4			
1.5	75	268	663.0			
2	100	364	900.5		1000	**0.0**
3	150	557	1378.0			
4	200	703	1739.2			
5	250	812	2008.9			
6	300	905	2238.9			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	159	393.4			
1	50	238	588.8			
1.5	75	296	732.3			
2	100	341	843.6		1000	**0.0**
3	150	416	1029.2			
4	200	476	1177.6			
5	250	526	1301.3			
6	300	565	1397.8			
8	400	636	1573.4			
10	500	799	1976.7			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	90	222.7			
1	50	125	309.2			
1.5	75	151	373.6			
2	100	174	430.5		1000	**0.0**
3	150	211	522.0			
4	200	243	601.2			
5	250	274	677.9			
6	300	297	734.8			
8	400	340	841.1			
10	500	380	940.1			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 25

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Lunes 13 agosto 2018

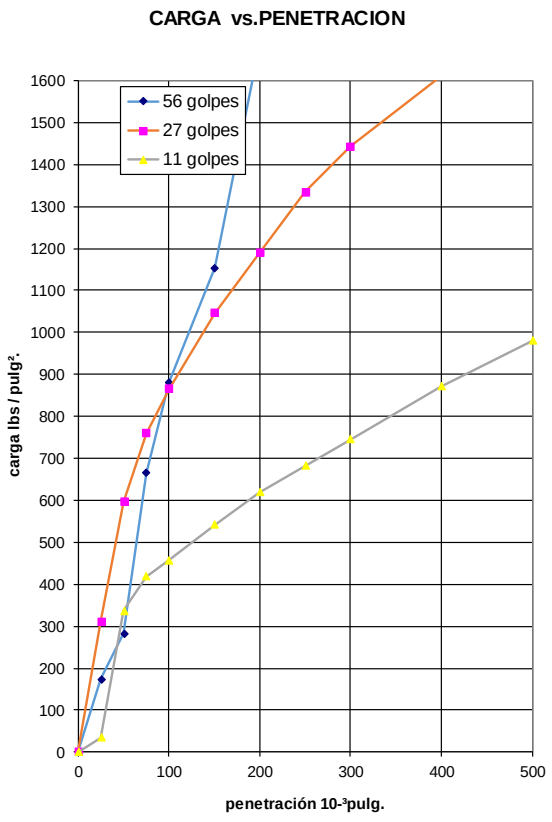
OBSERVACIONES: Con cemento 3% 4 días aire libre **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.1/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	70	173.2			
1	50	114	282.0			
1.5	75	269	665.5			
2	100	356	880.7		1000	**0.0**
3	150	466	1152.9			
4	200	680	1682.3			
5	250	846	2093.0			
6	300	910	2251.3			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	126	311.7			
1	50	241	596.2			
1.5	75	307	759.5			
2	100	350	865.9		1000	**0.0**
3	150	423	1046.5			
4	200	481	1190.0			
5	250	539	1333.5			
6	300	583	1442.3			
8	400	651	1610.6			
10	500	818	2023.7			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	14	34.6			
1	50	136	336.5			
1.5	75	169	418.1			
2	100	185	457.7		1000	**0.0**
3	150	219	541.8			
4	200	250	618.5			
5	250	276	682.8			
6	300	301	744.7			
8	400	352	870.8			
10	500	396	979.7			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 25²

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Viernes 17 agosto 2018

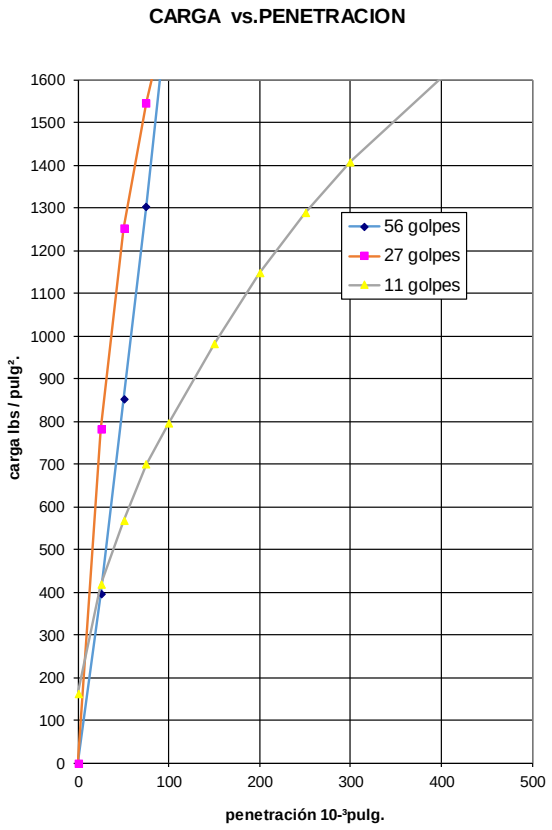
OBSERVACIONES: Con cemento 3% 4 días aire libre Humedad nat: 4.3/opt:11.5 **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	160	395.8			
1	50	344	851.0			
1.5	75	527	1303.8			
2	100	729	1803.5		1000	**0.0**
3	150	125	309.2	910		
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	316	781.8			
1	50	506	1251.8			
1.5	75	625	1546.2			
2	100	718	1776.3		1000	**0.0**
3	150	869	2149.9			
4	200	910	2251.3	167		
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	66	163.3			
0.5	25	169	418.1			
1	50	229	566.5			
1.5	75	283	700.1			
2	100	322	796.6		1000	**0.0**
3	150	397	982.2			
4	200	464	1147.9			
5	250	521	1288.9			
6	300	569	1407.7			
8	400	648	1603.1			
10	500	715	1768.9			



Anexo 5.2.5. Suelo estabilizado con 3% de cemento sin sumergir.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 25

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Martes 14 agosto 2018

OBSERVACIONES: Con cemento 3% sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

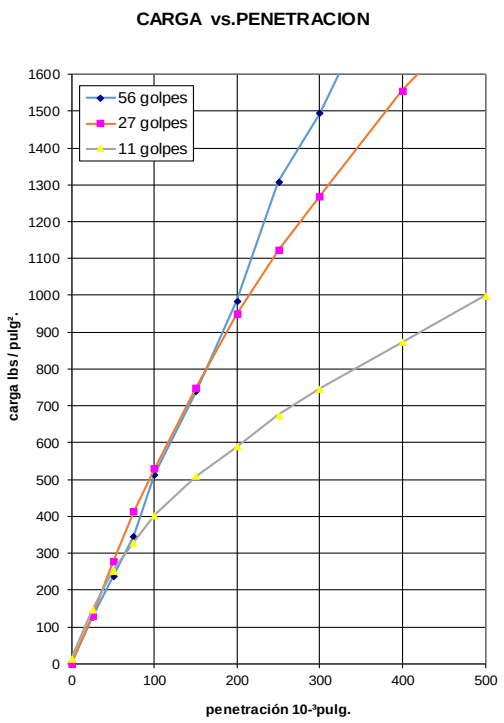
Humedad nat: 4.3/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	51	126.2			
1	50	96	237.5			
1.5	75	140	346.4			
2	100	208	514.6		1000	**0.0**
3	150	299	739.7			
4	200	398	984.6			
5	250	529	1308.7			
6	300	604	1494.3			
8	400	791	1956.9			
10	500	910	2251.3	478		

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	52	128.6			
1	50	112	277.1			
1.5	75	167	413.2			
2	100	214	529.4		1000	**0.0**
3	150	303	749.6			
4	200	384	950.0			
5	250	454	1123.2			
6	300	513	1269.1			
8	400	629	1556.1			
10	500	724	1791.2			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	6	14.8			
0.5	25	59	146.0			
1	50	102	252.3			
1.5	75	133	329.0			
2	100	163	403.3		1000	**0.0**
3	150	206	509.6			
4	200	238	588.8			
5	250	273	675.4			
6	300	302	747.1			
8	400	353	873.3			
10	500	404	999.5			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 26

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Martes 14 agosto 2018

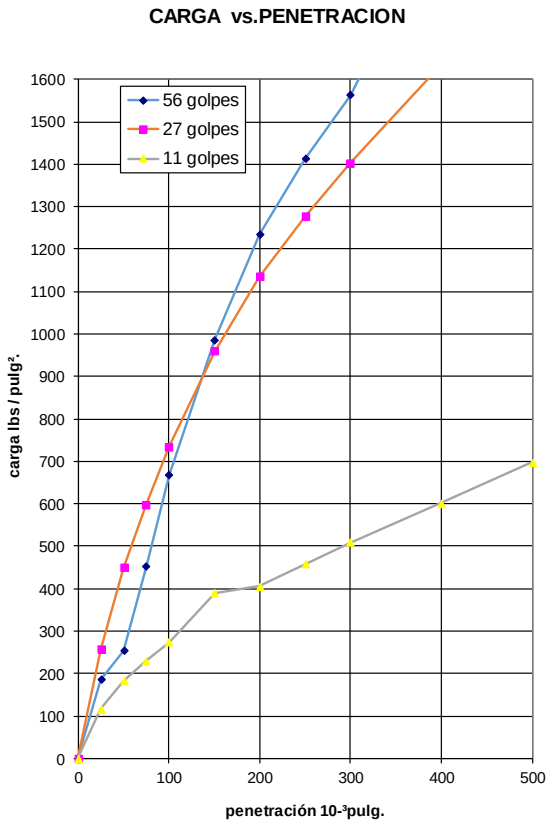
OBSERVACIONES: Con cemento 3% sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.3/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	75	185.5			
1	50	103	254.8			
1.5	75	183	452.7			
2	100	270	668.0		1000	**0.0**
3	150	399	987.1			
4	200	499	1234.5			
5	250	571	1412.6			
6	300	632	1563.5			
8	400	803	1986.6			
10	500	910	2251.3	445		

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	104	257.3			
1	50	182	450.3			
1.5	75	242	598.7			
2	100	297	734.8		1000	**0.0**
3	150	388	959.9			
4	200	459	1135.6			
5	250	516	1276.6			
6	300	567	1402.7			
8	400	660	1632.8			
10	500	743	1838.2			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	47	116.3			
1	50	74	183.1			
1.5	75	93	230.1			
2	100	111	274.6		1000	**0.0**
3	150	158	390.9			
4	200	164	405.7			
5	250	185	457.7			
6	300	206	509.6			
8	400	243	601.2			
10	500	282	697.7			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 27

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Miercoles 15 agosto 2018

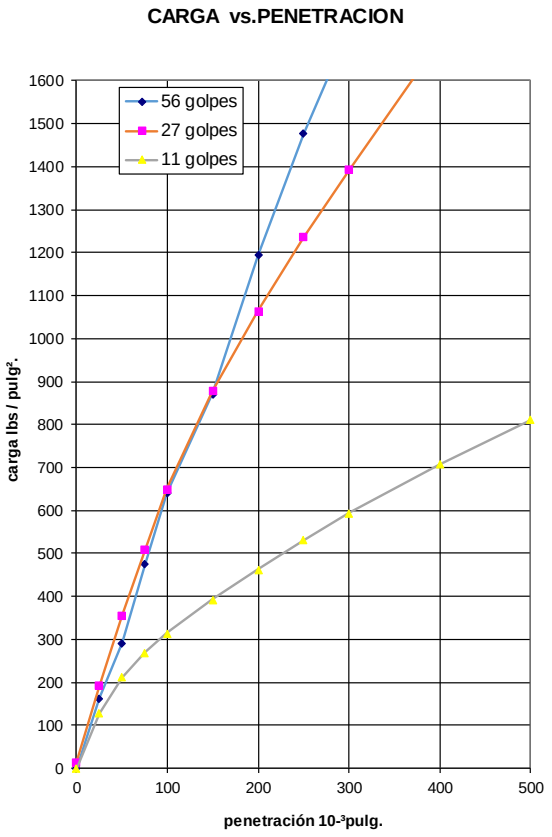
OBSERVACIONES: Con cemento 3% sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.1/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	66	163.3			
1	50	118	291.9			
1.5	75	192	475.0			
2	100	259	640.8		1000	**0.0**
3	150	352	870.8			
4	200	483	1194.9			
5	250	597	1477.0			
6	300	696	1721.9			
8	400	868	2147.4			
10	500	910	2251.3	433		

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	6	14.8			
0.5	25	78	193.0			
1	50	144	356.3			
1.5	75	206	509.6			
2	100	263	650.7		1000	**0.0**
3	150	355	878.3			
4	200	430	1063.8			
5	250	500	1237.0			
6	300	563	1392.8			
8	400	684	1692.2			
10	500	782	1934.6			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	52	128.6			
1	50	86	212.8			
1.5	75	109	269.7			
2	100	127	314.2		1000	**0.0**
3	150	159	393.4			
4	200	187	462.6			
5	250	215	531.9			
6	300	240	593.8			
8	400	286	707.6			
10	500	328	811.5			



Anexo 5.2.6. Suelo estabilizado con 5% de cemento sumergido.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 27

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Martes 21 ago 2018

OBSERVACIONES: Con cemento 5% sumergido 4días **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

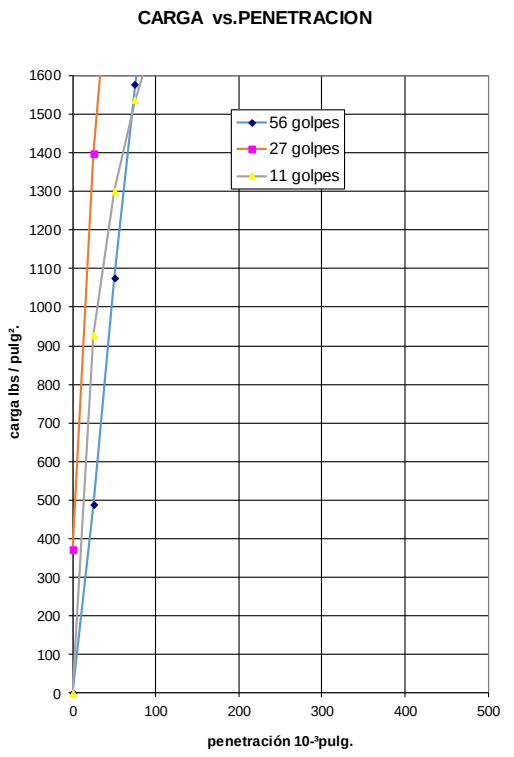
Humedad nat: 4.4/opt:11.6

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	197	487.4			
1	50	435	1076.2			
1.5	75	637	1575.9			
2	100	806	1994.0		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	150	371.1			
0.5	25	565	1397.8			
1	50	820	2028.7			
1.5	75		0.0			
2	100		0.0		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	375	927.7			
1	50	526	1301.3			
1.5	75	621	1536.3			
2	100	693	1714.5		1000	**0.0**
3	150	792	1959.4			
4	200	864	2137.5			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** SN

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Viernes 27 de julio del 2018

OBSERVACIONES: Con cemento 5% sumergido 4días **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

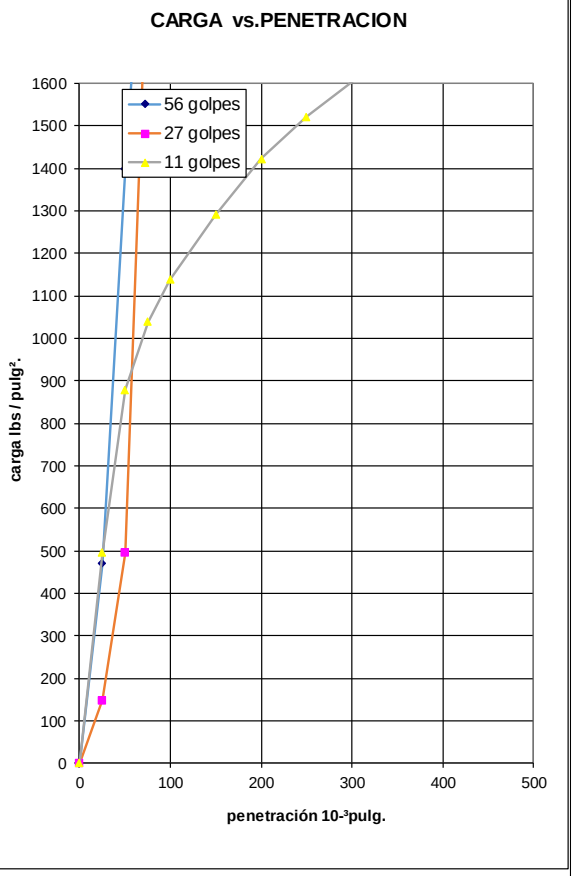
Humedad nat: 5.0/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	190	470.1			
1	50	565	1397.8			
1.5	75	880	2177.1			
2	100		0.0		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	60	148.4			
1	50	200	494.8			
1.5	75	800	1979.2			
2	100		0.0		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	200	494.8			
1	50	355	878.3			
1.5	75	420	1039.1			
2	100	460	1138.0		1000	**0.0**
3	150	522	1291.4			
4	200	575	1422.5			
5	250	615	1521.5			
6	300	648	1603.1			
8	400	720	1781.3			
10	500		0.0			



Anexo 5.2.7 Suelo estabilizado con 5% de cemento Curado 4 días al aire libre.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO :	Mina del municipio	**MUESTRA Nº.**	23
SECTOR:	Chocarsi	**FECHA:**	Lunes 13 agosto 2018
OBSERVACIONES:	Con cemento 5% 4 días aire libre Humedad nat: 4.8/opt:11.6	**REALIZADO POR:**	Edwin Moscoso

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde 1 expansión

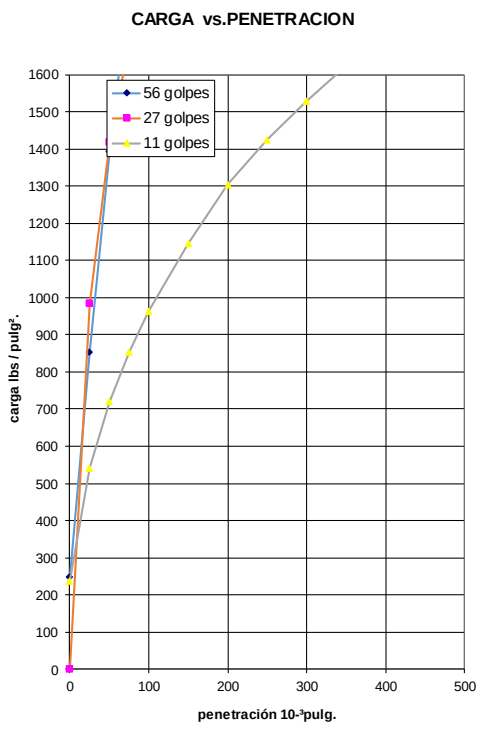
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	100	247.4			
0.5	25	345	853.5			
1	50	563	1392.8			
1.5	75	744	1840.6			
2	100	911	2253.8		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde 2 expansión

TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	398	984.6			
1	50	573	1417.6			
1.5	75	681	1684.8			
2	100	772	1909.9		1000	**0.0**
3	150	913	2258.7			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde 3 expansión

TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	96	237.5			
0.5	25	219	541.8			
1	50	291	719.9			
1.5	75	345	853.5			
2	100	389	962.4		1000	**0.0**
3	150	463	1145.4			
4	200	527	1303.8			
5	250	576	1425.0			
6	300	618	1528.9			
8	400	694	1716.9			
10	500	760	1880.2			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 23²

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Lunes 13 agosto 2018

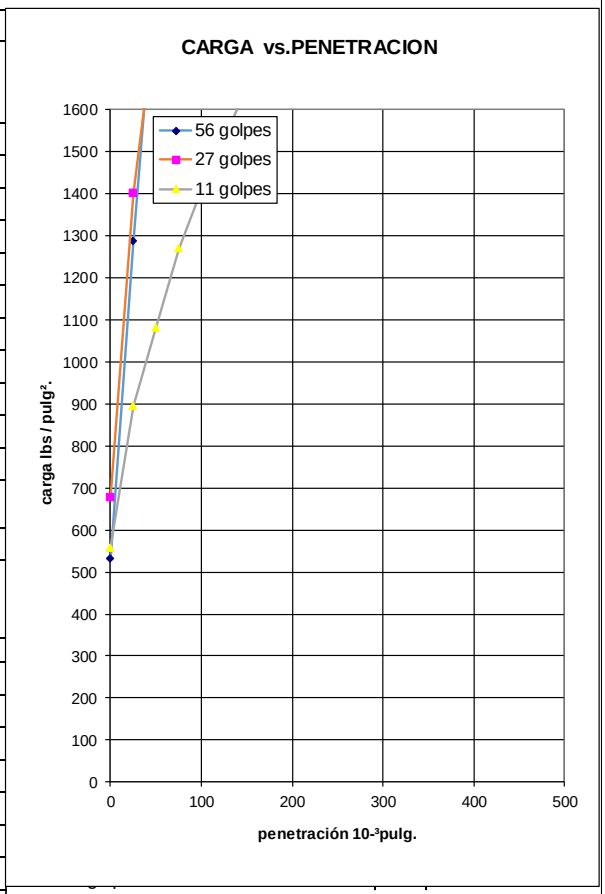
OBSERVACIONES: Con cemento 5% 4 días aire libre **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.8/opt:11.6

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	215	531.9			
0.5	25	521	1288.9			
1	50	791	1956.9			
1.5	75	910	2251.3			
2	100		0.0		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	275	680.3			
0.5	25	567	1402.7			
1	50	741	1833.2			
1.5	75	871	2154.8			
2	100	910	2251.3		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	226	559.1			
0.5	25	362	895.6			
1	50	438	1083.6			
1.5	75	514	1271.6			
2	100	568	1405.2		1000	**0.0**
3	150	667	1650.1			
4	200	746	1845.6			
5	250	807	1996.5			
6	300	851	2105.3			
8	400	910	2251.3			
10	500		0.0			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 26

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Viernes 17 ago 2018

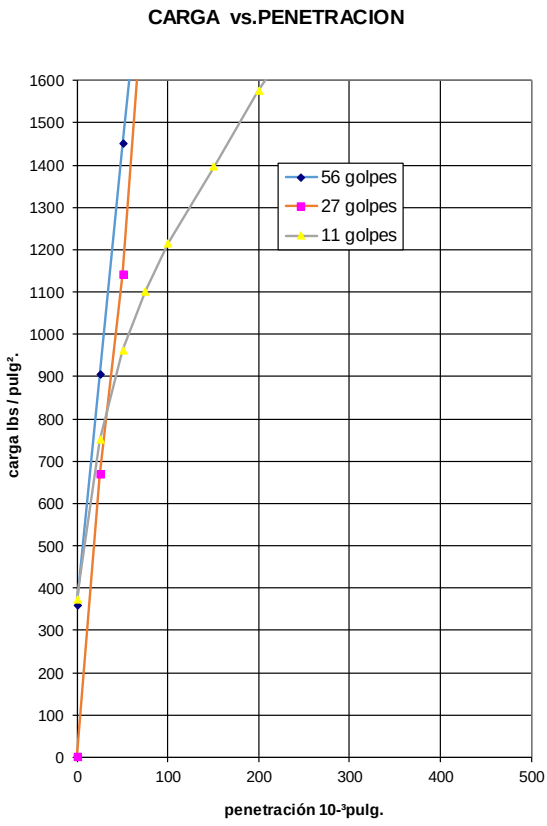
OBSERVACIONES: Con cemento 5% 4 días aire libre **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso
Humedad nat: 4.3/opt:11.6

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	145	358.7			
0.5	25	365	903.0			
1	50	586	1449.7			
1.5	75	795	1966.8			
2	100	910	2251.3	91	1000	**9.1**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	270	668.0			
1	50	461	1140.5			
1.5	75	756	1870.3			
2	100	901	2229.0		1000	**0.0**
3	150		0.0			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	151	373.6			
0.5	25	303	749.6			
1	50	389	962.4			
1.5	75	445	1100.9			
2	100	491	1214.7		1000	**0.0**
3	150	564	1395.3			
4	200	637	1575.9			
5	250	701	1734.3			
6	300	752	1860.4			
8	400	846	2093.0			
10	500	910	2251.3	482		



Anexo 5.2.8 Suelo estabilizado con 5% de cemento sin sumergir.

LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 20

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Martes 31 de julio del 2018

OBSERVACIONES: Con cemento 5% sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

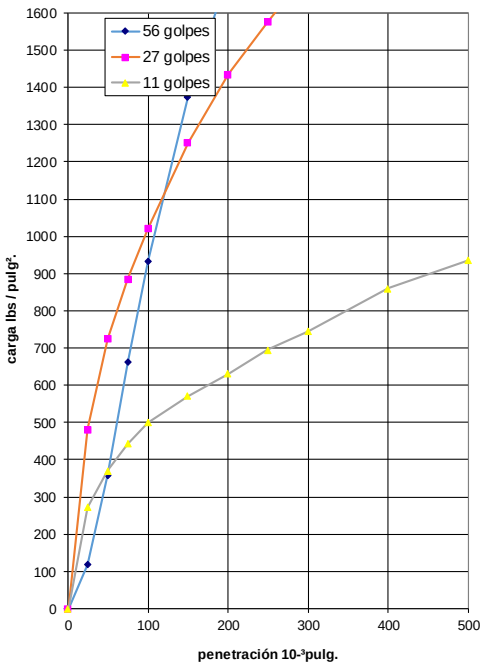
Humedad nat: 5.7/opt:10.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	48	118.8			
1	50	145	358.7			
1.5	75	268	663.0			
2	100	377	932.7		1000	**0.0**
3	150	556	1375.5			
4	200	690	1707.0			
5	250	875	2164.7			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	195	482.4			
1	50	293	724.9			
1.5	75	358	885.7			
2	100	413	1021.7		1000	**0.0**
3	150	506	1251.8			
4	200	580	1434.9			
5	250	637	1575.9			
6	300	692	1712.0			
8	400	793	1961.9			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	110	272.1			
1	50	150	371.1			
1.5	75	179	442.8			
2	100	202	499.7		1000	**0.0**
3	150	231	571.5			
4	200	255	630.9			
5	250	281	695.2			
6	300	301	744.7			
8	400	348	860.9			
10	500	378	935.2			



LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio **MUESTRA Nº.** 21

SECTOR: Chocarsi **FECHA:** Jueves 02 de agosto 2018

OBSERVACIONES: Con cemento 5% sin sumergir **REALIZADO POR:** Edwin Moscoso

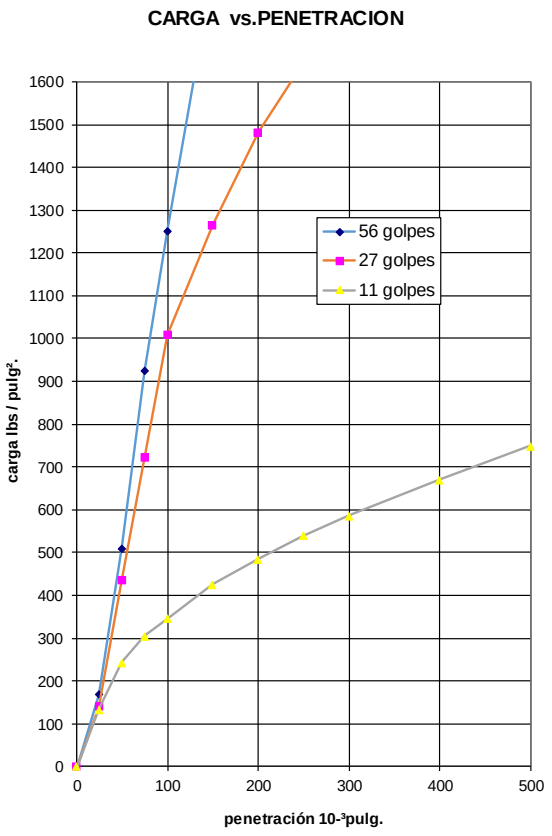
Humedad nat: 5.1/opt:11.5

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	68	168.2			
1	50	206	509.6			
1.5	75	374	925.3			
2	100	506	1251.8		1000	**0.0**
3	150	752	1860.4			
4	200		0.0			
5	250		0.0			
6	300		0.0			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	57	141.0			
1	50	176	435.4			
1.5	75	292	722.4			
2	100	408	1009.4		1000	**0.0**
3	150	512	1266.7			
4	200	599	1481.9			
5	250	664	1642.7			
6	300	722	1786.2			
8	400	819	2026.2			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	54	133.6			
1	50	98	242.4			
1.5	75	123	304.3			
2	100	140	346.4		1000	**0.0**
3	150	172	425.5			
4	200	196	484.9			
5	250	218	539.3			
6	300	237	586.3			
8	400	271	670.4			
10	500	303	749.6			



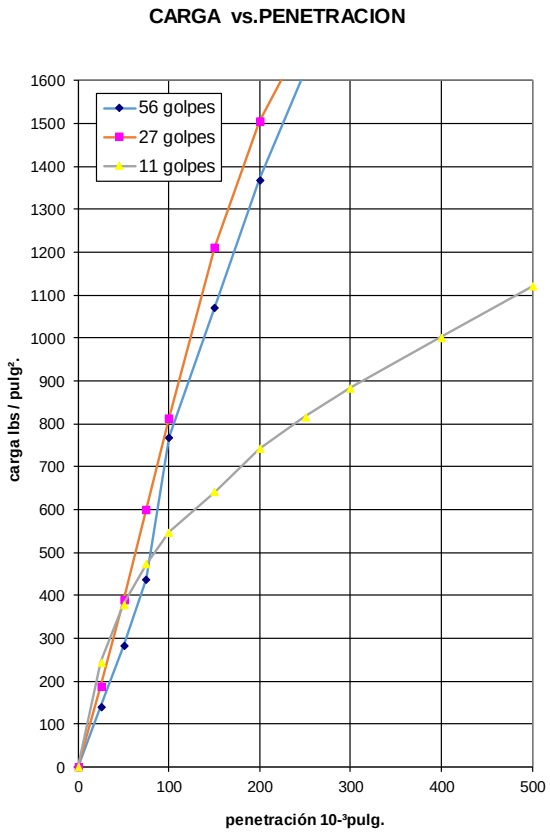
LABORATORIO DE GEOTECNIA

ENSAYO DE RELACIÓN SOPORTE CALIFORNIA CBR(ASTM D1883

PROYECTO : Mina del municipio
MUESTRA Nº. 21 segunda
SECTOR: Chocarsi
FECHA: Viernes 03 de agosto 2018
OBSERVACIONES: Con cemento 5% sin sumergir
Humedad nat: 5.1/opt:11.5
REALIZADO POR: Edwin Moscoso

ANILLO: No 1 **CONSTANTE:2,47397 lb./pulg².**

molde		1	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	57	141.0			
1	50	114	282.0			
1.5	75	177	437.9			
2	100	311	769.4		1000	**0.0**
3	150	433	1071.2			
4	200	553	1368.1			
5	250	655	1620.5			
6	300	834	2063.3			
8	400		0.0			
10	500		0.0			

molde		2	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	76	188.0			
1	50	157	388.4			
1.5	75	243	601.2			
2	100	329	813.9		1000	**0.0**
3	150	490	1212.2			
4	200	608	1504.2			
5	250	689	1704.6			
6	300	767	1897.5			
8	400	877	2169.7			
10	500		0.0			

molde		3	expansión			
TIEMPO min.	PENETRACION pulg.	CARGA dial	PRESIÓN lb/pulg2	PRESIÓN CORRGD. lb/pulg2	PRESIÓN ESTÁNDAR lb/pulg2	CBR
0	0	0	0.0			
0.5	25	99	244.9			
1	50	153	378.5			
1.5	75	191	472.5			
2	100	221	546.7		1000	**0.0**
3	150	259	640.8			
4	200	300	742.2			
5	250	330	816.4			
6	300	357	883.2			
8	400	405	1002.0			
10	500	453	1120.7