

UNIVERSIDAD DEL BÍO – BÍO
FACULTAD DE INGENIERIA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL.

Profesora Patrocinante: Carmen Gonzalez Labbé.

Profesor comisión: Franco Benedetti Leonelli

Ricardo Riveros Valenzuela.

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL QUÍMICO GT-24X EN
SUELOS DE SUBRASANTE DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.”**

Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Civil.

FELIPE ANDRES FUENTES CRISOSTOMO.

Concepción, Abril 2013.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mi madre y padre, Marta Crisóstomo y José Fuentes, por su permanente motivación y esfuerzo para poder sacar mis estudios adelante, además de su apoyo incondicional y compañía en momentos de desmotivación.

Agradezco al Sr. Miguel Orellana por su paciencia y ayuda en la ejecución de los ensayos de laboratorio, de la misma manera al señor Jorge Roa por facilitar las instalaciones del laboratorio de Claro Vicuña Valenzuela S.A. y al Señor Reymer Baez por su gentil auspicio del producto GT-24X.

Agradezco a todas las personas que de alguna u otra forma me acompañaron en el sueño de poder realizar mis estudios universitarios y que llenaron de momentos gratos mi estadía en la universidad, mis amigos.

También agradezco el constante ánimo, energía y compañía que me ha entregado mi polola Giannina Dominguez Mosciatti, gracias a todos ellos hoy he cumplido mi gran anhelo de ser un profesional.

DEDICATORIA

*“A mi familia, en especial a mi hijo y a mi madre,
que gracias a su esfuerzo y motivación
podre cumplir el sueño de ser un profesional...”*

NOMENCLATURA

CBR: California Bearing Ratio (Ensayo de relación de soporte California)

DMCS: Densidad Máxima Compacta Seca.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

USCS: Unified Soil Classification System.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

NCH: Norma Chilena.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.	ii
DEDICATORIA	iii
NOMENCLATURA	iv
Abstract.	5
Capítulo 1: Introducción.....	6
1. Introducción	6
1.1 Motivación	7
1.2 Alcances	8
1.3 Objetivos	9
Capítulo 2: Antecedentes	10
2.1 Estabilización química de suelos.	10
2.1.1 Estabilización con GT-24X.	10
2.1.2 Experiencias realizadas con estabilizadores de base enzimática y GT-24X.	11
2.2. Materiales de subrasante.....	13
2.2.1 Materiales de subrasante empleados.....	14
Capítulo 3: Desarrollo de la etapa experimental.....	15
3.1 Variables a investigar.	15
3.2 Configuraciones de mezcla entre suelo de subrasante y GT-24X.	16
3.3 Descripción de los ensayos geo mecánicos.	17
3.3.1 Extracción de muestras:	17
3.3.2 Método para determinar la granulometría.....	18
3.3.3 Método para determinar el contenido de humedad.....	19
3.3.4 Método para determinar el límite líquido.....	19
3.3.5 Método para determinar el límite plástico.....	20
3.3.6 Método para determinar la relación humedad – densidad. Ensaye Proctor modificado.....	20
3.3.7 Método de ensaye CBR - Razón de soporte de California.....	21
3.3.8 Validación estadística.....	24
Capítulo 4: Análisis de Resultados.....	27
4.1 Clasificación de materiales de rasante A y B (Mat. A y Mat. B).....	27

4.1.1 Material de rasante tipo A (Mat. A)	27
4.1.2 Material de rasante tipo B (Mat. B).....	28
4.2 Análisis de Ensayos geo mecánicos.....	28
4.2.1 Ensayos de materiales sin aditivo GT-24X.	28
4.2.2 Ensayos de mezclas: GT-24X – material de subrasante	29
4.3 Validación Estadística.	32
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones	34
5.1 Conclusiones	34
5.2 Recomendaciones	35
6. Bibliografía.....	36
7. ANEXOS.	38
7.1 Ensayos geo mecánicos.	39
7.2 Planteamiento de hipótesis, validación de datos y tablas empleadas.....	99
7.2.1 Tablas resumen ensayos CBR.....	99
7.2.2 Procedimiento calculo estadístico.....	107

Índice de figuras:

Figura 1: Ubicación geográfica de materiales empleados.	14
Figura 2: Configuraciones de mezcla GT-24X – Suelo Subrasante.	16
Figura 3: Suelo Lomas de San Sebastián y Sector Collao respectivamente.	18
Figura 4: Ejemplo Gráfico Tensión v/s Penetración	22
Figura 5: Ejemplo Gráfico CBR v/s Densidad seca.	23
Figura 6: Materiales, Materias primas, compactación y penetración moldes CBR.	24
Ecuación 1: Estadístico de prueba de hipótesis sobre igualdad de dos medias, varianzas desconocidas	25
Ecuación 2: Abscisa del gráfico Vic “Curvas características de operación”	26
Figura 7: Densidad máxima compacta seca en distintas dosificaciones (Mat A)	30
Figura 8: Humedad Óptima en las distintas dosificaciones (Mat B)	30
Figura 9: Valores de CBR para las distintas dosificaciones (mat A y B)	31

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL QUIMICO GT-24X EN SUELOS DE SUBRASANTE DE LA LOCALIDAD DE CONCEPCIÓN.

Autor: Felipe Andrés Fuentes Crisostomo.

Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio Bio.

ffuentec@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Carmen Gonzalez Labbé.

Departamento Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bio Bio.

cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN:

Actualmente, existen 19.435 kilómetros de caminos de tierra en Chile que presentan conectividad con pueblos o simplemente de uso forestal, agrícola entre otros, estos no siempre se encuentran en buen estado, lo cual crea la necesidad de encontrar nuevas técnicas y productos que favorezcan la elaboración de vías terrestres con mayores estándares y de fácil mantención.

Las condiciones señaladas dan pie para realizar estudios con químicos innovadores, como lo son los de naturaleza enzimática, estos producen un efecto aglutinante de las partículas plástico arcillosas de los suelos, mejorando su capacidad de soporte.

Bajo esta premisa se plantea el desarrollo de un estudio experimental que tiene por objetivo identificar el efecto que provoca la adición de GT-24X en suelos de subrasante comunes en concepción desde un enfoque geomecánico, tomando como referencia el valor de la razón de soporte que experimentan distintas configuraciones de aditivo.

Para lograr los propósitos planteados se elaboró una serie de configuraciones de mezcla entre suelo y GT-24X, los cuales fueron sometidos a todos los ensayos requeridos para determinar el valor del CBR. Los resultados exhiben que en el tipo de suelo arena arcilloso presente en este estudio, toman una tendencia al incremento de la razón de soporte cuando se añade el químico. Por el contrario, en una arena limosa no se distingue la funcionalidad del aditivo, debido a que no se presenta un claro aumento en el valor del CBR.

Palabras Clave: Estabilizadores enzimáticos, aumento de capacidad de soporte.

Número de Palabras: $7029 + 11 \cdot 250 = 9779$

Abstract.

Currently, there are 19,435 miles of dirt roads in Chile that have villages or simply connectivity of forestry, agriculture and others, these are not always in good condition, which creates the need for new techniques and products that promote the development of roads with higher standards and easy maintenance.

The conditions mentioned give rise to conduct studies with innovative chemical, as are enzymatic in nature, they produce an effect plastic binder particles of clay soils, improving their ability to support.

Under this premise arises the development of an experimental study that aims to identify the effect caused by the addition of GT-24X in common subgrade soils from conception geomechanical approach by reference to the value of the ratio of support experienced additive different configurations.

To achieve the proposed objectives developed a series of configurations soil mixture and GT-24X, which have passed all tests required to determine the value of the CBR. The results displayed in sand soil type clay present in this study, taking an increasing trend of the ratio of carrier when the chemical is added. By contrast, in a silty sand is indistinguishable additive functionality because no show a clear increase in the value of the CBR.

Capítulo 1: Introducción

1. Introducción

En la actualidad, la estabilización de suelos en la ingeniería, particularmente en las vías terrestres, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar el comportamiento esfuerzo deformación de los suelos.

El mejoramiento de estos ha atendido a diversos requerimientos, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros, buscando en todos los casos, un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se emplace sobre ellos, a lo largo de su vida útil.

En los terrenos arcillosos es altamente probable encontrar problemas relacionados con inestabilidades volumétricas ante ganancia o pérdida de agua, lo que en la práctica con lleva a dificultades a la hora de estabilizar estos tipos de suelos. Por otra parte, en concepción es altamente probable encontrar arenas pobremente graduadas provenientes de la meteorización o desintegración de roca granítica, presentando granos angulares y fracturables incidiendo en la granulometría y negativamente en la capacidad de soporte. Debido a estos escenarios existen diversos métodos para la estabilización de suelos, entre ellos se pueden nombrar la estabilización con cal, cenizas de alto horno, ácidos orgánicos, resinas polímeros, etcétera. Incluso se ha utilizado la combinación de diferentes productos estabilizadores, así como la mezcla de suelos con el fin de dar soluciones optimas a problemas particulares.

Es por esto que nace la inquietud de estudiar y validar nuevos productos estabilizadores con el fin de ampliar este campo y dar cabida en el mercado a novedosos aditivos.

1.1 Motivación

La conectividad y logística entre sectores urbanos y rurales son puntos primordiales dentro del marco nacional, ahora bien, en Chile existen actualmente ochenta mil cuatrocientos kilómetros de caminos, cerca de diecisiete mil quinientos kilómetros de caminos pavimentados con distintos estándares, dos mil quinientos kilómetros corresponden a autopistas concesionadas, otros cuarenta y tres mil cuatrocientos kilómetros de caminos no pavimentados que tienen algún tipo de solución básica o capa de protección, granulado estabilizado o ripio y diecinueve mil cuatrocientos treinta y cinco kilómetros de caminos en tierra que presentan conectividad con pueblos o simplemente de uso forestal, agrícola entre otros. Tan solo en la región del Bío Bío existen trece mil cincuenta y cuatro kilómetros de caminos, de los cuales mil novecientos siete kilómetros están pavimentados. (Fuente: Cuenta pública 2010, Gobierno de Chile), bajo esta premisa, nace la inquietud de encontrar nuevas técnicas y productos que aumenten los estándares de nuestros caminos y reduciendo las mantenciones de los mismos.

Por otra parte, en el campo de la estabilización química de suelos ha habido un sin número de propuestas de estudio, con una variada calidad en los resultados, tomando en cuenta estos antecedentes, en conjunto con la distancia total de caminos sin ningún tipo de solución estabilizadora, nace la inquietud por estudiar el efecto que tiene la adición del químico GT-24X en suelos de subrasante.

1.2 Alcances

El enfoque de este estudio es medir, cuantificar y finalmente evaluar, a nivel de laboratorio, el efecto que tiene del químico GT-24X en suelos de subrasante que eventualmente podemos encontrar en la construcción de caminos, tomando en cuenta algunas recomendaciones citadas por el distribuidor y recomendaciones mencionadas en la norma NCH 2505 of 2001, con el fin de establecer un precedente al momento de implementar las mezclas de suelos con el aditivo GT-24X.

Al momento de realizar la experiencia, se consideró la dosificación óptima por el fabricante de un litro del químico en mil litros de agua y dos dosificaciones aleatorias de un litro del aditivo en 500 y 1500 litros de agua, con el fin de poner a prueba los criterios otorgados por el fabricante.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Analizar técnicamente la incorporación del aditivo GT-24X en suelos de subrasante de la provincia de concepción.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los suelos utilizados en el presente estudio.
- Evaluar la razón de soporte que presentan los suelos de subrasante con el aditivo GT-24X.
- Establecer una dosificación óptima del aditivo GT-24X en suelos de subrasante estudiados.

Capítulo 2: Antecedentes

En la actualidad, nacen proyectos totalmente ambiciosos que llevan consigo nuevos desafíos y metas, generando un interés en la industria de elaborar productos y materias primas que cumplan indistintamente con los más elevados requerimientos y a su vez impactar de la manera más discreta posible el medio ambiente.

Basado en lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de estudiar el comportamiento de nuevos productos, como las enzimas múltiples de origen orgánico de la cual está conformado el químico GT-24X, dando lugar a diversas investigaciones desarrolladas fundamentalmente en Estados Unidos, México, Canadá, Sur América y Asia (Baez, 2012), sin ir más lejos, en la universidad de Talca se han realizado experiencias con químicos de base enzimática (Espinoza, 2011). Tales investigaciones están basadas en la experimentación práctica, entregando una base fundamentada para desarrollar el presente estudio.

2.1 Estabilización química de suelos.

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado *estabilizador químico*, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias. (Nch 2505, 2001)

2.1.1 Estabilización con GT-24X.

La empresa Geoterra, tiene la representación exclusiva para Chile del producto siendo aprobado por el laboratorio Nacional de Vialidad por innovación tecnológica del MOP y el centro nacional del medio ambiente (MOP Ord 4729, 2005). El producto lleva más de 20 años de existencia en el mercado internacional y se ha desarrollado como una alternativa

económica y ecológica para estabilizadores de suelos tradicionales que han probado ser demasiado costosos o nocivos para el entorno.

GT-24X es una enzima múltiple compuesta de materias orgánicas. Es segura para el medio ambiente y ha sido utilizada para crear bases de carreteras estables usando técnicas existentes para construcción de vías en países como Estados Unidos, México, Canadá y muchos países de Sur América y Asia. (Baez, 2012)

El aditivo reduce la cantidad de agua que penetra en los materiales de la base de la carretera. Las observaciones han mostrado que debido a la densidad incrementada obtenida con este producto (si se mezcla y compacta adecuadamente) se reduce la permeabilidad y la reducción de polvo. (Baez, 2012)

El fabricante recomienda combinar el producto con materiales que contengan por lo menos un 10 a 17% de finos cohesivos que pasen por el tamiz #200 y un Índice de plasticidad entre 9 a 15. (Baez, 2012)

Al mezclar el químico con la porción de suelo, las enzimas que contiene el aditivo actúan como catalizadores debido a que la estructura de sus moléculas contienen partes activas que aceleran el proceso de aglutinamiento de las arcillas, esta acción genera una disminución de la relación de vacíos, ayudando a que las partículas del terreno puedan ser más densamente compactadas. (Baez, 2012)

2.1.2 Experiencias realizadas con estabilizadores de base enzimática y GT-24X.

Existe una diversidad de organismos comprometidos con el desarrollo sustentable de los países a los que pertenecen, entre los cuales se destacan universidades, empresas del sector privado, sub secretarías y ministerios de gobierno, entre otros. Sobre todo en la actualidad, donde la ejecución de proyectos viales para el sector forestal es altamente exigente.

En esta parte del documento se exponen algunos de los casos en los cuales se ha implementado la utilización de estabilizadores de base enzimática y experiencias que ha tenido la empresa Geoterra con la utilización del químico.

a. Factibilidad técnica y económica de Perma Zyme para la estabilización de suelos arcilloso en la ciudad de Talca. (Espinoza, 2011)

Para este caso, Perma Zyme es un estabilizador de base multi enzimática de origen orgánico, no contaminante el cual se recomienda aplicar a suelos con partículas finas que pasen por el tamiz #200 (sobre un 15% de finos) y un índice de plasticidad mayor al 10% requisitos muy similares al estabilizador GT-24X. En la experiencia que obtuvo el ingeniero constructor Marcelo Espinoza, se presentaron diversos parámetros a evaluar, en una primera instancia se compararon los límites de Atterberg arrojando una disminución en el límite líquido en un 2%, al contrario del límite plástico que se ve aumentado en un 1,4%, otorgando finalmente una disminución del índice de plasticidad del orden del 4% todo estos valores referidos al suelo natural. Ahora bien, en el ensayo proctor modificado el suelo presenta una disminución de la D.C.S y de la humedad óptima de 12 kg/m³ y 0,8% respectivamente. Concluyendo que las variaciones entregadas no son completamente significativas en la construcción de una base para un proyecto vial. Tomando en cuenta los gastos incurridos para aplicar el aditivo y las ventajas técnicas que proporciona Perma Zyme no se justifica el incremento del costo en el aumento de las propiedades mecánicas del suelo en estudio. Sin embargo, el producto se puede utilizar y obtener buenos resultados en caminos de poco tránsito, como lo son los caminos rurales dejando la carpeta de suelos con el aditivo como carpeta de rodado. En caminos agrícolas tiene mayor relevancia, ya que por las experiencias en terreno con el aditivo, este disminuye la polución y no es contaminante para las plantas.

b. Prueba estabilizador de carpeta de rodado en la provincia del Bio Bio. (Hernández 2010).

Respondiendo a la necesidad de estudiar el comportamiento del químico GT-24X en la ciudad de Los Ángeles, se desarrolla una experiencia organizada por la Dirección de vialidad del MOP, donde se considera un ancho de carpeta de 6 metros en una longitud de 200 metros, el suelo a trabajar es una base estabilizada con adición de un 4,44% de arcilla y empleando la dosis especificada por el fabricante de 1 litro del químico por 1000 litros de agua, las fechas de medición de la experiencia se inician el 14 de Abril del 2010 al 14 de Septiembre de ese mismo año. Los resultados obtenidos en esta investigación arrojaron que

el comportamiento de la carpeta no presentó alguna variación hasta el cuarto mes que se divisaron pequeñas deformaciones de aproximadamente 5mm de profundidad por un diámetro de 10cm, en una cantidad menor a 3 baches en toda su longitud. Una vez terminado el periodo de evaluación, se presentó un aumento en la cantidad de baches, donde se recurrió a realizar una pasada de motoniveladora para mitigar los imperfectos.

En el documento, el Ingeniero Daniel Hernández Neumann, jefe de conservación de la Provincia del Bio Bio, entrega su opinión de la experiencia, “Personalmente encuentro que el producto es una buena opción ya que no depende de preparación alguna, la podemos utilizar en cualquier época que se pueda rehacer una carpeta, y por otro lado es cómodo su transportabilidad, cumple con el propósito de mitigación del polvo (...) indicado por la asesoría de la empresa que lo ofrece, dejo la opción a que se hagan más pruebas en las distintas zonas de nuestra provincia u otras regiones para recoger otras opiniones al respecto”

2.2. Materiales de subrasante.

La subrasante es la capa donde se apoya la estructura del pavimento, siendo su función soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad del mismo.

Se entiende por subrasante, un material que generalmente está formado por el suelo natural existente en el sector en donde se construirá el camino, además debe cumplir con valores de CBR sobre el 3%, un bombeo comprendido entre un 2% y un 4% y presentar valores de expansión no superior al 5%.

2.2.1 Materiales de subrasante empleados.

El material granular utilizado para el presente estudio proviene de dos ubicaciones distintas, la primera, es de una vivienda del sector Lomas de san Sebastián, la segunda, corresponda a la construcción de departamentos “Terrazas de Collao”.

El material obtenido en la primera fuente corresponde a una arena arcillosa según clasificación USCS, de tamaño máximo 5mm con las propiedades aparentes de un material arcilloso, con nula presencia de grava y que actualmente es utilizado como relleno en la construcción de una vivienda unifamiliar en el mismo sector.

El material obtenido de la segunda fuente corresponde a un material comúnmente denominado “maicillo”, de tamaño máximo 5mm, con nula presencia de gravas, este material en la actualidad ha sido removido del lugar donde será emplazada la construcción “Terrazas de Collao”.

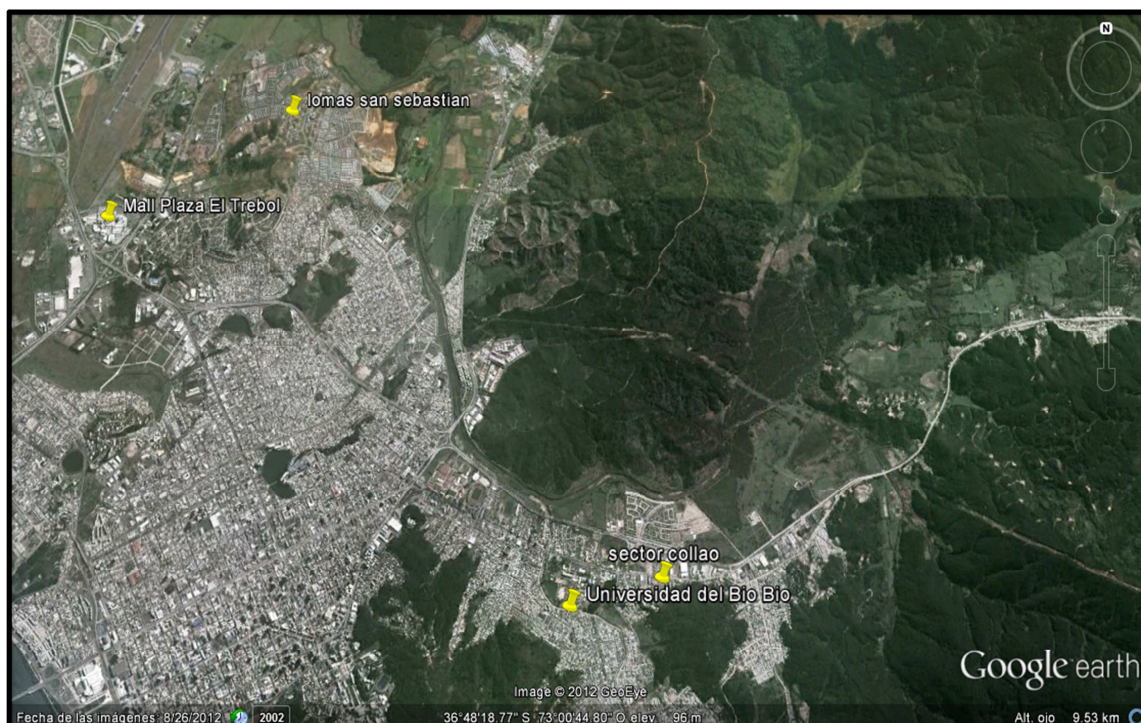


Figura 1: Ubicación geográfica de materiales empleados. Fuente: Google Earth.

Comúnmente, es posible asociar las características geológicas de cierto tipo de material según su procedencia, lo cual se cumple para las muestras extraídas, debido a que lo natural es hallar suelos de las características similares a las mencionadas en dichos sectores.

Capítulo 3: Desarrollo de la etapa experimental

La etapa experimental se llevó a cabo en dos laboratorios, por una parte se realizaron ensayos geomecánicos en dependencias de la Universidad del Bío Bío (Laboratorio de ciencias de la construcción) y algunos se realizaron en el laboratorio de la empresa constructora Claro Vicuña Valenzuela S.A., en la obra enlace colon, Talcahuano. Los ensayos fueron realizados en los meses de Septiembre y Diciembre del 2012.

3.1 Variables a investigar.

En el desarrollo de la parte experimental del presente estudio se identifica como variable fundamental el valor de la Razón de soporte de California (CBR). Sin embargo, existe una serie de variables asociadas a cada uno de los ensayos geomecánicos ejecutados, tales como plasticidad para la determinación de los límites de Atterberg, la humedad óptima y la densidad máxima compactada seca para el ensayo Proctor modificado.

El valor de las variables anteriormente señaladas se obtiene mediante ensayos estandarizados bajo la normativa Chilena vigente asociada a cada uno de ellos. Para el caso particular del ensayo CBR, se toma en consideración una validación del comportamiento del químico en los suelos estudiados, para ello se repetirán cinco veces los ensayos para cada tipo de suelo y para cada dosificación.

3.2 Configuraciones de mezcla entre suelo de subrasante y GT-24X.

Bajo el criterio de optimizar y visualizar el comportamiento del químico en las mezclas a ensayar, se planteó elaborar mezclas entre materias primas en base a porcentajes asociados a las cantidades de agua en cada mezcla, vale decir para una muestra en la cual se adicionará 1 litro de agua para el ensayo CBR, se agregara 1 ml del aditivo GT-24X, el cual será diluido previamente en la cantidad de agua a utilizar.

La elección de los porcentajes a utilizar, está referido entorno al óptimo que recomienda el fabricante el cual nos menciona una dosificación de 1000 litros de agua a 1 litro del aditivo y para poner a prueba el químico se implementan otras 2 dosificaciones, en el siguiente esquema se visualiza la nomenclatura empleada y las distintas dosificaciones.

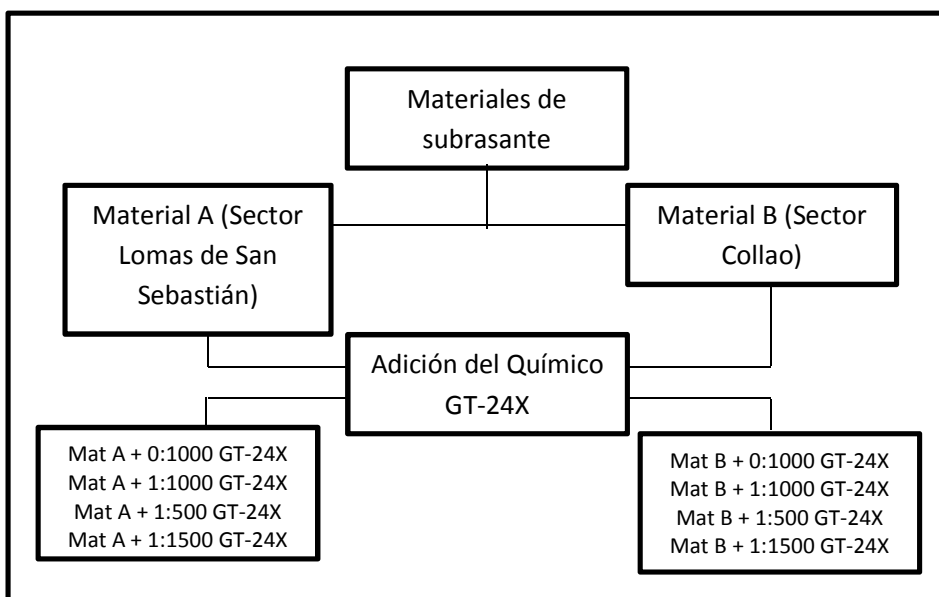


Figura 2: Configuraciones de mezcla GT-24X – Suelo Subrasante.

Fuente: elaboración propia.

3.3 Descripción de los ensayos geo mecánicos.

Para lograr establecer claramente el efecto sobre la razón de soporte de un suelo de subrasante que produce la adición del GT-24X, es necesario realizar una serie de ensayos, los cuales cumplen una función exclusiva en cuanto a la obtención de los parámetros necesarios para establecer una caracterización de las subrasantes en estudio y finalmente, determinar el valor de la razón de soporte según el ensayo CBR.

Los ensayos geomecánicos comienzan desde el momento en que se extraen las muestras de material granular, este procedimiento busca obtener muestras homogéneas de material de tal manera que las granulometrías observadas posteriormente no se encuentren influenciadas por el sistema de transportación del material, o bien por el sistema de acopio utilizado. Seguido de esto, comienzan los ensayos que describen la naturaleza del material entre los cuales se encuentra la determinación de la granulometría, la determinación de la humedad presente en el material, y la determinación de los límites de Atterberg.

En una etapa posterior, se ejecuta el ensayo Proctor Modificado, el cual tiene como objetivo establecer la relación entre humedad y densidad, en la que se observa el valor máximo de la densidad compactada seca, asociada a la humedad que propicia esta condición. Estas propiedades del material son el referente necesario para determinar el valor de la razón de soporte, ya que el ensayo CBR está referenciado tanto a la Densidad Máxima Compactada Seca (DMCS), como a la Humedad Óptima del material.

La ejecución de cada uno de los ensayos se justifica en la medida que todos aquellos procedimientos son indispensables para encontrar finalmente la condición en la cual es posible observar el valor de la razón de soporte más representativa de la muestra seleccionada.

3.3.1 Extracción de muestras:

Para la extracción de suelo de subrasante no existe una normativa asociada, por lo tanto solo se cumplió el requisito de pasar el estrato vegetal para que los suelos no tuvieran

presencia de materia orgánica, debido a que la capa vegetal siempre es erradica de los sitios donde será emplazada una obra.



Figura 3: Suelo Lomas de san Sebastián y Sector Collao respectivamente.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Método para determinar la granulometría

Este método permite determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,08mm, de una muestra de suelo que es tamizado mediante el procedimiento estandarizado por la noma NCh 165 of 77.

El procedimiento del ensayo consiste, bajo un ordenamiento secuencial, en pesar toda la muestra a ensayar para luego cortar la totalidad de la muestra en el tamiz correspondiente al tamaño máximo absoluto y registrar las dos fracciones resultantes. Luego, con la fracción de material que paso por el tamiz correspondiente al tamaño máximo absoluto especificado, se realiza un nuevo corte de material pero esta vez con el tamiz de abertura 5mm. Con la fracción que pasa por el tamiz 5mm se extrae una porción de 500 a 100g para luego practicar un lavado del material y con la fracción retenida se realiza el procedimiento de tamizado utilizando los tamices con abertura 150, 100, 80, 50, 40, 25, 10 y 5mm. Con la fracción que fue lavada se practica un tamizado con las mallas 2, 1, 0.5, 0.25 y 0.08mm. Finalmente se registran los pesos retenidos en cada tamiz y se calculan los porcentajes retenidos y porcentajes que pasan para cada abertura de tamiz.

3.3.3 Método para determinar el contenido de humedad.

El procedimiento se define bajo la norma NCh 1515 Of.79 y consiste en obtener una muestra de suelo húmedo, la cual es dispuesta en una capsula con masa previamente medida. Luego se registra la masa de la muestra húmeda con correspondiente capsula. Seguido, se dispone la muestra en un horno con temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta lograr masa constante.

Se registra la masa de la muestra seca junto con su capsula y se determina la humedad según la diferencia de masa entre muestra húmeda y muestra seca.

3.3.4 Método para determinar el límite líquido.

El procedimiento corresponde a lo dispuesto en la norma NCh1517/1. Of79. Consiste en obtener por cuarteo una muestra de 500g como mínimo, de material que pasa bajo el tamiz n°40. El procedimiento continúa mezclando la muestra con agua destilada de tal manera que las dos fases formen una pasta homogénea, posteriormente se deja reposar durante un periodo de curado según la plasticidad de la mezcla.

El procedimiento del ensaye, propiamente tal, consiste en moldear la muestra dentro de la taza, dividir la muestra dentro de la taza con un acanalador dejando una ranura. Seguido de esto se procede a golpear la cuchara de casa grande hasta lograr que ambas partes se junten. Al momento de producirse la unión entre las dos ranuras se registra la cantidad de golpes recibidos por la cuchara y se toma una pequeña muestra desde el punto donde se produce la unión entre ambas caras de la ranura para luego determinar la humedad a la cual se produjo la unión, reiterando este procedimiento 5 veces y estimar mediante un gráfico humedad versus cantidad de golpes el valor del límite líquido.

3.3.5 Método para determinar el límite plástico

Este procedimiento corresponde a lo dispuesto en la norma NCh 1517/2.Of79. Con la muestra acondicionada (posterior al proceso de curado anteriormente descrito), se extrae una porción de 1cm^3 que se amasa para formar un cilindro de 3mm aproximadamente y que logre un disgregamiento o rotura, de caso contrario se seguirá amasando.

Este procedimiento se repite dos veces más para lograr un total de tres muestras a las cuales se les determina la humedad. Con el promedio entre las tres humedades previamente determinadas se obtiene el valor del límite plástico.

Finalmente se calcula el índice de plasticidad, el cual se obtiene de la resta entre el límite líquido y límite plástico.

3.3.6 Método para determinar la relación humedad – densidad. Ensaye Proctor modificado

La norma que define el método corresponde a la NCh1534/2.Of.79. Es importante señalar que este método se aplica a muestras de suelo que presentan un porcentaje de material que pasa por la malla de abertura 0,08mm, mayor al 12% y que es consecuente con las granulometrías observadas para los dos tipos de material en estudio.

Para la ejecución de este ensaye, la normativa chilena permite la elección entre cuatro procedimientos alternativos, que difieren entre ellos según el diámetro del molde a utilizar y el tamaño de las partículas a ensayar. Para el caso de este estudio en particular se ha optado por realizar el ensayo según el método “A” especificado en la norma.

Según el método escogido, primero se seca la muestra y se somete a tamizado, descartando el material que queda retenido en la malla de abertura 5mm. Seguido, se separan cinco porciones de masa determinada y luego, cada fracción es humectada con agua suficiente para que la humedad correspondiente a cada fracción varíe aproximadamente en dos puntos porcentuales y que se encuentren en torno a la humedad optima del material.

Con la porción ya humectada, se deja un periodo de curado suficiente para lograr una mezcla homogénea entre las fases líquida y sólida; con la porción de material ya humectada se continúa con el proceso de compactación normalizado, en cinco capas independientes. Terminada la compactación, se procede a registrar la masa del molde con material dentro y se calcula la densidad seca del material dentro del molde.

Cada porción de muestra arroja un par ordenado de densidad seca y humedad que finalmente describen una curva en la cual, el valor más alto de densidad seca calculada representa la densidad máxima compactada seca (DMCS) y la humedad correspondiente a la densidad anterior, corresponde a la humedad óptima.

3.3.7 Método de ensaye CBR - Razón de soporte de California.

Dentro de los ensayos y procedimientos que abarca este estudio, el que tiene mayor relevancia en cuanto a la información que entrega, es el ensayo CBR que se encuentra estandarizado bajo la norma NCh 1852.Of81. En beneficio de la comprensión de los procedimientos asociados a este parámetro, se señalan los pasos más importantes y que permiten formar un encadenamiento global de la sucesión de actividades.

A grandes rasgos, el método consiste en registrar la presión necesaria para lograr una penetración de 1/2" de profundidad dentro de un molde cilíndrico que contienen el suelo en estudio, mediante un pisón normalizado. Para definir el valor de porcentaje CBR se debe comparar la presión requerida para la misma deformación o penetración anteriormente mencionada, con la presión requerida para lograr la deformación de 1/2" en el material normalizado, se le asigna el 100% del CBR.

Para lograr la obtención del índice CBR es necesario realizar una secuencia de pasos que parte con el acondicionamiento de tres porciones de material (Suelo de Subrasante – GT-24X y Solo Subrasante) según la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor modificado, luego, cada una de las muestras es compactada dentro de moldes normalizados, según distintas energías de compactación que están determinadas por la cantidad de golpes practicados con un pisón de masa y altura de caída determinadas. Luego del proceso de

compactación practicado a las tres porciones se procede a determinar la densidad del material contenido en cada uno de los moldes. Seguido, los moldes son sometidos a inmersión (bajo agua) durante 96 horas bajo la acción de sobrecargas que simulan el efecto que provoca el material base y el pavimento de un camino. Posterior al proceso de inmersión de los moldes compactados, el ensaye continua con la penetración de los moldes en condición saturada mediante un pisón que es accionado por una gata normalizada la cual permite registrar las magnitudes de deformación del material dentro del molde, y la presión necesaria para lograr las deformaciones mencionada.

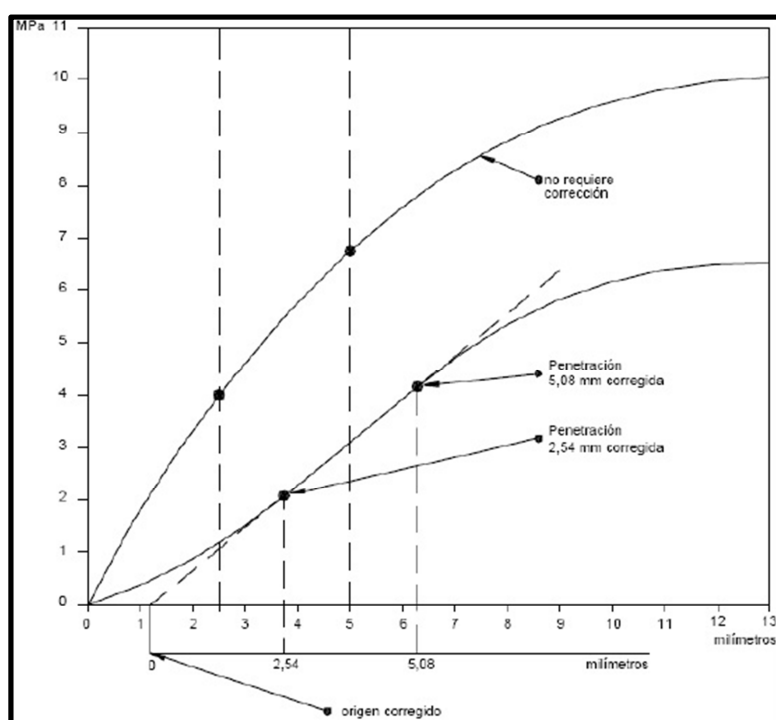


Figura 4: Ejemplo Gráfico Tensión v/s Penetración. Fuente: Manual de carreteras Vol. 8.

Existen casos en los cuales la normativa permite obtener el valor del índice CBR según la carga asociada a una deformación de 5,08mm, tomando como tensión normal (patrón de comparación) el valor de 10,3 MPa. Tal es el caso de los materiales ensayados en el presente estudio.

Con los registros de tensiones y sus deformaciones asociadas es posible elaborar las curvas de tensión v/s penetración y la de CBR v/s Densidad, mencionadas curvas son las que finalmente permiten obtener el valor del índice CBR.

De las Primeras curvas (tensión v/s penetración), es posible obtener el registro de la tensión asociada a una penetración de 0,2” o bien, 5,08mm para luego compararla con la tensión patrón que representa el 100% de la capacidad de soporte. Es importante mencionar que, según la tendencia que describen los registros de tensión y penetración para los tres moldes en forma independiente, se realizan ciertas correcciones sobre el punto desde donde se comienza a reconocer el comportamiento predominante en el material ensayado.

Posteriormente se determina la relación entre la tensión asociada a la penetración de cada uno de los tres moldes y la tensión del suelo patrón. Con esta información y con el valor de la densidad correspondiente a cada uno de los moldes luego de su compactación, se elabora la curva de CBR v/s Densidad, la cual asocia el valor del índice CBR, obtenido de la comparación entre las tensiones observada y el patrón definido previamente, con la densidad seca de cada uno de los molde.

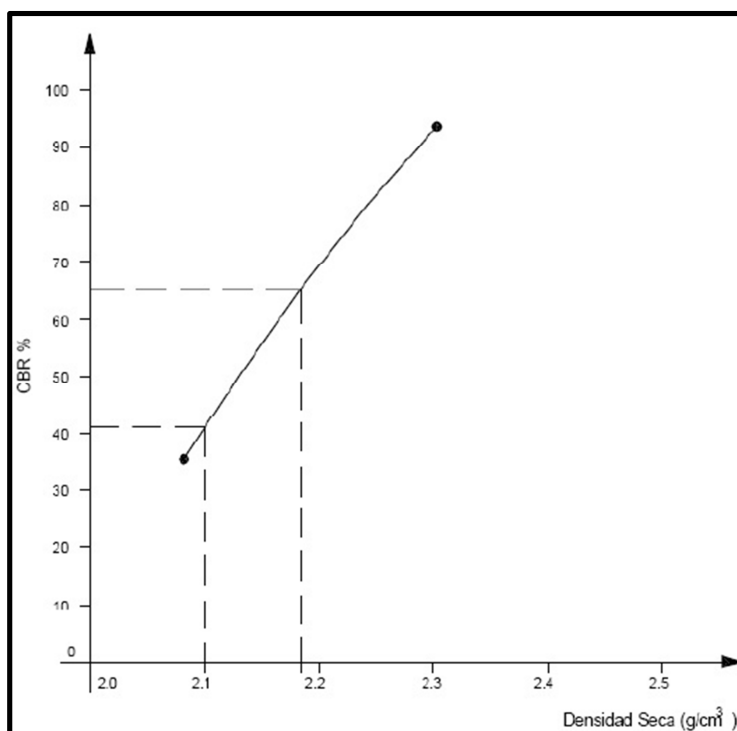


Figura 5: Ejemplo Gráfico CBR v/s Densidad seca. Fuente: Manual de carreteras Vol. 8

Finalmente, con los tres puntos formados por valores de CBR y densidad seca de cada molde, se traza una curva que pasa por los tres puntos correspondientes a cada uno de los moldes, esta curva es llama, curva CBR v/s Densidad, para la cual se busca el valor del

CBR asociado al 95% de la densidad máxima compactada seca (DMCS) obtenida en el ensayo proctor modificado.



Figura 6: Materiales, Materias primas, compactación y penetración moldes CBR.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.8 Validación estadística.

Para validar el comportamiento del químico GT-24X en los distintos tipos de suelos y las distintas dosificaciones se plantea realizar un estudio estadístico, debido a que no se cuenta con datos de comportamiento del químico para los distintos tipos de suelos y para las distintas dosificaciones, se desarrollan 5 ensayos para cada combinación, con el fin de

obtener una tendencia de comportamiento del aditivo y poder asumir un tipo de distribución normal.

Acto seguido de obtener los resultados, se emplea el criterio “Prueba de hipótesis sobre la igualdad de dos medias, varianzas conocidas” (Montgomery, 1996) donde se plantea una hipótesis nula llamada $H_0: \mu_1 = \mu_2$ la cual se evaluara con una hipótesis unilateral $H_1: \mu_1 > \mu_2$, donde μ_1 es el valor promedio de CBR de una de las dosificaciones y μ_2 es el valor promedio de CBR del suelo natural. La evaluación de las hipótesis es mediante el siguiente estadístico de prueba que entrega el autor:

$$Z_0 = \frac{\mu_1 - \mu_n}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_n^2}{n_2}}}$$

Ecuación 1: Estadístico de prueba de hipótesis sobre igualdad de dos medias, varianzas conocidas. (Montgomery, 1996)

Además, se asumirá un valor de significación de $\alpha=0,05$ (valor comúnmente empleado para estos casos). Finalmente, se rechazara la hipótesis nula siempre y cuando el valor del estadístico de prueba (Z_0) sea mayor que $Z_\alpha = 1,645$ (según tabla de distribución normal estándar acumulada para una probabilidad del 95% de ocurrencia) de caso contrario se aceptara la hipótesis nula.

Y por otro lado, se necesita probar si la selección del tamaño de la muestra es la adecuada para el estadístico de prueba empleado, mediante el empleo de las curvas características de operación (CO) y la siguiente ecuación

$$d = \frac{\mu_1 - \mu_n}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_n^2}}$$

Ecuación 2: Abscisa del grafico Vic “Curvas características de operación” (Montgomery, 1996)

Luego asumir una probabilidad de ocurrencia de la hipótesis H_1 de 90%, teniendo estos dos valores se intersectan en la gráfica para determinar cuál es la cantidad de ensayos que debemos realizar para validar nuestro estudio.

La resolución del criterio y las fórmulas empleadas se adjuntan en el punto 7.3 del anexo de este estudio.

Capítulo 4: Análisis de Resultados

El presente capítulo muestra un análisis de los resultados obtenidos a través de los distintos ensayos a los cuales fueron sometidas las materias primas en estudio. El análisis se extiende desde la identificación y clasificación de los materiales ensayados hasta la interpretación de los valores, gráficos y tendencias observadas para las distintas configuraciones de mezcla sometidas a pruebas y ensayos.

4.1 Clasificación de materiales de rasante A y B (Mat. A y Mat. B)

La clasificación de los materiales corresponde a los criterios comúnmente utilizados en mecánica de suelos para determinar o estimar la conveniencia en la utilización del material en estudio, considerando que las características principales de los materiales finos es el tamaño de sus partículas, límite líquido y índice de plasticidad. En conformidad de lo anterior, se presentan dos tipos de clasificación que toman como referencia la distribución de tamaños de las partículas que muestra el análisis por tamizado en conjunto con los límites de Atterberg, finalmente los tipos de clasificación son el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS) y el sistema propuesto por la AASHTO.

4.1.1 Material de rasante tipo A (Mat. A)

Para el caso del material tipo A, que corresponde al suelo de sector Lomas de San Sebastián, cabe mencionar que se trata de un material que se encuentra bajo el tamiz 3/8" en su tamaño máximo, con una granulometría que se clasifica según AASHTO como A-2-7 (Gravas y arenas limosas o arcillosas), y por otra parte, dados el límite líquido de un 52% e índice de plasticidad de 13,57% la clasificación USCS arroja una SC (Arena Arcillosa).

Cabe mencionar que el material no presenta dificultad alguna en moldearlo y realizar los ensayos relativos a la determinación de los límites de Atterberg, absorbiendo gran cantidad de agua para ello. Al manipular el material se ha podido apreciar un grado no despreciable de cohesividad, su comportamiento con presencia de agua es similar a una plastilina.

4.1.2 Material de rasante tipo B (Mat. B)

En el caso del material tipo B del sector Collao, se puede mencionar que se trata de un material con tamaño máximo 3/8", con una granulometría que se puede identificar como A1-b (Gravas y arenas), y por otra parte, según USCS como SP (Arena pobremente graduada).

Este tipo de material es muy común encontrarlo en la región, se conoce por el nombre de maicillo, haciendo la salvedad que en este suelo en particular no se presentan gravas, pero las partículas que componen el suelo son fácilmente pulverizables.

Al manipular el material tipo B se ha podido apreciar que consecuente con su naturaleza, la resistencia que ofrece a los esfuerzos mecánicos es visualmente menor, en comparación con el material tipo A. Por otra parte, en el material tipo B presenta solo límite líquido (39%) y no es posible moldearlos en bolitas sin que presente fisuras en su superficie.

4.2 Análisis de Ensayos geo mecánicos.

4.2.1 Ensayos de materiales sin aditivo GT-24X.

Los materiales empleados en el estudio muestran diferencias en todos los aspectos posibles, a pesar de tratarse de un material con tamaño máximo 3/8" para los dos casos. En particular, para el material tipo A se mostró un valor de CBR promedio de 10%, además un valor de la DMCS equivalente a 1526.97 Kg/cm³, lo que en términos generales es un precedente regular, considerando los órdenes de magnitud usualmente utilizados en subrasantes. Por otra parte, el material exhibe un gran contenido de suelo que pasa por el tamiz #40 (75%) y en conjunto con las facilidades mostradas en el ensayo para determinar los límites de atterberg, podemos hablar de un material fundamentalmente arcilloso.

Referente a la capacidad de soporte, en los 5 ensayos realizados al material tipo A se denotan valores que oscilan en el 10%, siendo un 8% el valor más bajo registrado, este último se obtuvo por un mal enraizado de la superficie el cual favoreció a la absorción de

agua y disminución de su capacidad de soporte, pero en general el material en si presenta una poca variabilidad en este ensayo, otorgando una desviación estándar de un 1%

En el caso del material tipo B es posible encontrar una menor proporción de material que pasa bajo el tamiz #40 (49%), debido a esto, se desarrolla una mayor DMCS de 1986.31kg/cm^3 pero no en la capacidad de soporte (CBR promedio 11%). Además este tipo de material exhibe un comportamiento más variado en la razón de soporte, denotando valores que fluctúan entre el 9 y 14%, arrojando una desviación estándar de 2%. Esta mayor variabilidad la podemos asociar a la naturaleza de las partículas, ya que el maicillo proviene de la desintegración o meteorización de la roca granítica y al estar sometido a esfuerzos mecánicos sus partículas tienden a desintegrarse.

4.2.2 Ensayos de mezclas: GT-24X – material de subrasante

Al realizar las dosificaciones con el aditivo GT-24X, el agua de amasado se transforma en un jaboncillo mostrando una leve película de espuma en su superficie, pero que a simple vista no denota ningún cambio radical en los suelos estudiados, esto sucede para todas las configuraciones antes descritas. Ahora bien, en la ejecución de los ensayos de Proctor y CBR con el material tipo A, se muestra un suelo más íntegro y con mayor cohesividad y así lo demuestran los resultados de los ensayos. Por otro lado, en el material tipo B no existe cambio alguno, por lo tanto, se verifica la premisa del fabricante señalando que el material trabaja con materiales plásticos arcillosos.

Dentro de un marco mucho más específico, la densidad máxima compacta seca (DMCS) muestra un incremento con la adición del químico y una disminución de la humedad en todas sus dosificaciones, pero a su vez no se exhiben cambios contundentes entre dosificaciones, esto para el material tipo A. En el material tipo B no ocurre lo mismo, se muestra un comportamiento un poco más aleatorio entre mezclas, que de todos modos no logra en ningún momento sobrepasar la DMCS del suelo natural. Ahora bien, si nos enfocamos en las humedades óptimas, en el material A se observa una leve disminución en la humedad, alrededor de dos puntos porcentuales en las dosificaciones de 1/1000 y 1/500,

en cambio para el material tipo B, se presentan humedades muy próximas entre el suelo natural y las distintas dosificaciones. Estos comportamientos antes descritos se pueden visualizar en las siguientes gráficas:

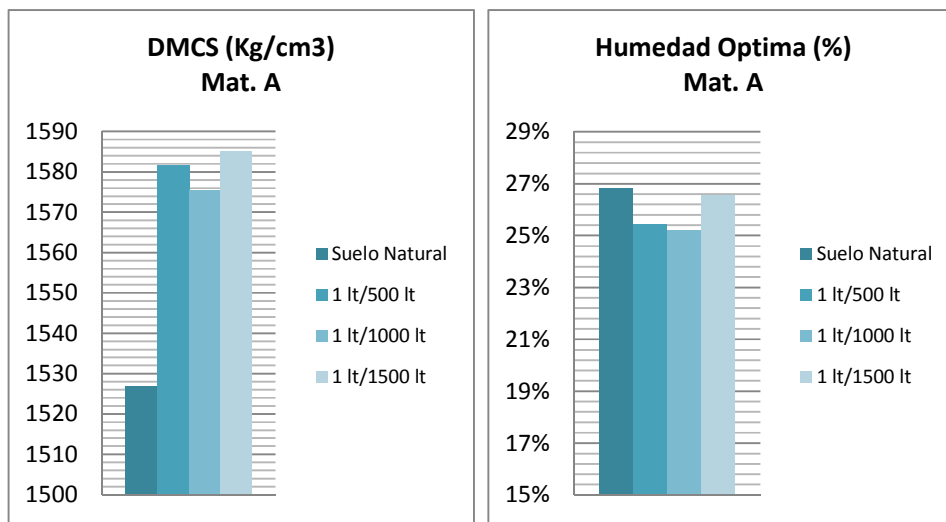


Figura 7: DMCS y Humedad Optima en las distintas dosificaciones (Mat A).

Fuente: Elaboración Propia.

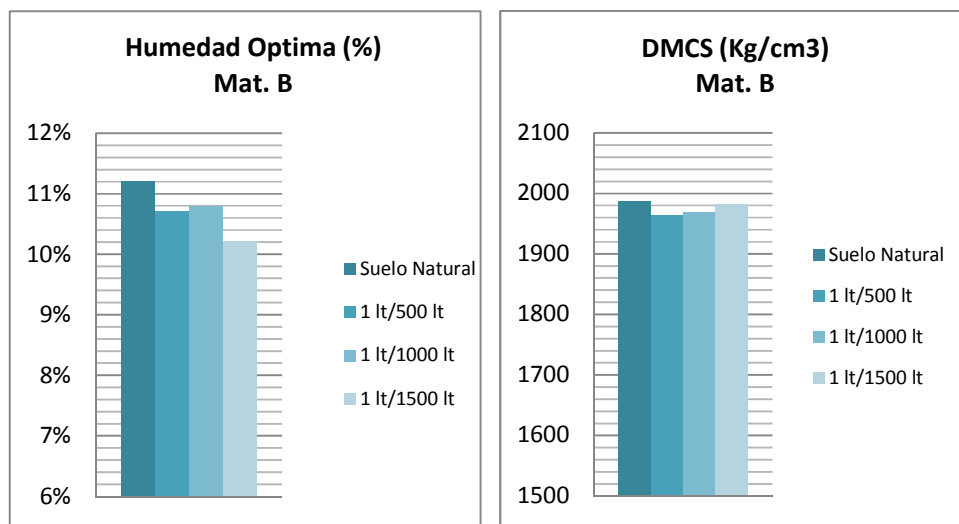


Figura 8: DMCS y Humedad Optima en las distintas dosificaciones (Mat B).

Fuente: Elaboración Propia.

El parámetro fundamental de los ensayos ejecutados y del presente informe es el valor de la razón de soporte de california o ensayo CBR en el cual se puede apreciar, a grandes rasgos,

que la adición del químico GT-24X, en el material A, genera un incremento en la capacidad de soporte media en todas las dosificaciones, aunque existen valores en las dosificaciones de 1/1000 y 1/1500 (14%) que sobresalen del promedio pero podemos adjudicarlo a la presencia de partículas más resistentes que se encuentran justo bajo el pisón de penetración. Por lo tanto, el incremento del valor del CBR se ve influenciado por la presencia del químico, aunque no se demuestra claramente si a mayor cantidad de químico mayor es el valor de CBR, más bien, en la dosificación 1/500, se marca la tendencia que genera el químico en este tipo de suelo (12%).

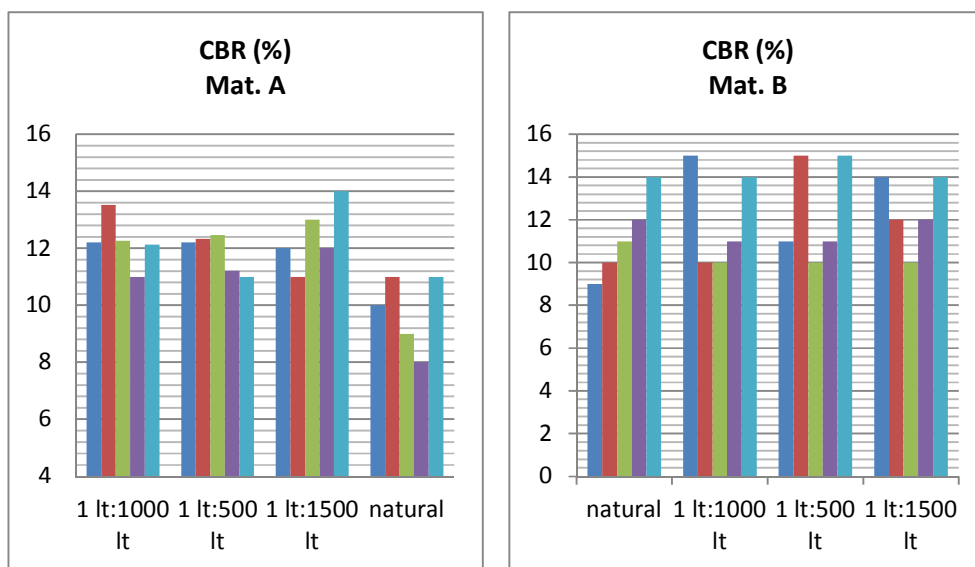


Figura 9: Valores de CBR para las distintas dosificaciones (mat A y B).

Fuente: Elaboración Propia

Por el contrario, en el material tipo B no se distingue una tendencia en el aumento de la capacidad de soporte, los valores en todas las dosificaciones fluctúan entre los 10 y 15%, generando una desviación estándar de 2%, aunque en este caso el promedio de los valores de CBR aumentan en un punto porcentual (11%) en todas las dosificaciones, no se puede verificar el claro desempeño que tiene el químico en este tipo de suelo.

Considerando el comportamiento de los distintos suelos en presencia de las dosificaciones empleadas, tanto en las DMCS, humedades óptimas y valores de CBR, se plantean las siguientes conjeturas:

- I. Considerando la cantidad de material que pasa por el tamiz #40 exhibida en la granulometría y los elevados valores de plasticidad del material A, este tipo de material se ve influenciado por la acción catalizadora de las enzimas presentes en el químico GT-24X, que generan un aglutinamiento de las partículas arcillosas aumentando en 50Kg/cm^3 aproximadamente la DMCS, y disminuyendo en 2 puntos porcentuales la humedad óptima, a su vez, en el CBR se corrobora la acción descrita aumentando en un valor promedio de 2% en la capacidad de soporte.
- II. Para el material arcilloso (tipo A), no se muestra una clara evidencia en el aumento de las propiedades geomecánicas para menor o mayor dosificación, mas bien se denota la tendencia de este a un valor promedio 12%, lo que se deduce que el suelo, en la manera que se eligió la implementación del químico (elegir las proporciones de acuerdo a la cantidad de agua), no presentara una mayor acción catalizadora que la expuesta por la dosificación óptima (1lt:1000lt).
- III. En el material tipo B, la adición del químico no presenta una clara funcionalidad, esto debido a la procedencia del suelo y sus características plásticas, por lo tanto la acción catalizadora no se produce. La aleatoriedad de los resultados mostrados en el ensayo CBR, más bien se deben a la fractura de las partículas sólidas, ya sea al momento de compactar las distintas capas o al momento en donde se penetra la probeta.

4.3 Validación Estadística.

En este punto se pondrán a prueba los resultados obtenidos con la finalidad de rechazar o aceptar la funcionalidad del químico GT-24X en los distintos tipos de suelos y sus distintas dosificaciones según el criterio “Prueba de hipótesis sobre la igualdad de dos medias, varianzas conocidas”.

Para el Material tipo A se probó que la hipótesis nula fue rechazada aceptando la segunda hipótesis antes mencionada con un valor de probabilidad de ocurrencia de un 99,91%, lo cual nos indica que el aditivo GT-24X incrementa la capacidad de soporte de un suelo tipo SC de las características antes mencionadas en un 2% respecto de su condición natural, por otro lado también se logró validar el tamaño de la muestra para este mismo tipo de suelos.

Por el lado contrario, en el material tipo B se mantiene la hipótesis nula la cual menciona que el promedio de los CBR de las distintas dosificaciones es igual al promedio de los valores de CBR para su condición natural y la cantidad de ensayos para poder validar la hipótesis (H_1) es de 100 muestras, lo que implica la imposibilidad de validar el comportamiento de este tipo de suelos con la adición del aditivo.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Considerando los ensayos geomecánicos a los que han sido sometidas las distintas configuraciones de mezcla entre suelos y el químico GT-24X, es posible inferir acerca de los efectos que genera la inclusión del aditivo de origen enzimático, en cuanto al comportamiento geomecánico desarrollado frente a una serie de ensayos que tienen por finalidad determinar la capacidad de soporte de un material, utilizando un parámetro conocido, representado por la resistencia de un tipo de suelo en estudio y que se refleja en el porcentaje CBR.

Según los ensayos preliminares a los que fueron sometidos ambos tipos de materiales se puede definir al material tipo A como una arena arcillosa que presenta índice de plasticidad de un 13.57%, límite líquido de 52% y con una razón de soporte equivalente al 10% del CBR. El material tipo B queda caracterizado como una Arena pobremente graduada que presenta un límite líquido de 39% y no presenta índice de plasticidad y con una razón de soporte equivalente al 11% del CBR.

La tendencia predominante en el comportamiento de las mezclas entre materias primas, para el caso del material A, es al alza en la razón de soporte de California entregando un valor promedio de 12% en todas sus combinaciones, lo que confirma la interacción del químico GT-24X con suelos tipo arena arcillosos.

En el caso del material tipo B, en promedio la razón de soporte fue de un 12% en todas las mezclas de materias primas y entregando valores de hasta un 15% del valor de CBR, en este tipo de suelos el comportamiento fue más aleatorio, esto debido a la procedencia del tipo de suelo, ya que algunas de sus partículas se pulverizaban fácilmente, esto generaba que las lecturas de CBR no tuviesen una clara tendencia. Este tipo de suelos no presentaba ninguna reacción con la adición del químico GT-24X, confirmando la premisa del fabricante que solo trabajan con materiales plástico arcillosos.

Profundizando acerca del comportamiento de cada dosificación y la adición del químico óptima, se observa que el material tipo A en todas sus dosificaciones tiene el mismo

resultado de valor de soporte CBR con una variabilidad del 1%, lo que evaluado estadísticamente, según el criterio entregado por Montgomery, este incrementa en un 2% el valor de la razón de soporte califonia con una probabilidad de ocurrencia del 99,91%, pero que a su vez no permite probar cual es la dosificación optima debido a la similitud de los resultados. Ahora bien para el caso del material tipo B, no fue posible validar el comportamiento del suelo con el aditivo ni sus dosificaciones óptimas, debido a que su probabilidad de ocurrencia es de solo un 78,52% en que este incremente la razón de soporte en un 1%.

5.2 Recomendaciones

- I. Es preciso señalar que el alcance de los resultados correspondientes a los ensayos ejecutados a los materiales en estudio están acotados a la procedencia de cada uno de ellos, vale decir, no es posible generalizar acerca de todos los materiales utilizables como subrasante. Por lo tanto, como primera recomendación, se plantea realizar nuevos estudios que permitan esclarecer y generalizar el comportamiento de los diferentes tipos de suelos utilizables como subrasante, con respecto a su capacidad o razón de soporte.

- II. Se recomienda realizar una línea investigativa que aclare la capacidad de disminuir el polvo en suspensión presente en caminos de tierra. Esto debido a su poder aglutinante que presenta el aditivo.

6. Bibliografía.

1. Raul Valle Rodas. Carreteras, Calles y Aeropistas. Principios generales de la mecánica de suelos aplicados a la pavimentación y métodos para el cálculo de pavimentos flexibles. Editorial "El ateneo" Buenos Aires. Sexta Edición.
2. Douglas C. Montgomery y George C. Runger. Probabilidad y Estadística aplicada a la ingeniería, Editorial McGraw-Hill.
3. Rico, Alfonso y Del Castillo, Hermilo. La ingeniería de suelos en las vías terrestres, Carreteras, ferrocarriles y aeropistas. Volumen 1 y 2. Editorail Limusa, Reimpresión 1978.
4. Nch1517/1Of79, Mecánica de Suelos - límites de Consistencia - parte 1: determinación del límite líquido. 14 febrero 1979. Ministerio de obras públicas. Chile.
5. Nch1517/1Of79, Mecánica de Suelos - límites de Consistencia - parte 1: determinación del límite plástico. 26 febrero 1979. Ministerio de obras públicas. Chile.
6. Nch1532.Of80, Mecánica de Suelos – determinación de la densidad de partículas sólidas. 20 diciembre 1980. Ministerio de obras públicas. Chile.
7. Nch1534/2Of79, Mecánica de Suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5kg y 460mm de caída. 1 octubre 1979. Ministerio de obras públicas. Chile.
8. Nch165.Of77, Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría. 15 marzo 1976. Ministerio de obras públicas. Chile.
9. Nch1852Of81, Mecánica de Suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio. 26 febrero 1979. Ministerio de obras públicas. Chile.

10. Nch515.EOf79, Mecánica de Suelos - Determinación de la Humedad. 22 diciembre 1978. Ministerio de obras públicas. Chile.
11. Nch 2505 Of2001, Estabilización química de suelos – Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo. 28 de diciembre del 2000. Ministerio de obras públicas.
12. Espinoza, Marcelo. Tesis (Proyecto de título para optar al título profesional de Constructor Civil) “Factibilidad técnica y económica de Perma Zyme para la estabilización de suelo arcilloso en ciudad de Talca”. Talca, Chile. Universidad de Talca. Escuela de Construcción. 2011.
13. Meneses Fuentes, Hernan A. Tesis (Proyecto de título para optar al título profesional de Ingeniero Civil) “Efecto del empleo de cenizas de biomasa sobre la razón de soporte en carpetas granulares de rodadura”. Concepción, Chile. Universidad del Bio Bio. Departamento de Ingeniería Civil. 2011.
14. Manual de Carreteras Volumen 8, “Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control”, Edición 2012. Ministerio de Vialidad.

7. ANEXOS.

Tablas de resultados.

7.1 Ensayos geo mecánicos.

Descripción de Material: Sector Lomas San Sebastián (Mat. A)				
Granulometría				
Peso muestra total seca a tamizar (g):				221
Abertura (mm)	Tamiz	Retenido		Pasa (%)
		Peso (g)	(%)	
5	4	3	1	99
2	10	12	5	93
1	20	18	8	85
0.5	40	23	10	75
0.25	60	28	13	62
0.08	200	79	36	26
	residuo	58	26	0
Clasificación AASHTO			Clasificación USCS	
Clasificación:		A-2-7	Clasificación:	
IG:		0	Cu:	
			Cc:	
Humedad Natural				
Capsula		77		
Tara		139	Gr	
Peso húmedo más tara		751	Gr	
Peso seco más tara		624	Gr	
Peso Húmedo		612	Gr	
Peso seco		485	Gr	
Peso Agua		127	Gr	
Humedad		26.18	%	

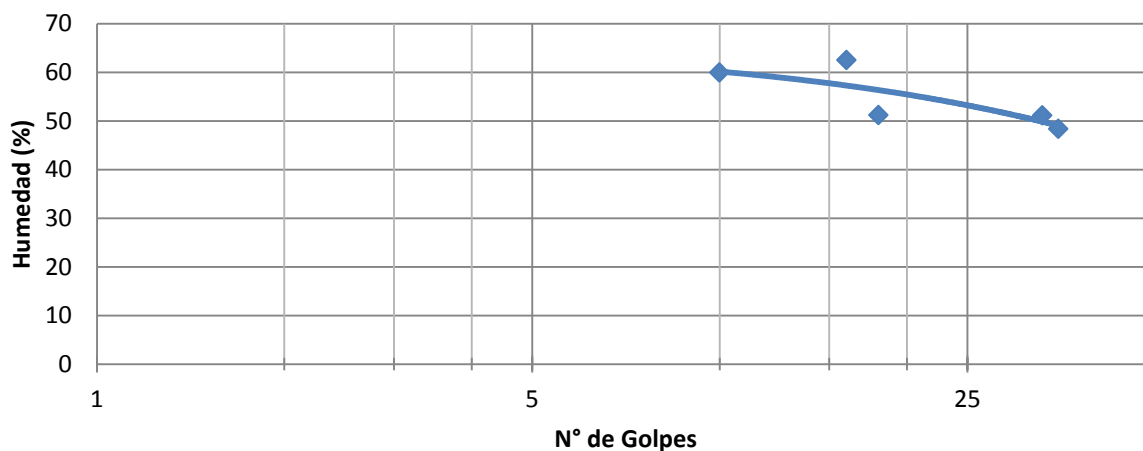
Descripción de Material: Sector Collao (Mat. B)				
Granulometría				
Peso muestra total seca a tamizar (g):				790
Abertura (mm)	Tamiz	Retenido		Pasa (%)
		Peso (g)	(%)	
5	4	46	6	94
2	10	117	15	79
1	20	81	10	69
0.5	40	159	20	49
0.25	60	249	32	17
0.08	200	122	15	2
	residuo	16	2	0
Clasificación AASHTO			Clasificación USCS	
Clasificación:		A1-b	Clasificación:	
IG:		0	Cc: 7,57	
			Cu: 0,62	
Humedad Natural				
Capsula		1		
Tara		1410	gr	
Peso húmedo más tara		2608	gr	
Peso seco más tara		2438	gr	
Peso Húmedo		1198	Gr	
Peso seco		1028	Gr	
Peso Agua		170	Gr	
Humedad		16.54	%	

DETERMINACIÓN DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat A)

Ensaye N°	Limite Liquido					Limite Plástico		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Capsula N°	3	LL2	B	13	5A	150	80	24
N° de golpes	10	18	35	33	16	-	-	-
Peso capsula + suelo húmedo (g)	26.3	27.43	29.45	32.85	30.53	16.28	26.1	17.42
Peso capsula + suelo seco (g)	21.82	23.06	25.88	29.88	27.48	16	25.35	17.02
Peso Capsula (g)	14.35	14.52	18.5	24.07	22.6	15.28	23.38	15.98
Peso del agua (g)	4.48	4.37	3.57	2.97	3.05	0.28	0.75	0.4
Peso del suelo seco (g)	7.47	8.54	7.38	5.81	4.88	0.72	1.97	1.04
Humedad (%)	59.973	51.171	48.374	51.119	62.5	38.889	38.071	38.462

Curva de Fluidez



Limite Liquido (%)
52%

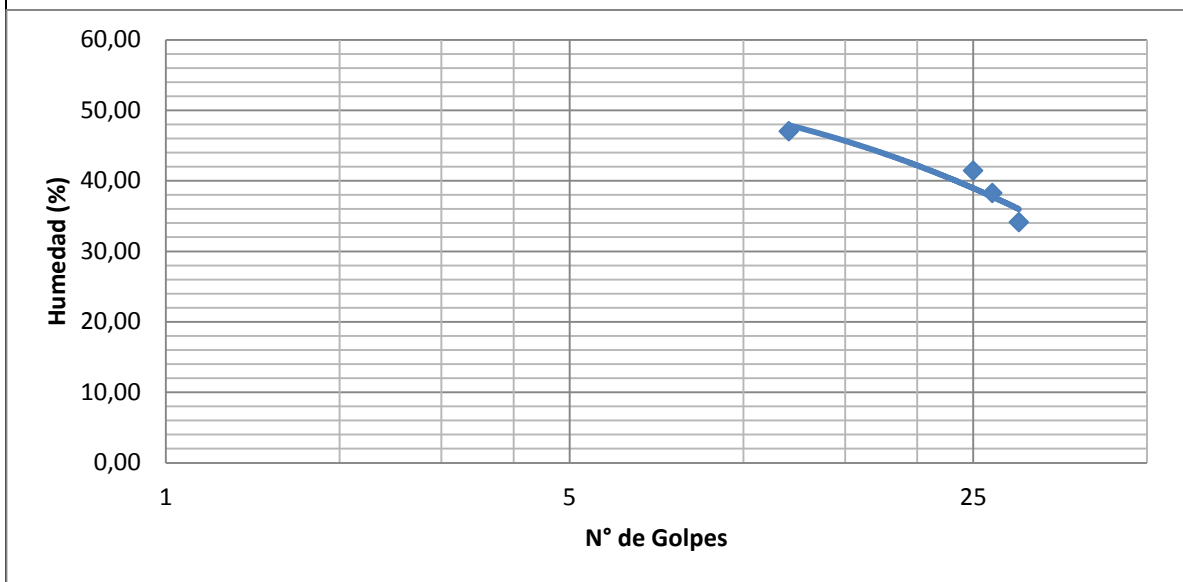
Limite Plástico (%)
38,43%

Índice de Plasticidad (%)
13,57%

DETERMINACIÓN DE LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Ensaye N°	Limite Liquido				Limite Plástico		
	1	2	3	4			
Capsula N°	30	45	P	12A			
N° de golpes	12	25	27	30	-	-	-
Peso capsula + suelo húmedo (g)	25.72	23.61	22.55	24.18			
Peso capsula + suelo seco (g)	23.77	21.57	21.43	22.66			
Peso Capsula (g)	19.62	16.64	18.5	18.2			
Peso del agua (g)	1.95	2.04	1.12	1.52			
Peso del suelo seco (g)	4.15	4.93	2.93	4.46			
Humedad (%)	46.99	41.38	38.23	34.08			



Limite Liquido (%) 39%	Limite Plástico (%) No presenta	Índice de Plasticidad (%) No presenta
---------------------------	------------------------------------	--

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)

Volumen del molde: 946 cm³

Peso del Molde: 1.601 kg

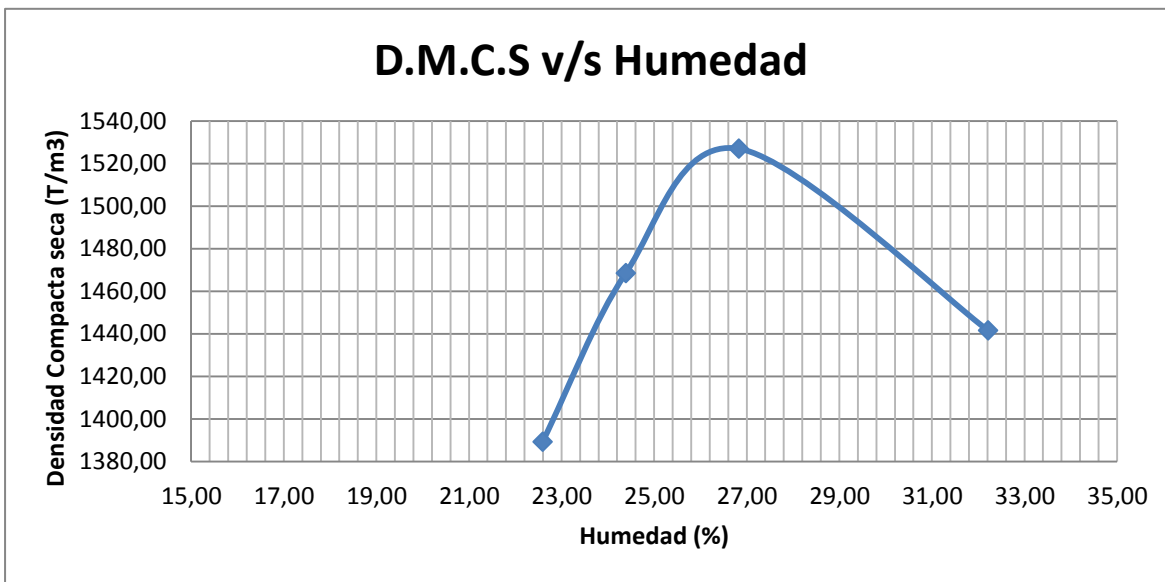
	Densidad Seca				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	2	4	6	10	
Molde + suelo + agua (g)	3212	3329	3433	3404	
Molde (g)	1601	1601	1601	1601	
Suelo + agua (g)	1611	1728	1832	1803	
Suelo (g)	1314.15	1389.20	1444.51	1363.72	
Densidad Seca (g/cm ³)	1389.17	1468.50	1526.97	1441.57	

	Humedad				
Capsula	62	RM-8	27	CE-5	
Tara + suelo + agua (g)	229.81	272.53	282.24	273.27	
Tara + suelo (g)	204.66	239.27	241.78	239.77	
Tara (g)	93.32	102.89	90.95	135.77	
Suelo (g)	111.34	136.38	150.83	104	
Agua (g)	25.15	33.26	40.46	33.5	
Humedad (%)	22.59	24.39	26.82	32.21	

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)



Densidad Máxima Compacta Seca: 1526.97 Ton/m3
Humedad Optima: 26.82 %

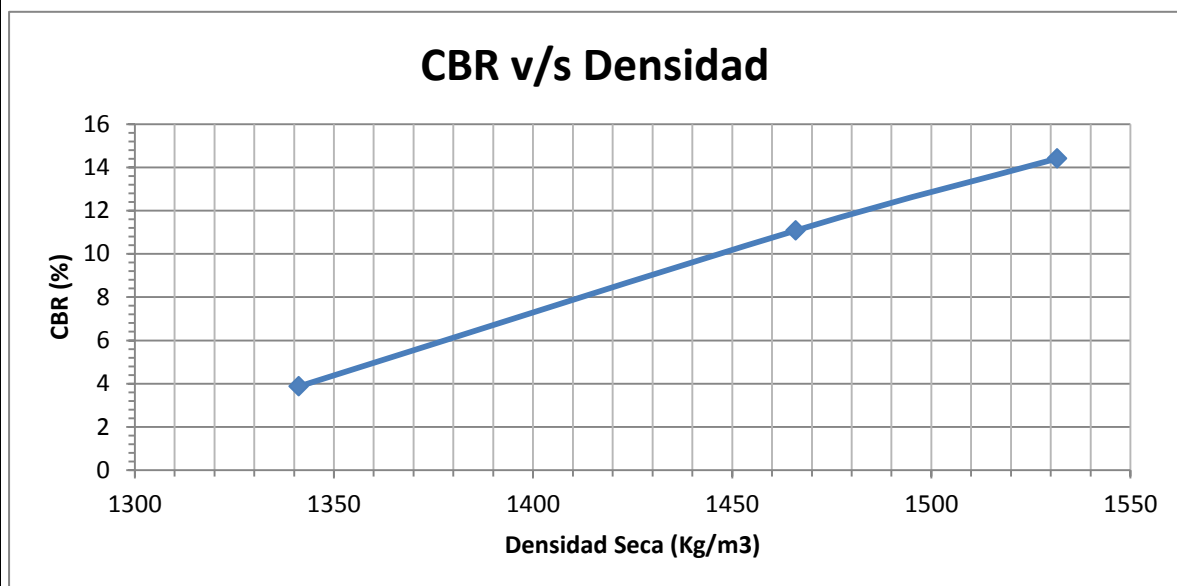
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)

Ensayo N° 1

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-8	MAE-7	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2114.1	2124.3	2118.4
Molde (g)	5215	5142.5	5082
Molde + suelo + agua (g)	8811	9092	9197
Suelo + agua (g)	3596	3949.5	4115
Humedad (%)	26.82	26.82	26.82
Densidad seca (kg/m ³)	1341	1466	1532
Razón de soporte (%)	3.87	11.08	14.41



D.M.C.S.: 1526.97 (kg/cm³)
 Humedad optima: 26.82
 D.M.C.S. al 95%: 1450.619 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 10%

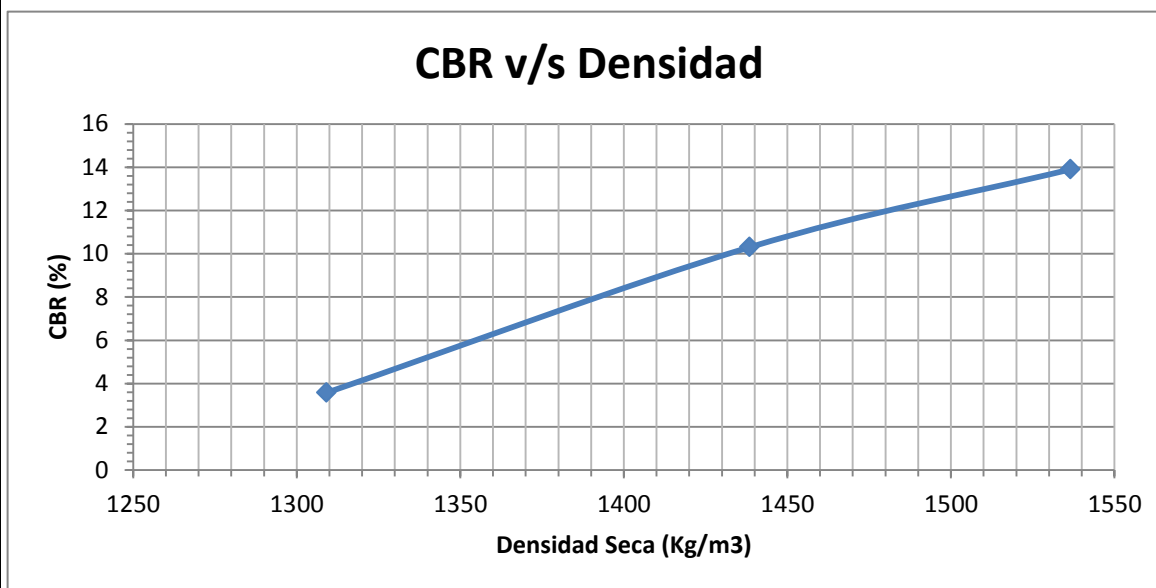
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)

Ensayo N° 2

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	8768	8910	9240
Suelo + agua (g)	3581	3887	4143
Humedad (%)	26.82	26.82	26.82
Densidad seca (kg/m ³)	1309	1438	1536
Razón de soporte (%)	3.57	10.3	13.9



D.M.C.S.: 1526.97 (kg/cm³)

Humedad optima: 26.82

D.M.C.S. al 95% 1450.619 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 10%

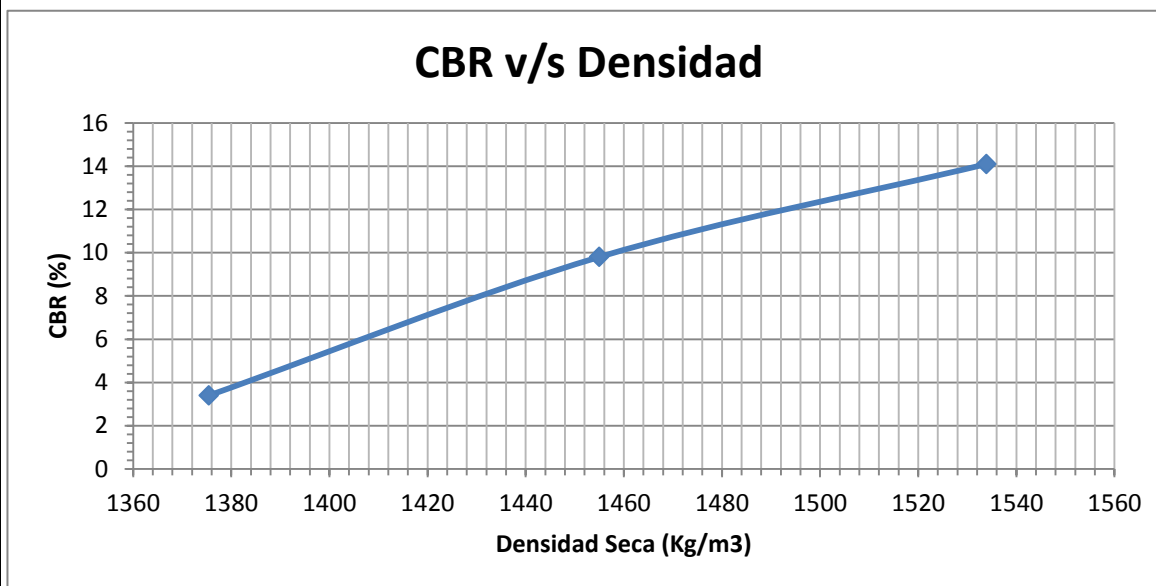
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	8879	9084	9191
Suelo + agua (g)	3732	3910	4101
Humedad (%)	26.82	26.82	26.82
Densidad seca (kg/m ³)	1375.46	1455.01	1533.96
Razón de soporte (%)	3.4	9.8	14.1



D.M.C.S.: 1526.97 (kg/cm³)

Humedad optima: 26.82

D.M.C.S. al 95% 1450.619 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 9%

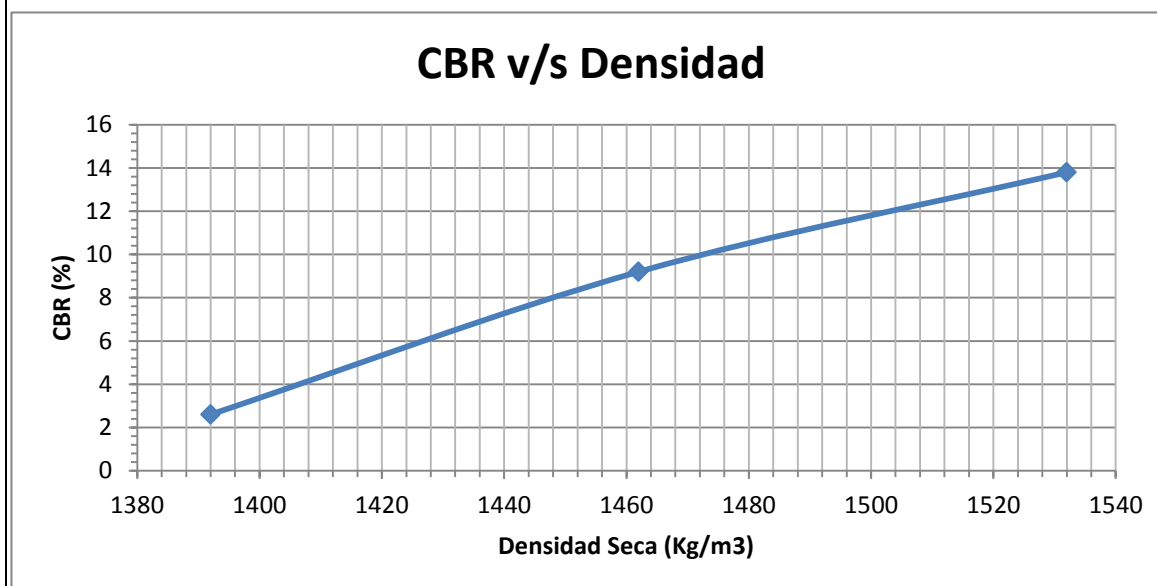
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	8893	9135	9198
Suelo + agua (g)	3750	3920	4116
Humedad (%)	26.82	26.82	26.82
Densidad seca (kg/m ³)	1392.00	1462.00	1532.00
Razón de soporte (%)	2.6	9.2	13.8



D.M.C.S.: 1526.97 (kg/cm³)

Humedad optima: 26.82

D.M.C.S. al 95% 1450.619 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 8%

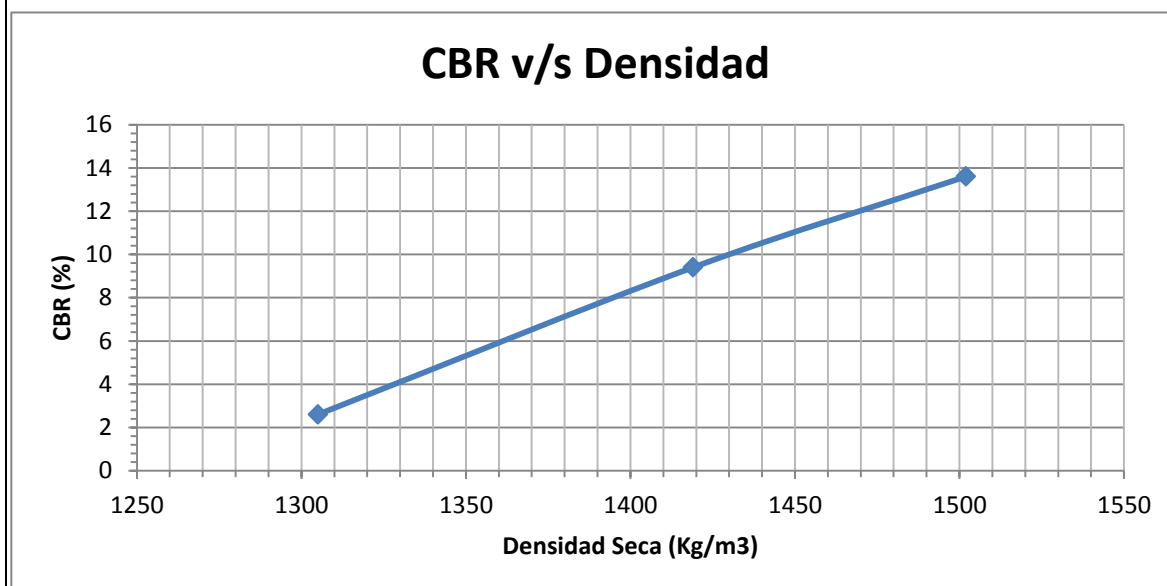
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	8757	8858	9147
Suelo + agua (g)	3570	3835	4050
Humedad (%)	26.82	26.82	26.82
Densidad seca (kg/m ³)	1305.00	1419.00	1502.00
Razón de soporte (%)	2.6	9.4	13.6



D.M.C.S.: 1526.97 (kg/cm³)
 Humedad optima: 26.82
 D.M.C.S. al 95%: 1450.619 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 11%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

Volumen del molde: 946 cm³

Peso del Molde: 1601 Gr

	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	18	20	22	21	25
Molde + suelo + agua (g)	3383.5	3415	3449	3478	3481.5
Molde (g)	1601	1601	1601	1601	1601
Suelo + agua (g)	1782.5	1814	1848	1877	1880.5
Suelo (g)	1451.46	1460.17	1487.54	1496.28	1475.81
Densidad Seca (Kg/cm ³)	1534.32	1543.52	1572.45	1581.69	1560.05

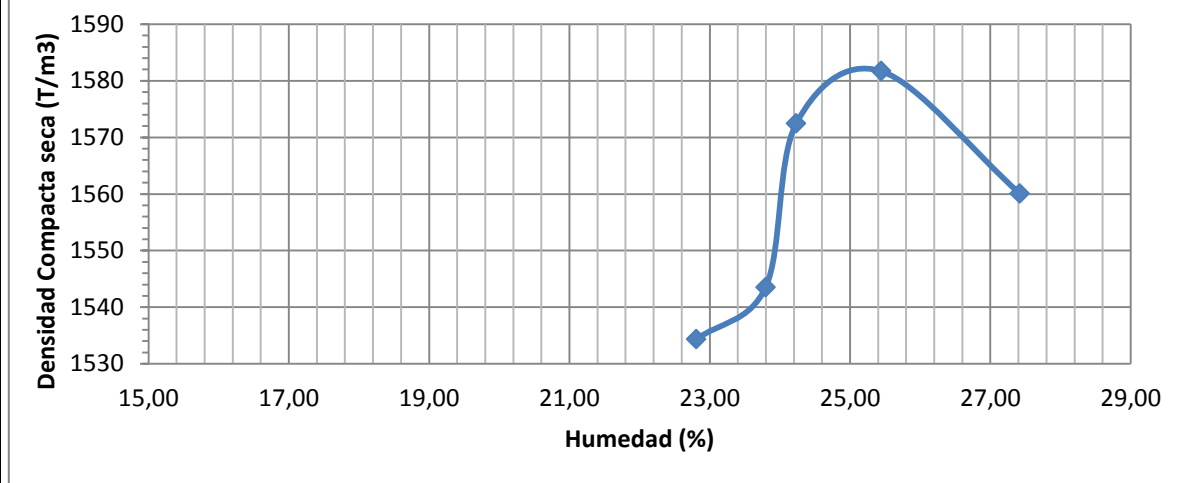
	Humedad				
Capsula	26	RM-7	21	6	100
Tara + suelo + agua (g)	241.8	272.7	266.6	164.35	230.3
Tara + suelo (g)	215.8	239.58	234.26	146.47	204.54
Tara (g)	101.8	100.4	100.8	76.2	110.6
Suelo (g)	114	139.18	133.46	70.27	93.94
Agua (g)	26	33.12	32.34	17.88	25.76
Humedad (%)	22.81	23.80	24.23	25.44	27.42

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

D.M.C.S v/s Humedad



Densidad Máxima Compacta Seca: 1581.69 Ton/m³

Humedad Óptima: 25.44 %

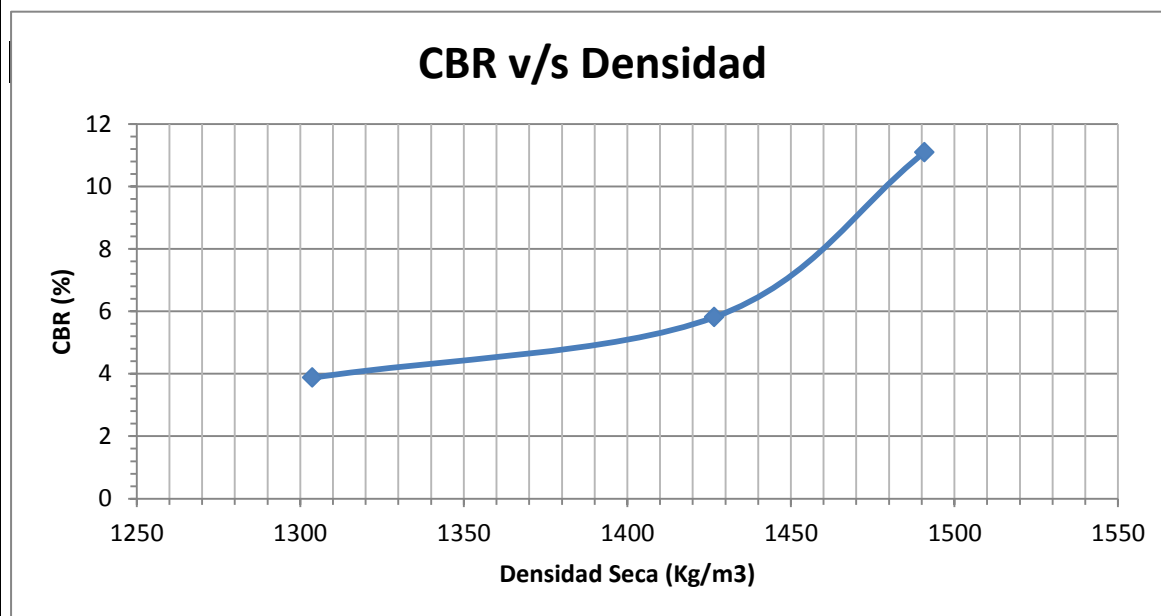
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

Ensayo N° 1

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-3	MAE-2	MAE-1
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2126.1	2130.7	2157
Molde (g)	5097	5023	5187
Molde + suelo + agua (g)	8574	8836	9221
Suelo + agua (g)	3477	3813	4034
Humedad (%)	25.44	25.44	25.44
Densidad seca (Kg/m ³)	1304	1427	1491
Razón de soporte (%)	4	6	11



D.M.C.S.: 1581.69 (kg/cm³)

Humedad optima: 25.44

D.M.C.S. al 95% 1502.603 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

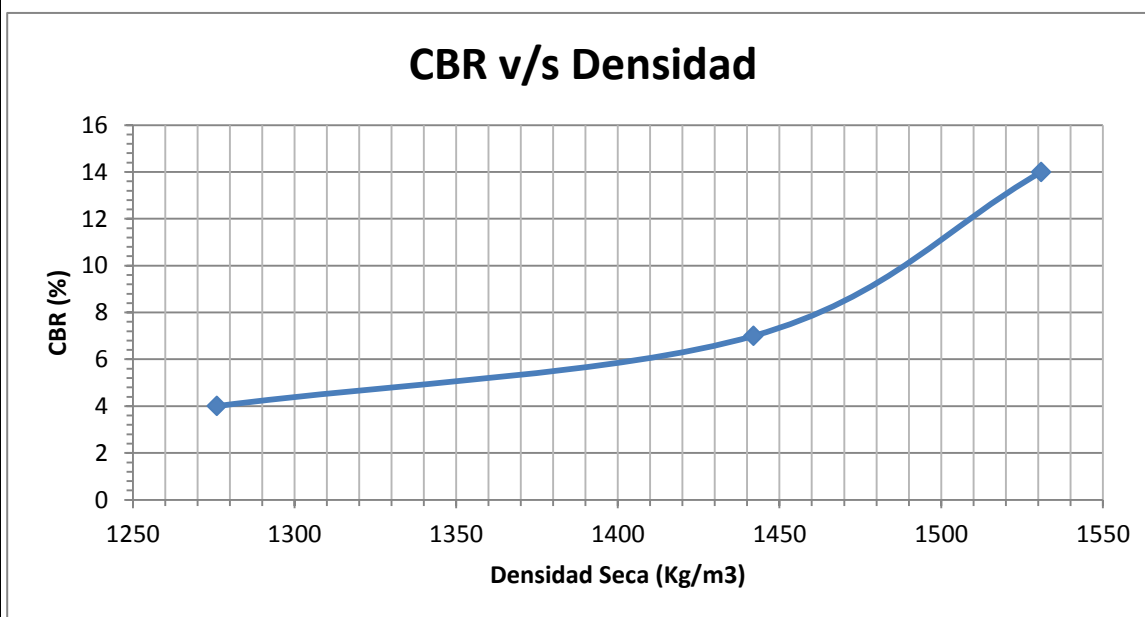
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

Ensayo N° 2

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	8543	9039	9151
Suelo + agua (g)	3400	3824	4069
Humedad (%)	25.44	25.44	25.44
Densidad seca (Kg/m ³)	1276	1442	1531
Razón de soporte (%)	4	7	14



D.M.C.S.: 1581.69 (kg/cm³)
 Humedad optima: 25.44
 D.M.C.S. al 95% 1502.606 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 12%

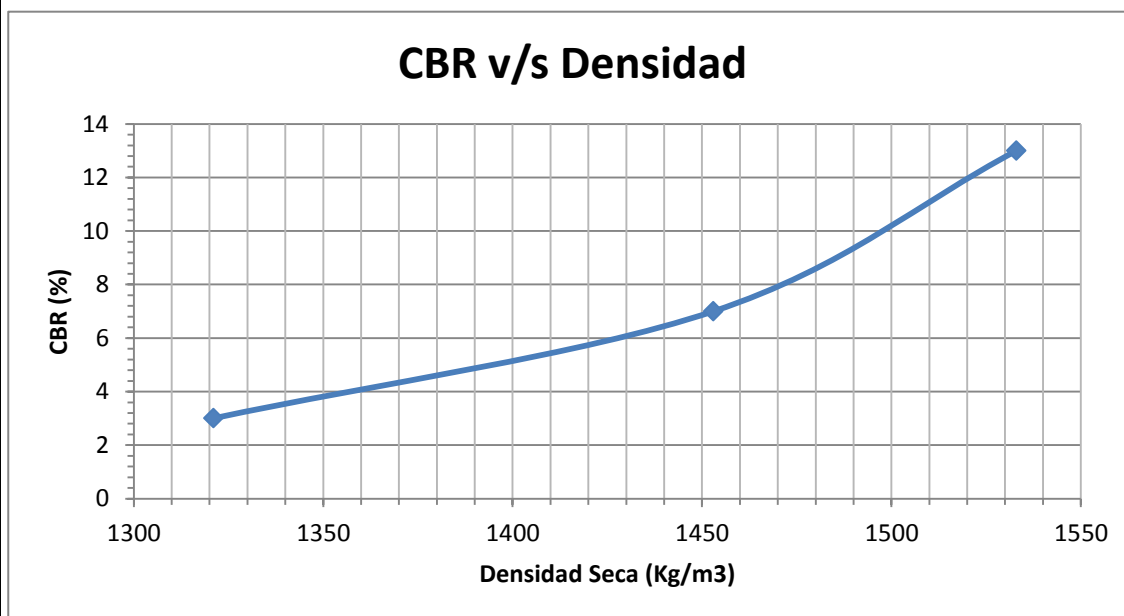
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	8761	8907	9186
Suelo + agua (g)	3574	3884	4089
Humedad (%)	25.44	25.44	25.44
Densidad seca (Kg/m ³)	1321	1453	1533
Razón de soporte (%)	3	7	13



D.M.C.S.: 1581.69 (kg/cm³)
 Humedad optima: 25.44
 D.M.C.S. al 95% 1502.606 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 11%

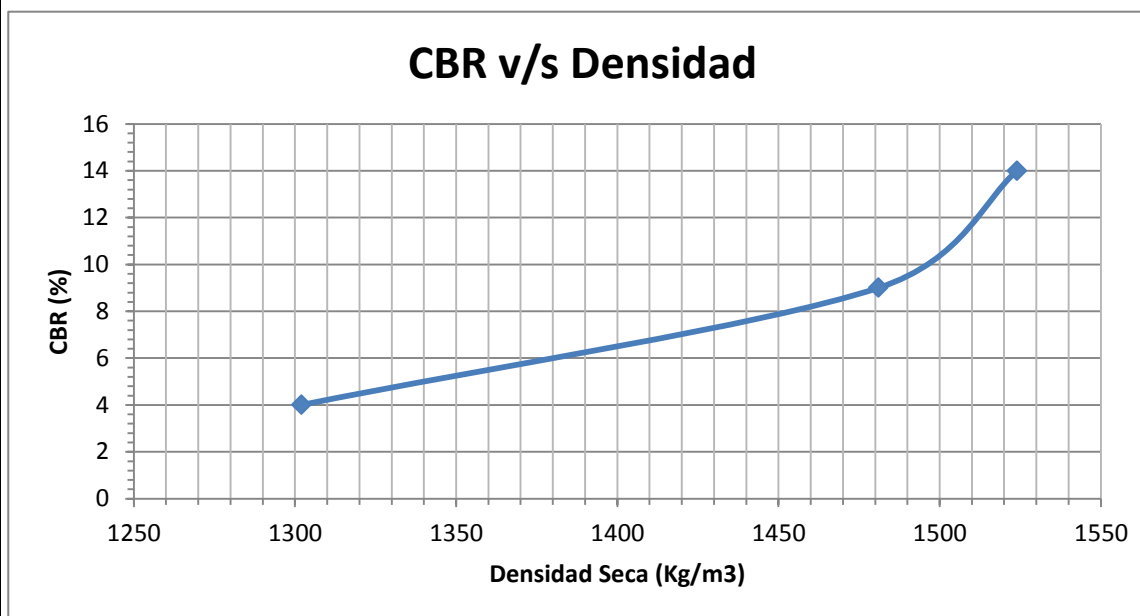
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	8641	9111	9120
Suelo + agua (g)	3494	3937	4030
Humedad (%)	25.44	25.44	25.44
Densidad seca (Kg/m ³)	1302	1481	1524
Razón de soporte (%)	4	9	14



D.M.C.S.: 1581.69 (kg/cm³)
 Humedad optima: 25.44
 D.M.C.S. al 95% 1502.606 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 11%

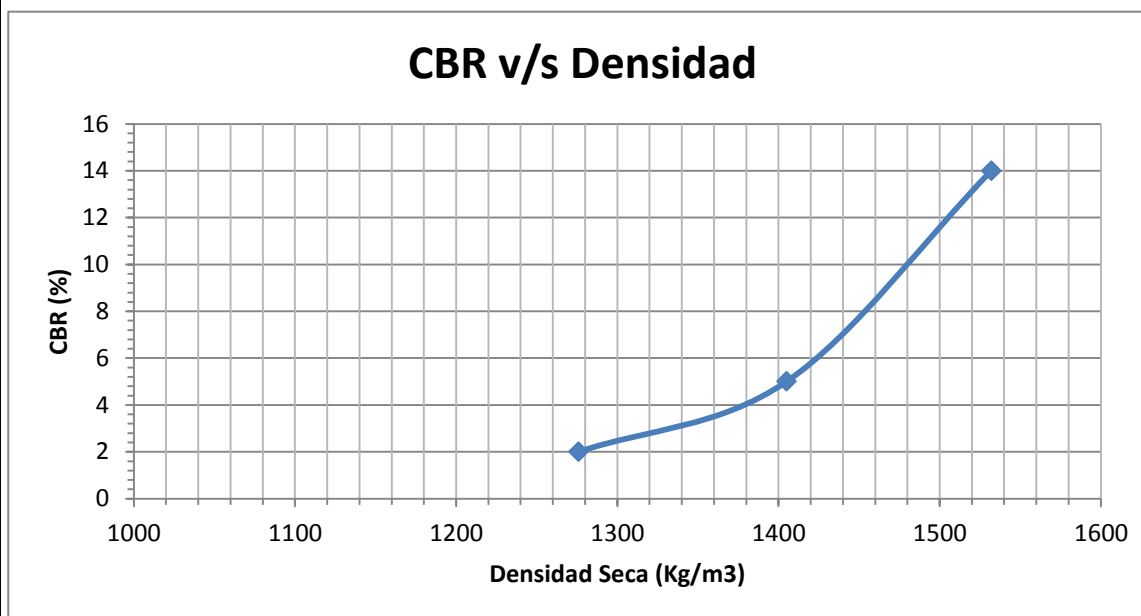
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:500)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	8543	8941	9153
Suelo + agua (g)	3400	3726	4071
Humedad (%)	25.44	25.44	25.44
Densidad seca (Kg/m ³)	1276	1405	1532
Razón de soporte (%)	2	5	14



D.M.C.S.: 1581.69 (kg/cm³)
 Humedad optima: 25.44
 D.M.C.S. al 95% 1502.606 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 12%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1000)

Volumen del molde: 946 cm³

Peso del Molde: 1601 g

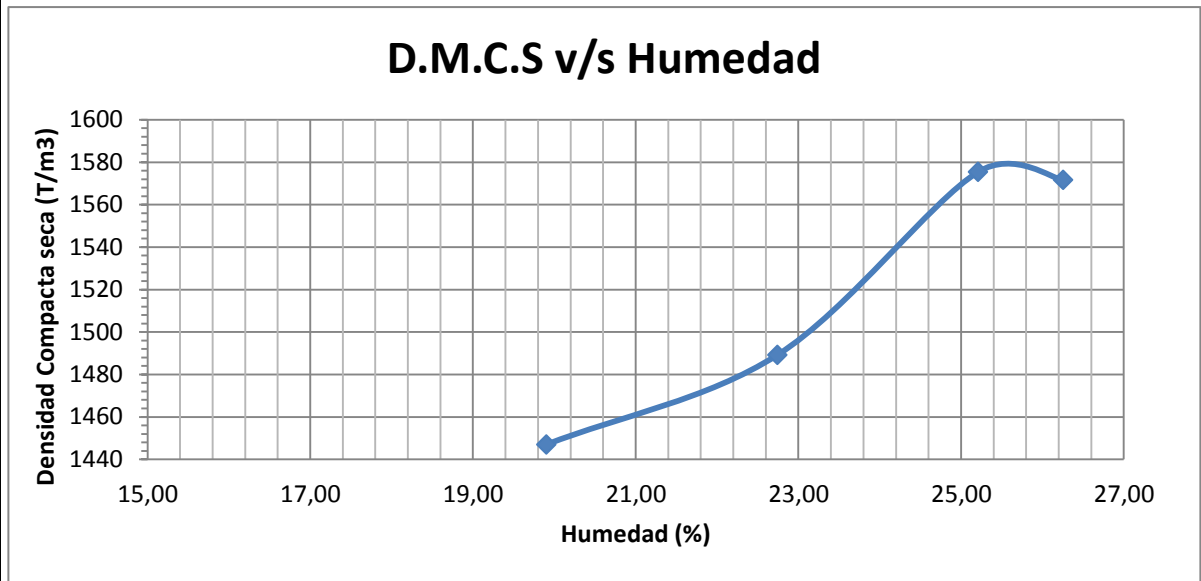
	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	14	16	18	20	
Molde + suelo + agua (g)	3391	3330	3467	3478	
Molde (g)	1729	1601	1601	1601	
Suelo + agua (g)	1662	1729	1866	1877	
Suelo (g)	1386.16	1408.68	1490.31	1486.68	
Densidad Seca (g/cm ³)	1446.93	1489.09	1575.38	1571.55	
	Humedad				
Capsula	22	22	33	7	
Tara + suelo + agua (g)	367.87	253.89	236.4	595.12	
Tara + suelo (g)	329.54	232.22	208.6	502.39	
Tara (g)	136.92	136.92	98.32	149.19	
Suelo (g)	192.62	95.3	110.28	353.2	
Agua (g)	38.33	21.67	27.8	92.73	
Humedad (%)	19.90	22.74	25.21	26.25	

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1000)

D.M.C.S v/s Humedad



Densidad Máxima Compacta Seca: 1575.38 Ton/m3
Humedad Optima: 25.21 %

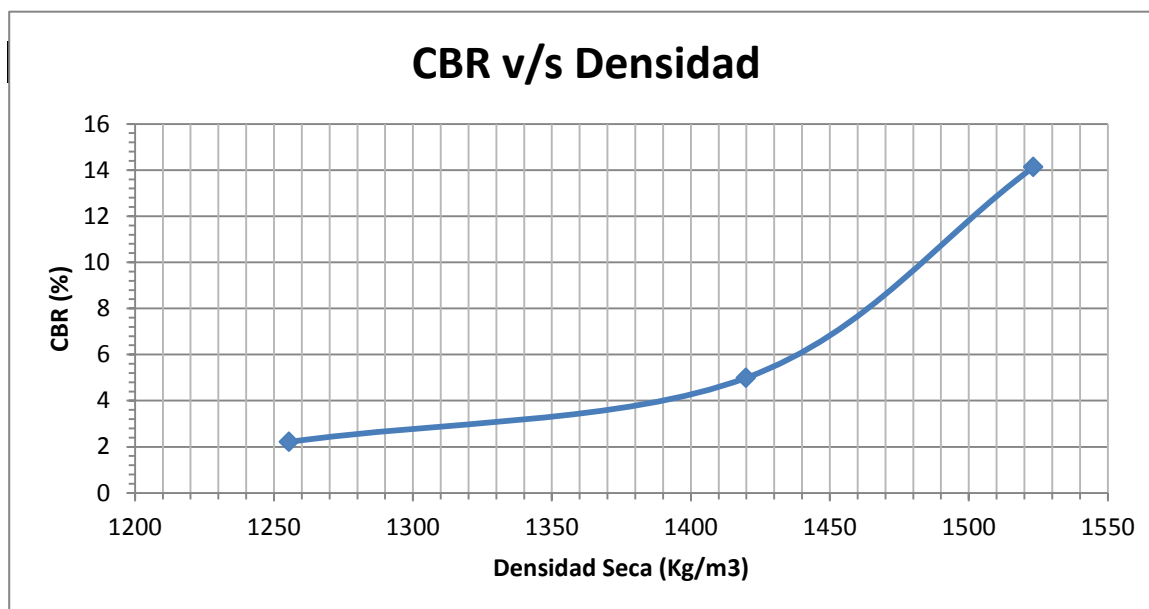
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A +1:1000)

Ensayo N° 1

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-3	MAE-2	MAE-4
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2126.1	2130.7	2139.5
Molde (g)	5097	5023	5146.5
Molde + suelo + agua (g)	8439	8811	9227.2
Suelo + agua (g)	3342	3788	4080.7
Humedad (%)	25.21	25.21	25.21
Densidad seca (kg/m ³)	1255	1420	1523
Razón de soporte (%)	2	5	14



D.M.C.S.: 1575.38 (kg/cm³)

Humedad optima: 25.21

D.M.C.S. al 95% 1496.615 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

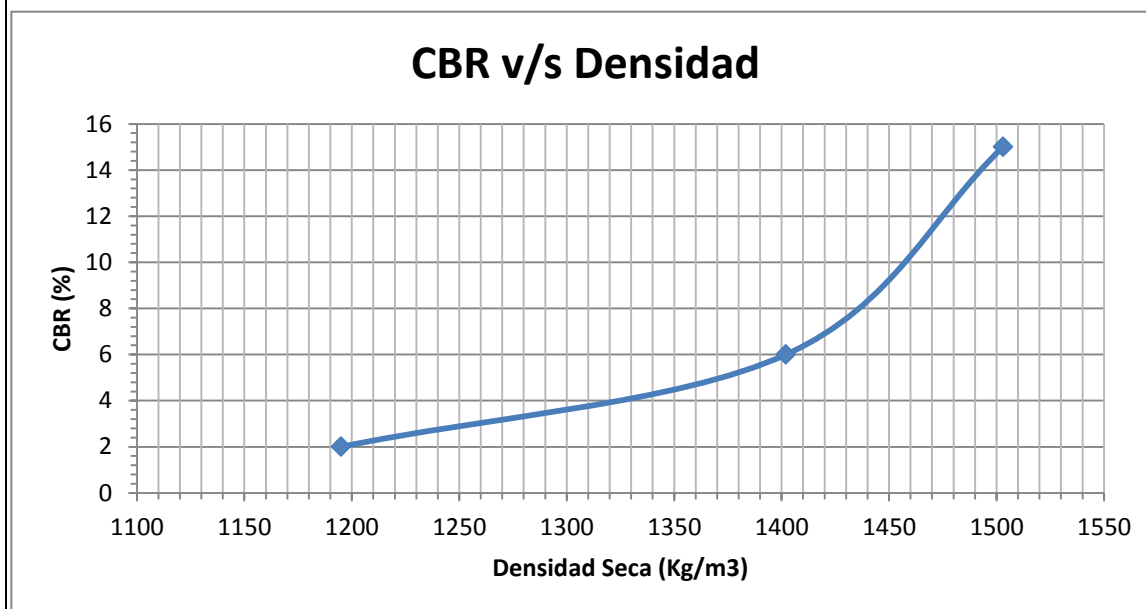
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A +1:1000)

Ensayo N° 2

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	8348	8894	9057
Suelo + agua (g)	3201	3720	3967
Humedad (%)	25.21	25.21	25.21
Densidad seca (kg/m ³)	1195	1402	1503
Razón de soporte (%)	2	6	15



D.M.C.S.: 1575.38 (kg/cm³)

Humedad optima: 25.21

D.M.C.S. al 95% 1496.615 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 14%

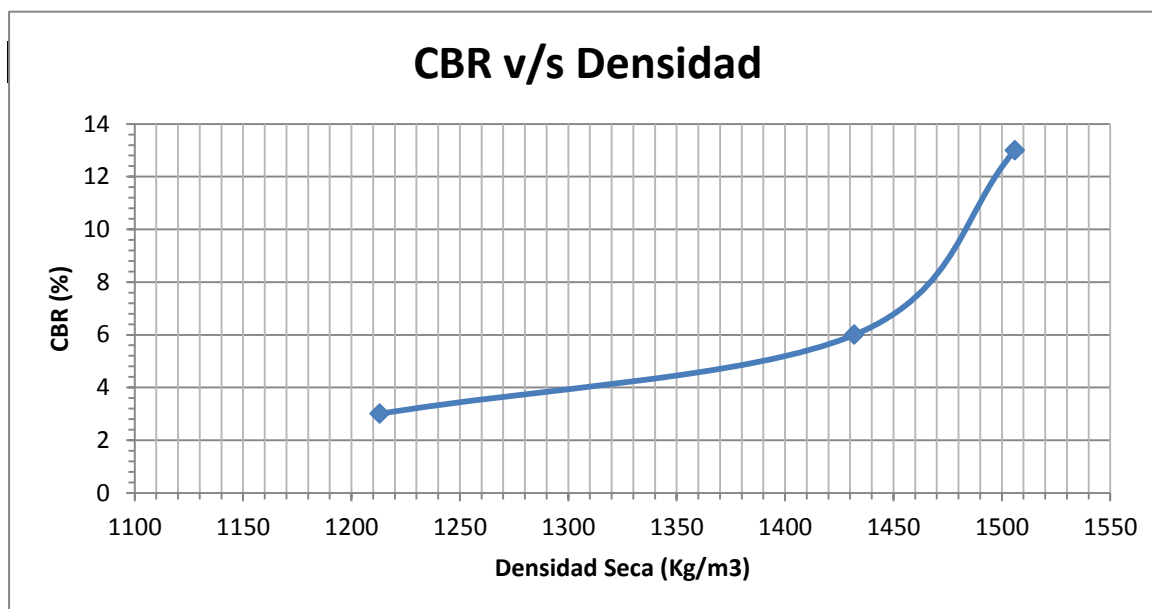
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A +1:1000)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	8369	9006	9077
Suelo + agua (g)	3226	3791	3995
Humedad (%)	25.21	25.21	25.21
Densidad seca (kg/m ³)	1213.00	1432.00	1506.00
Razón de soporte (%)	3	6	13



D.M.C.S.: 1575.38 (kg/cm³)

Humedad optima: 25.21

D.M.C.S. al 95% 1496.611 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

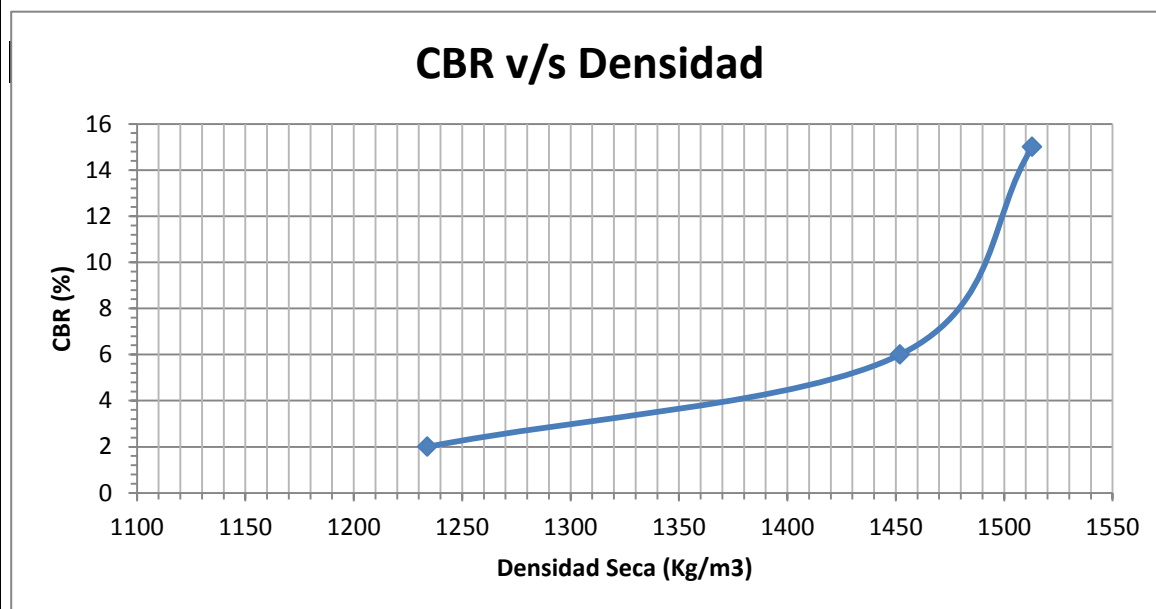
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A +1:1000)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	8520	8897	9125
Suelo + agua (g)	3333	3874	4028
Humedad (%)	25.21	25.21	25.21
Densidad seca (kg/m ³)	1234.00	1452.00	1513.00
Razón de soporte (%)	2	6	15



D.M.C.S.: 1575.38 (kg/cm³)

Humedad optima: 25.21

D.M.C.S. al 95% 1496.611 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

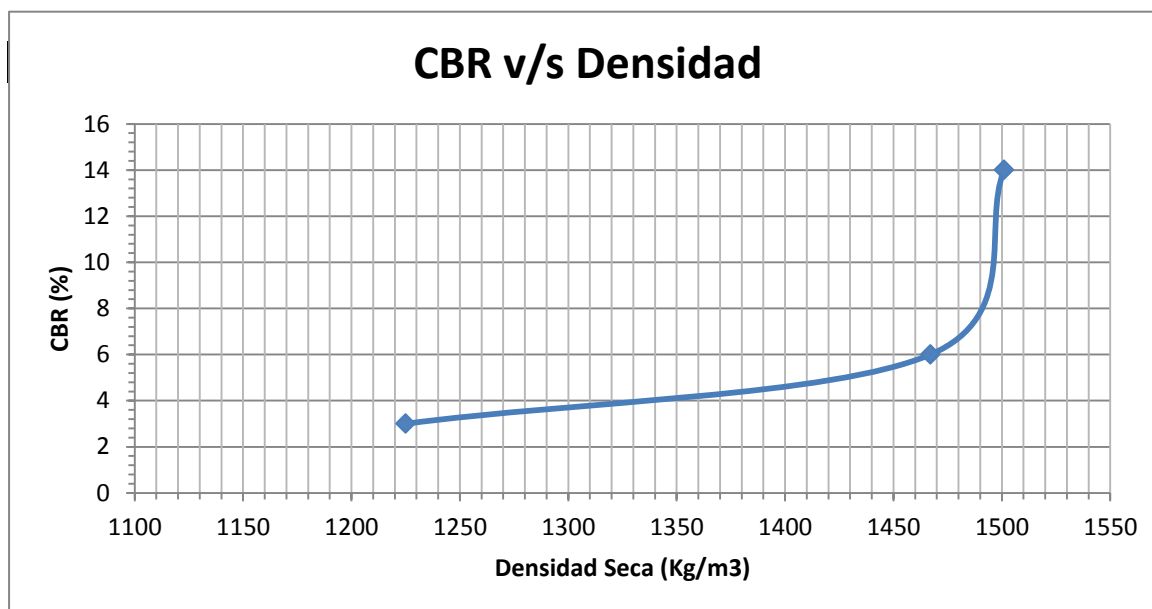
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A +1:1000)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	8428	9066	9052
Suelo + agua (g)	3282	3892	3962
Humedad (%)	25.21	25.21	25.21
Densidad seca (kg/m ³)	1225.00	1467.00	1501.00
Razón de soporte (%)	3	6	14



D.M.C.S.: 1575.38 (kg/cm³)

Humedad optima: 25.21

D.M.C.S. al 95% 1496.611 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

Volumen del molde: 946 cm³

Peso del Molde: 1601 g

	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	20	22	17	25	25
Molde + suelo + agua (g)	3394	3449	3466.5	3498.5	3481.5
Molde (g)	1601	1601	1601	1601	1601
Suelo + agua (g)	1793	1848	1865.5	1897.5	1880.5
Suelo (g)	1461.43	1482.88	1489.65	1499.51	1475.81
Densidad Seca (Kg/cm ³)	1544.85	1567.53	1574.69	1585.11	1560.05

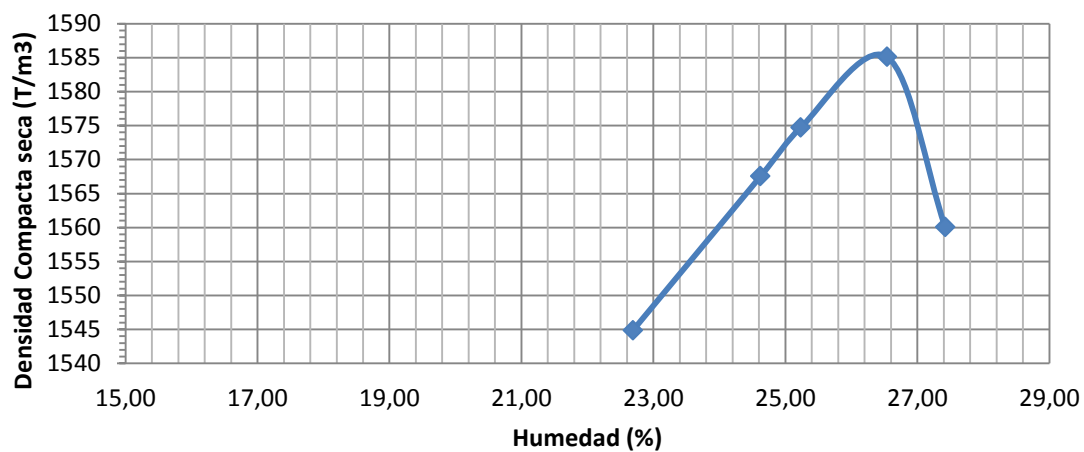
	Humedad				
Capsula	CE-18	21	22	25	100
Tara + suelo + agua (g)	260.1	265.8	272.8	179.3	230.3
Tara + suelo (g)	229.92	233.2	245.44	162.08	204.54
Tara (g)	96.9	100.8	137	97.2	110.6
Suelo (g)	133.02	132.4	108.44	64.88	93.94
Agua (g)	30.18	32.6	27.36	17.22	25.76
Humedad (%)	22.69	24.62	25.23	26.54	27.42

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

D.M.C.S v/s Humedad



Densidad Máxima Compacta Seca: 1585.11 Ton/m³
Humedad Optima: 26.54 %

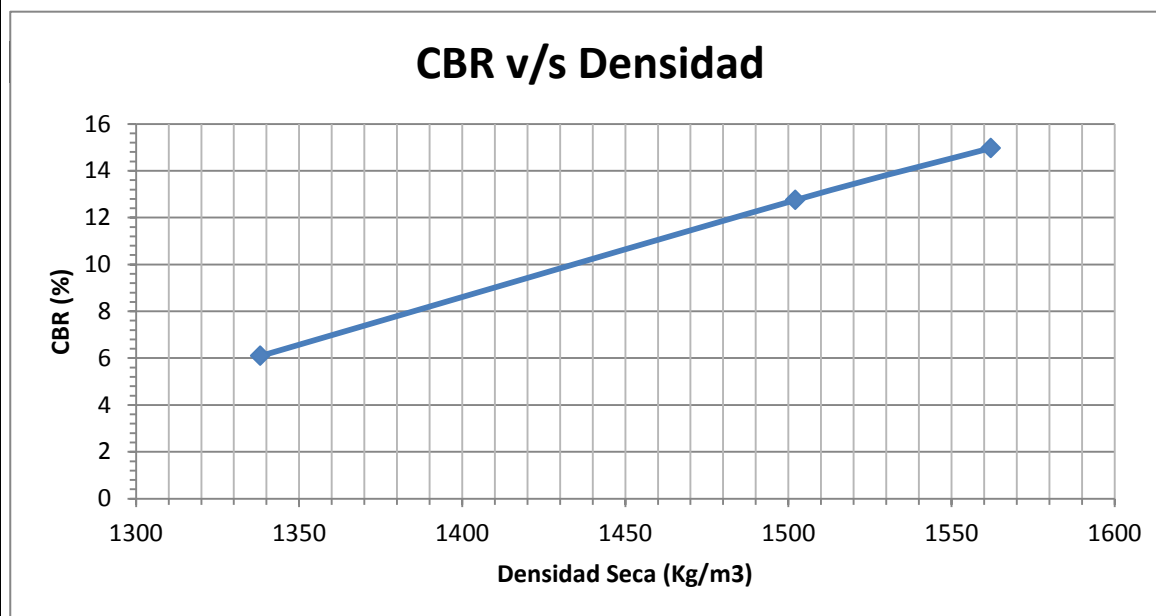
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

Ensayo N° 1

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-8	MAE-7	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2118.4	2124.3	2108
Molde (g)	5215	5142	5090
Molde + suelo + agua (g)	8802	9180	9257
Suelo + agua (g)	3587	4038	4167
Humedad (%)	26.54	26.54	26.54
Densidad seca (Kg/m ³)	1338	1502	1562
Razón de soporte (%)	6	13	15



D.M.C.S.: 1585.11 (kg/cm³)

Humedad optima: 26.54%

D.M.C.S. al 95% 1505.851 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

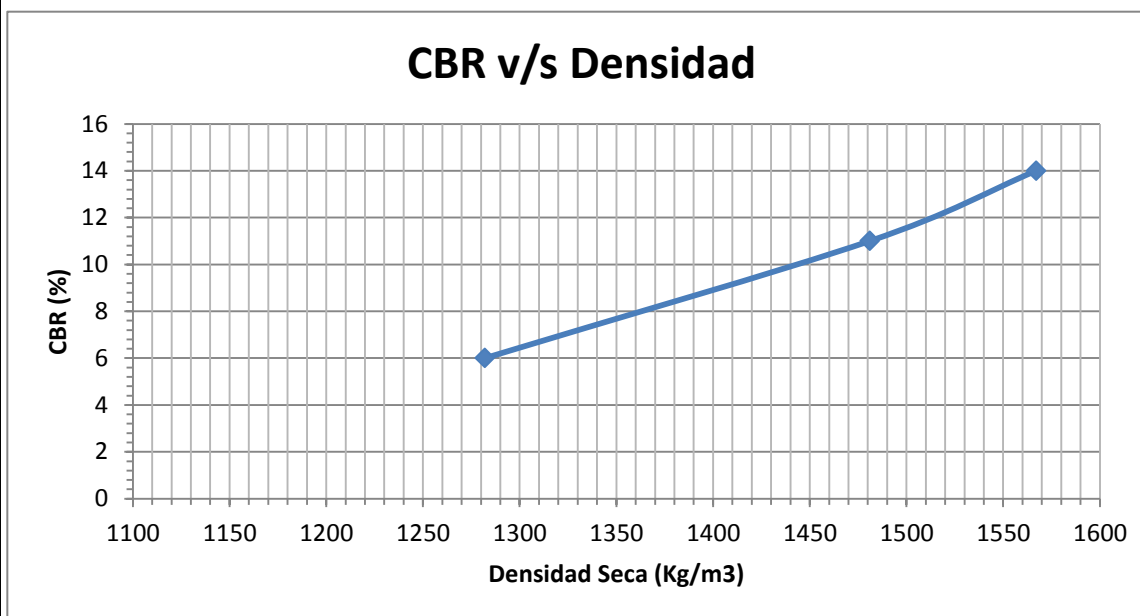
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

Ensayo N° 2

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	8686	9016	9313
Suelo + agua (g)	3499	3993	4216
Humedad (%)	26.54	26.54	26.54
Densidad seca (Kg/m ³)	1282	1481	1567
Razón de soporte (%)	6	11	14



D.M.C.S.: 1585.11 (kg/cm³)

Humedad optima: 26.54%

D.M.C.S. al 95% 1505.855 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 11%

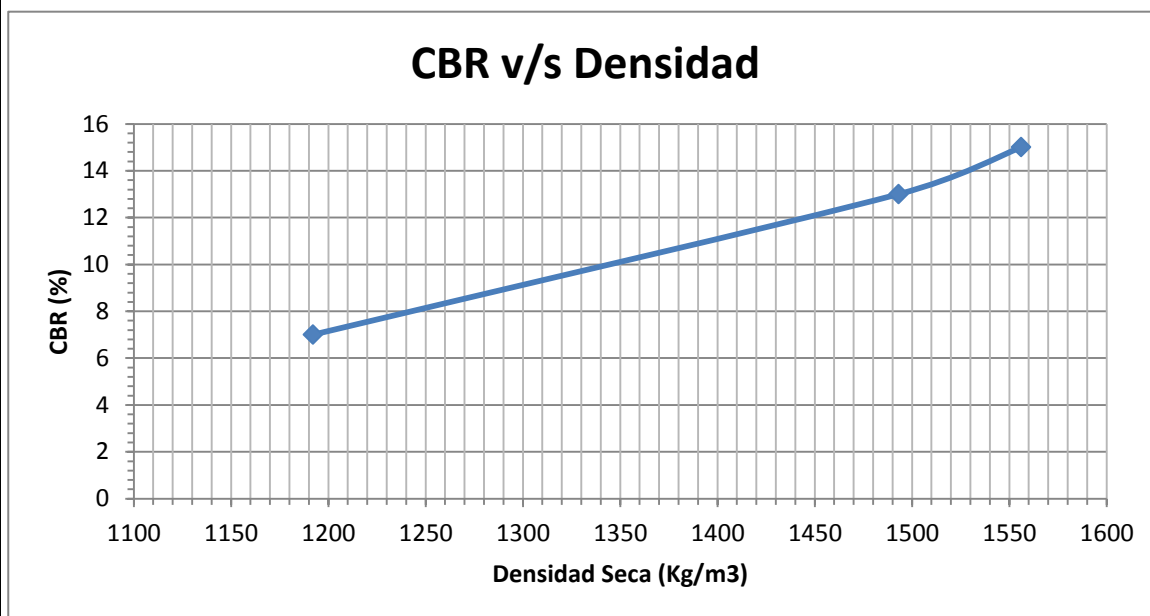
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	8374	9177	9241
Suelo + agua (g)	3227	4003	4151
Humedad (%)	26.54	26.54	26.54
Densidad seca (Kg/m ³)	1192	1493	1556
Razón de soporte (%)	7	13	15



D.M.C.S.: 1585.11 (kg/cm³)
 Humedad optima: 26.54%
 D.M.C.S. al 95% 1505.855 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 13%

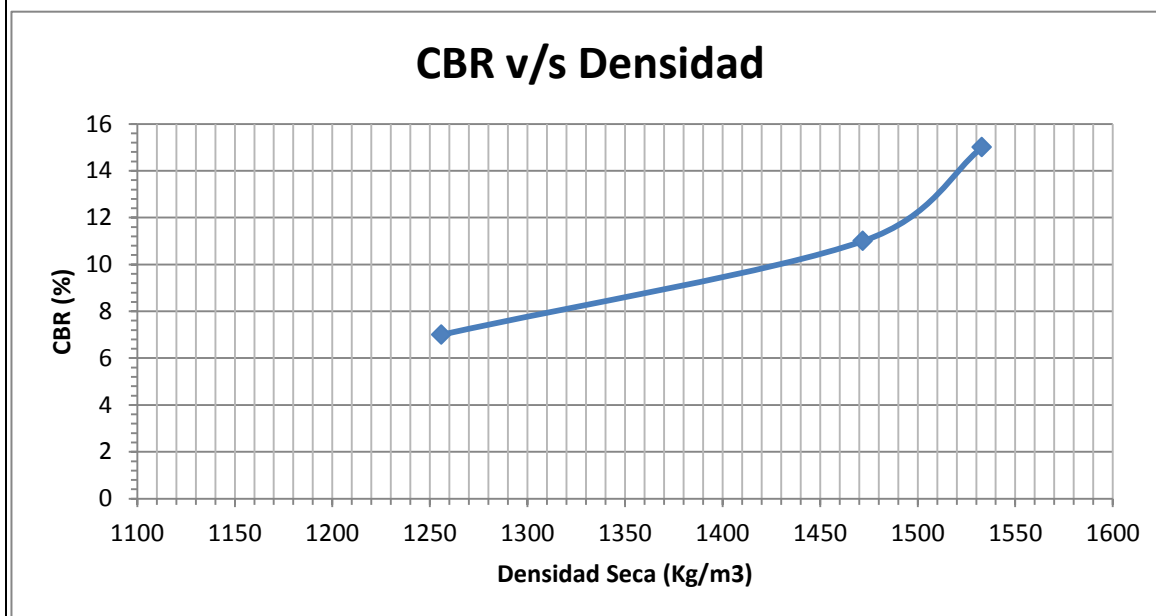
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	8519	9153	9191
Suelo + agua (g)	3376	3938	4109
Humedad (%)	26.54	26.54	26.54
Densidad seca (Kg/m ³)	1256	1472	1533
Razón de soporte (%)	7	11	15



D.M.C.S.: 1585.11 (kg/cm³)

Humedad optima: 26.54%

D.M.C.S. al 95% 1505.855 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 12%

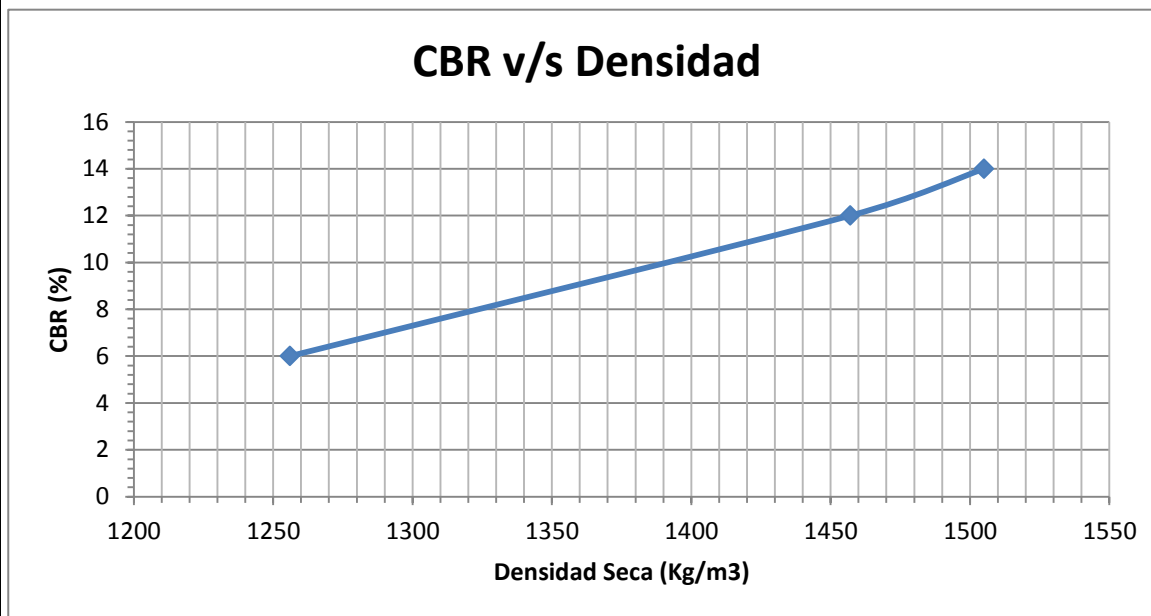
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Lomas de San Sebastián (Mat. A + 1:1500)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	8615	8951	9146
Suelo + agua (g)	3428	3928	4049
Humedad (%)	26.54	26.54	26.54
Densidad seca (Kg/m ³)	1256	1457	1505
Razón de soporte (%)	6	12	14



D.M.C.S.: 1585.11 (kg/cm³)
 Humedad optima: 26.54%
 D.M.C.S. al 95% 1505.855 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 14%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Volumen del molde: 1979.2 cm³

Peso del Molde: 6043 g

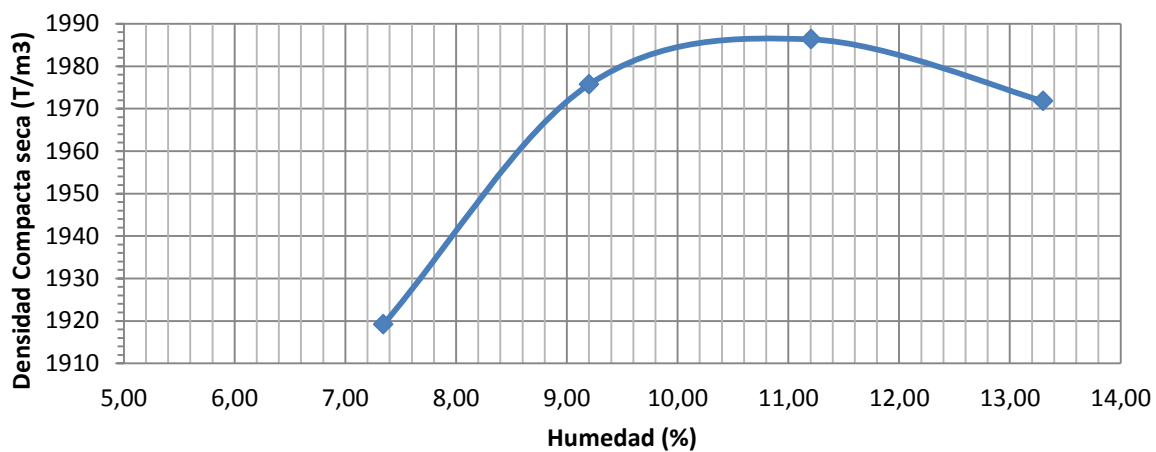
	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	6	8	10	12	
Molde + suelo + agua (g)	10151	10313	10415	10505	
Molde (g)	5965	6043	6043	5965	
Suelo + agua (g)	4186	4270	4372	4540	
Suelo (g)	3899.76	3910.26	3931.30	4007.06	
Densidad Seca (g/cm ³)	1919.17	1975.68	1986.31	1971.77	
	Humedad				
Capsula	H-7	H-26	25	1A	
Tara + suelo + agua (g)	296.2	357.6	209.7	293.3	
Tara + suelo (g)	276.5	328.21	198.35	270.36	
Tara (g)	8.6	8.76	97.07	97.88	
Suelo (g)	268.28	319.45	101.28	172.48	
Agua (g)	19.7	29.39	11.35	22.94	
Humedad (%)	7.34	9.20	11.21	13.30	

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

D.M.C.S v/s Humedad



Densidad Máxima Compacta Seca: 1986.31 Ton/m3

Humedad Optima: 11.21 %

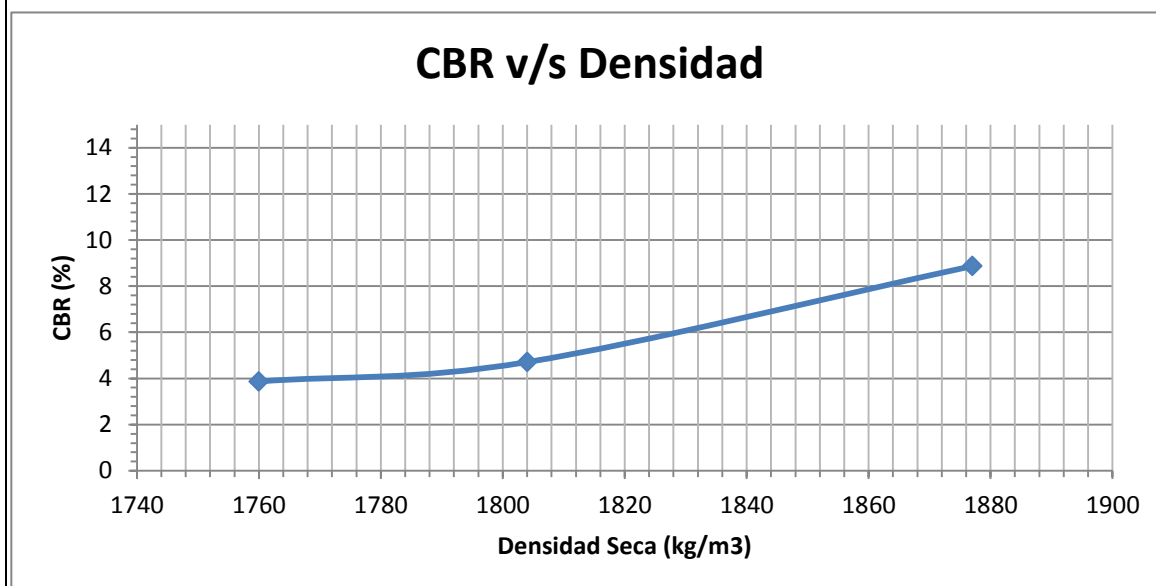
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Ensayo N° 1

	Densidad Seca		
Referencia Molde	6	22	30
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2114	2121	2121
Molde (g)	4657	5227.5	5157
Molde + suelo + agua (g)	8795	9483	9584
Suelo + agua (g)	4138	4255	4427
Humedad (%)	11.21	11.21	11.21
Densidad seca (kg/m ³)	1760	1804	1877
Razón de soporte (%)	4	5	9



D.M.C.S.: 1986.31 (kg/cm³)

Humedad optima: 11.21

D.M.C.S. al 95% 1886.993 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S. 9%

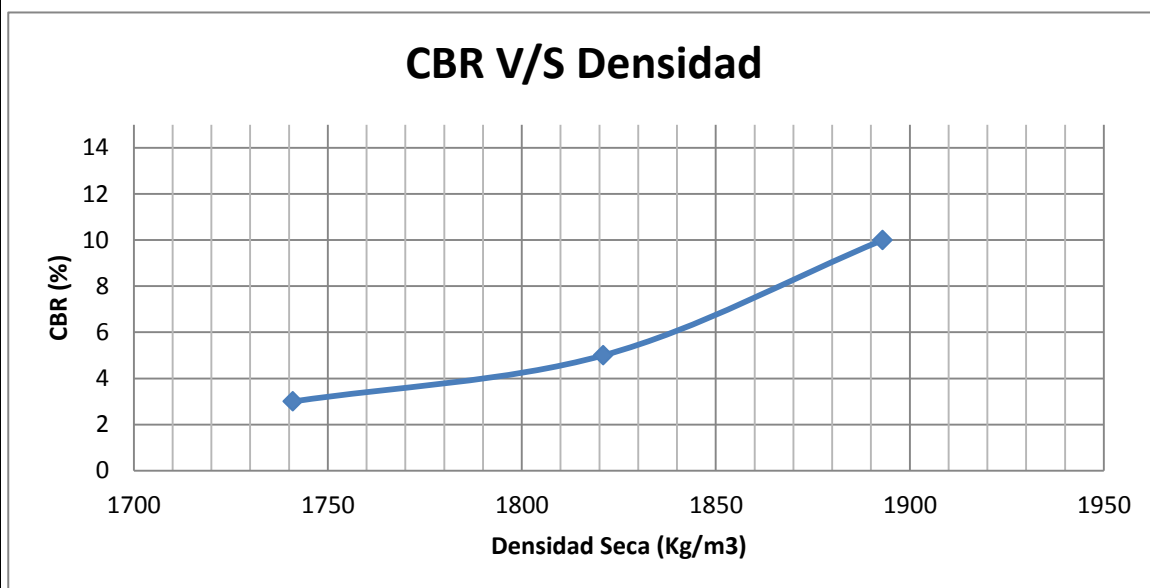
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Ensayo N° 2

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	9289	9465	9528
Suelo + agua (g)	4142	4291	4438
Humedad (%)	11.21	11.21	11.21
Densidad seca (kg/m ³)	1741	1821	1893
Razón de soporte (%)	3	5	10



D.M.C.S.: 1986.31 (kg/cm³)
 Humedad optima: 11.21
 D.M.C.S. al 95% 1886.993 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S. 10%

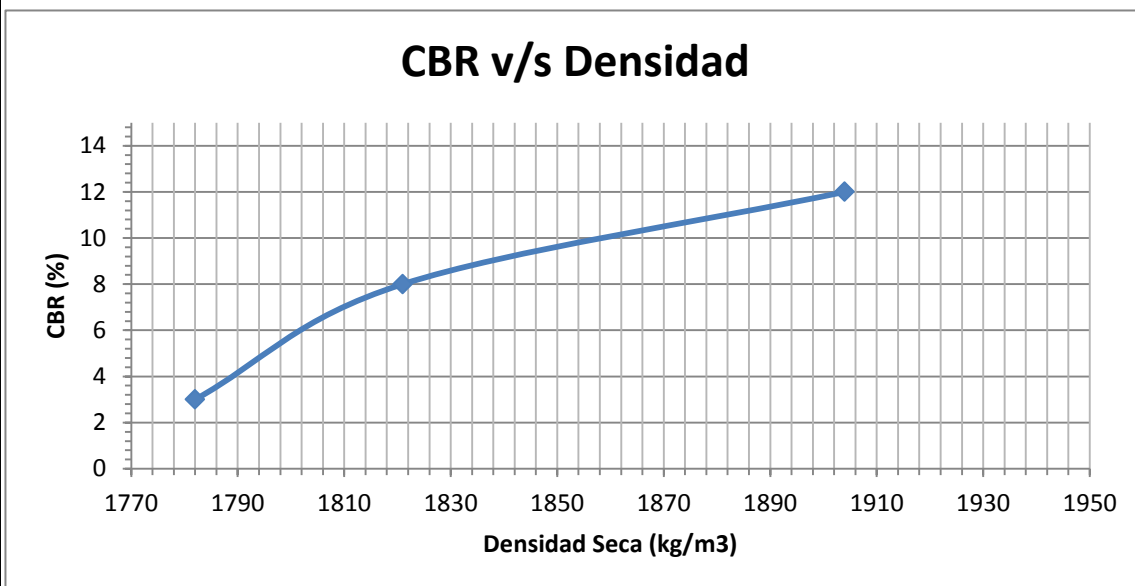
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	9352	9496	9568
Suelo + agua (g)	4210	4281	4486
Humedad (%)	11.21	11.21	11.21
Densidad seca (kg/m ³)	1782	1821	1904
Razón de soporte (%)	3	8	12



D.M.C.S.: 1986.31 (kg/cm³)
 Humedad optima: 11.21
 D.M.C.S. al 95%: 1886.99 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S. 11%

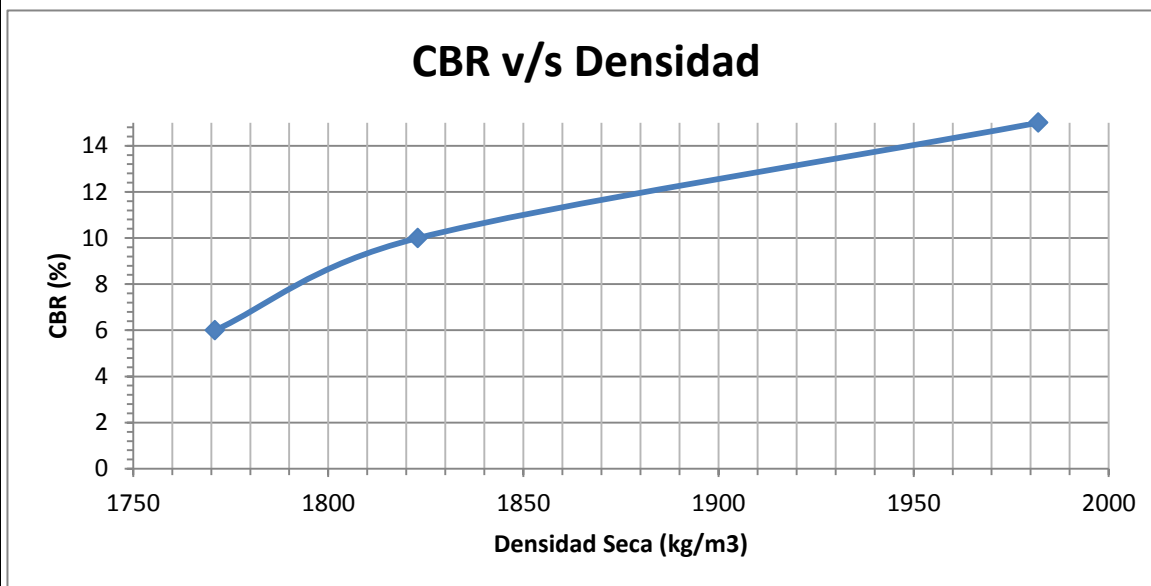
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Ensayo N° 4

	Densidad Seca		
Referencia Molde	6	22	30
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2114	2121	2121
Molde (g)	4657	5227.5	5157
Molde + suelo + agua (g)	8821	9528	9832
Suelo + agua (g)	4164	4300	4675
Humedad (%)	11.21	11.21	11.21
Densidad seca (kg/m ³)	1771	1823	1982
Razón de soporte (%)	6	10	15



D.M.C.S.: 1986.31 (kg/cm³)
 Humedad optima: 11.21
 D.M.C.S. al 95%: 1886.99 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S. 12%

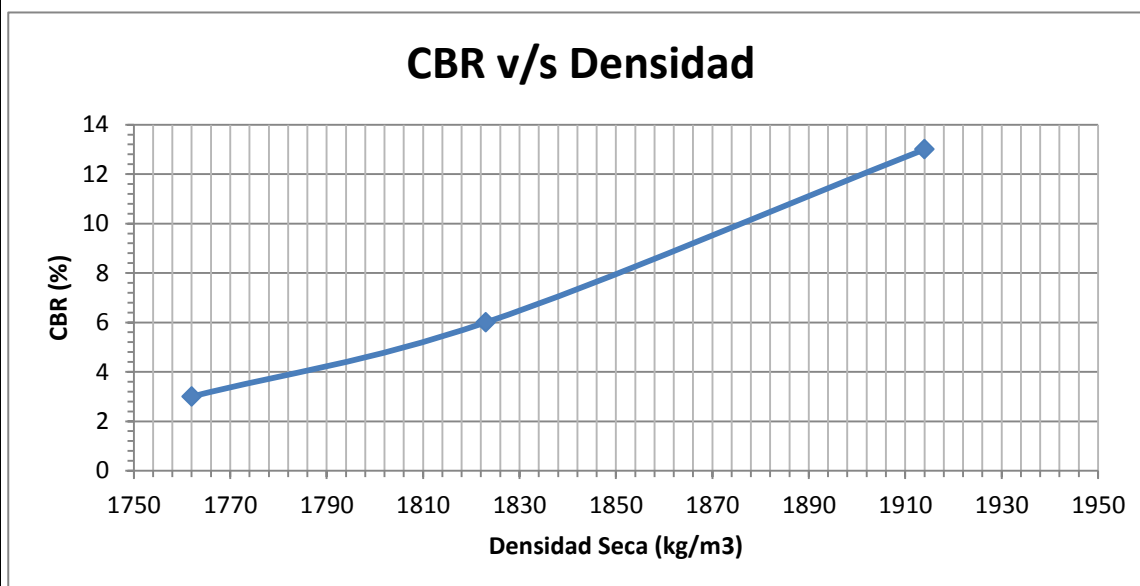
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	9339	9470	9577
Suelo + agua (g)	4192	4296	4487
Humedad (%)	11.21	11.21	11.21
Densidad seca (kg/m ³)	1762	1823	1914
Razón de soporte (%)	3	6	13



D.M.C.S.: 1986.31 (kg/cm³)

Humedad optima: 11.21

D.M.C.S. al 95% 1886.993 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S. 11%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Collao (Mat B. + 1:500)

Volumen del molde: 958 cm³

Peso del Molde: 1724 g

	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	6	8	10	12	14
Molde + suelo + agua (g)	3684	3730	3617	3794	3588
Molde (g)	1724	1724	1551	1724	1551
Suelo + agua (g)	1960	2006	2066	2070	2037
Suelo (g)	1834.41	1845.46	1865.92	1839.73	1775.46
Densidad Seca (Kg/cm ³)	1914.83	1926.36	1964.13	1920.39	1868.91

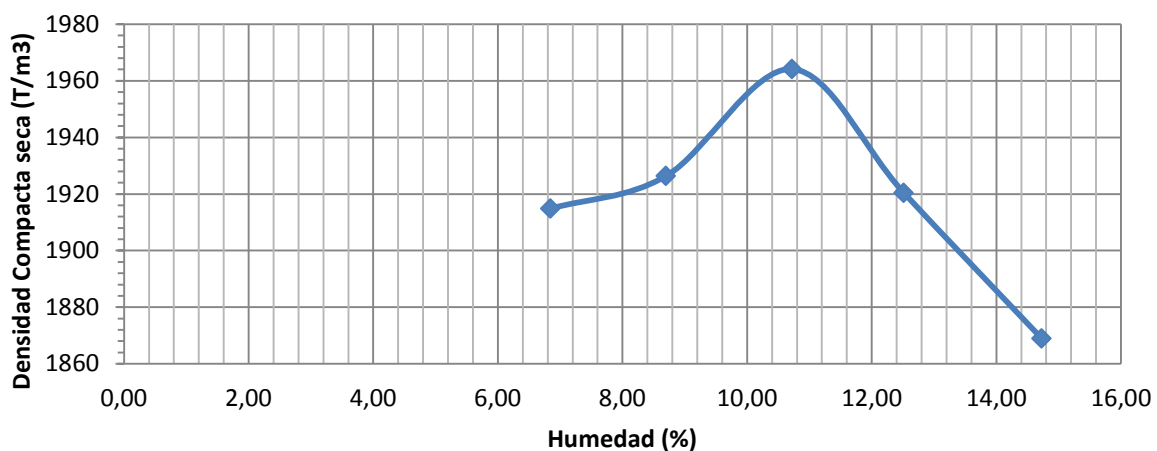
	Humedad				
Capsula	1	7	JM-5	H-20	B-3
Tara + suelo + agua (g)	342.64	398.16	241.44	138.65	156.58
Tara + suelo (g)	329.55	378.28	225.83	124.2	137.38
Tara (g)	138.35	149.76	80.25	8.75	7.04
Suelo (g)	191.2	228.52	145.58	115.45	130.34
Agua (g)	13.09	19.88	15.61	14.45	19.2
Humedad (%)	6.85	8.70	10.72	12.52	14.73

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Collao (Mat B. + 1:500)

D.M.C.S v/s Humedad



Densidad Máxima Compacta Seca: 1964.13 Ton/m³

Humedad Óptima: 10.72 %

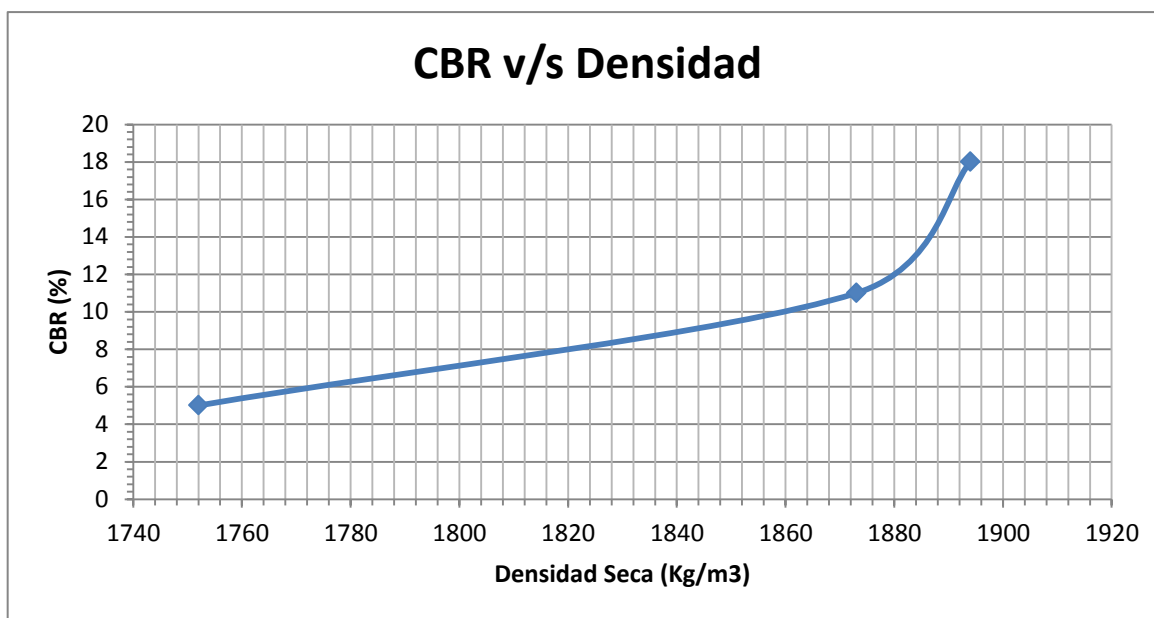
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:500)

Ensayo N° 1

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	9297	9568	9511
Suelo + agua (g)	4150	4394	4421
Humedad (%)	10.72	10.72	10.72
Densidad seca (Kg/m ³)	1752	1873	1894
Razón de soporte (%)	5	11	18



D.M.C.S.: 1964.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.72%

D.M.C.S. al 95% 1865.8 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 11%

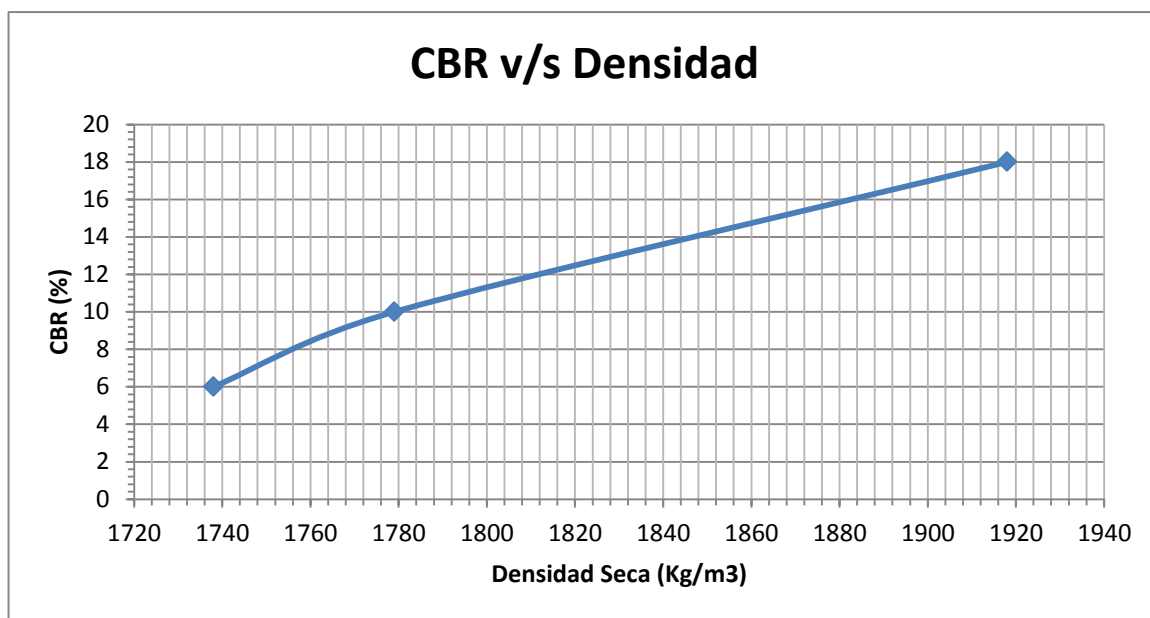
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:500)

Ensayo N° 2

	Densidad Seca		
Referencia Molde	6	22	30
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm3)	2114	2121	2121
Molde (g)	4657	5227.5	5157
Molde + suelo + agua (g)	8725	9405	9661
Suelo + agua (g)	4068	4178	4504
Humedad (%)	10.72	10.72	10.72
Densidad seca (Kg/m3)	1738	1779	1918
Razón de soporte (%)	6	10	18



D.M.C.S.: 1964.00 (kg/cm3)

Humedad optima: 10.72%

D.M.C.S. al 95% 1865.8 (kg/cm3)

CBR en 95% D.M.C.S: 15%

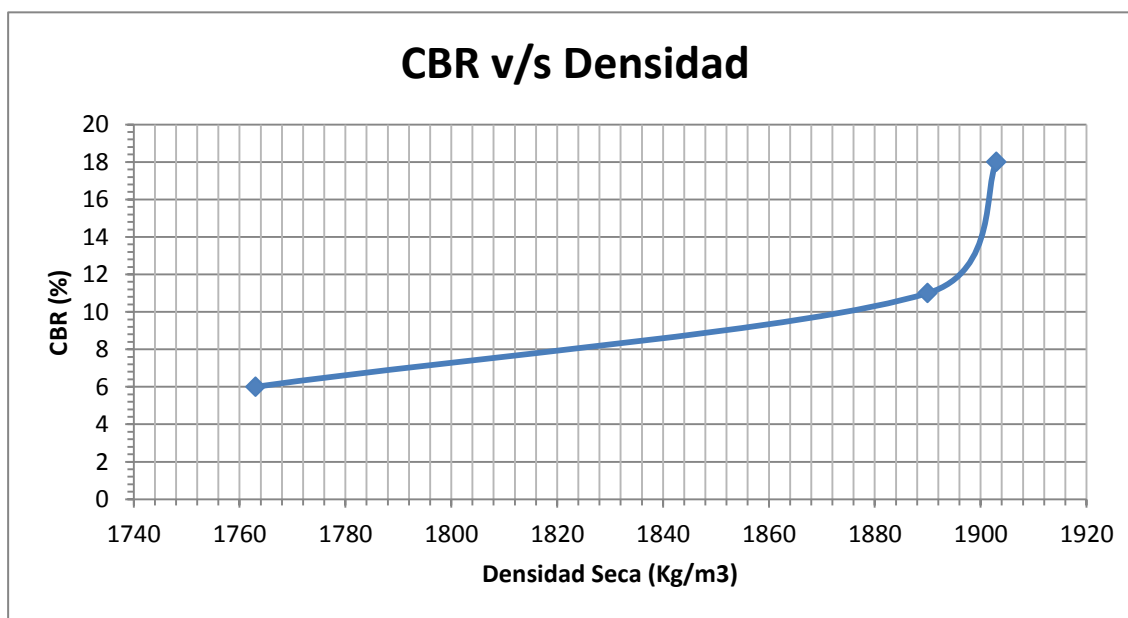
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:500)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	9289	9639	9545
Suelo + agua (g)	4147	4424	4463
Humedad (%)	10.72	10.72	10.72
Densidad seca (Kg/m ³)	1763	1890	1903
Razón de soporte (%)	6	11	18



D.M.C.S.: 1964.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.72%

D.M.C.S. al 95% 1865.8 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 10%

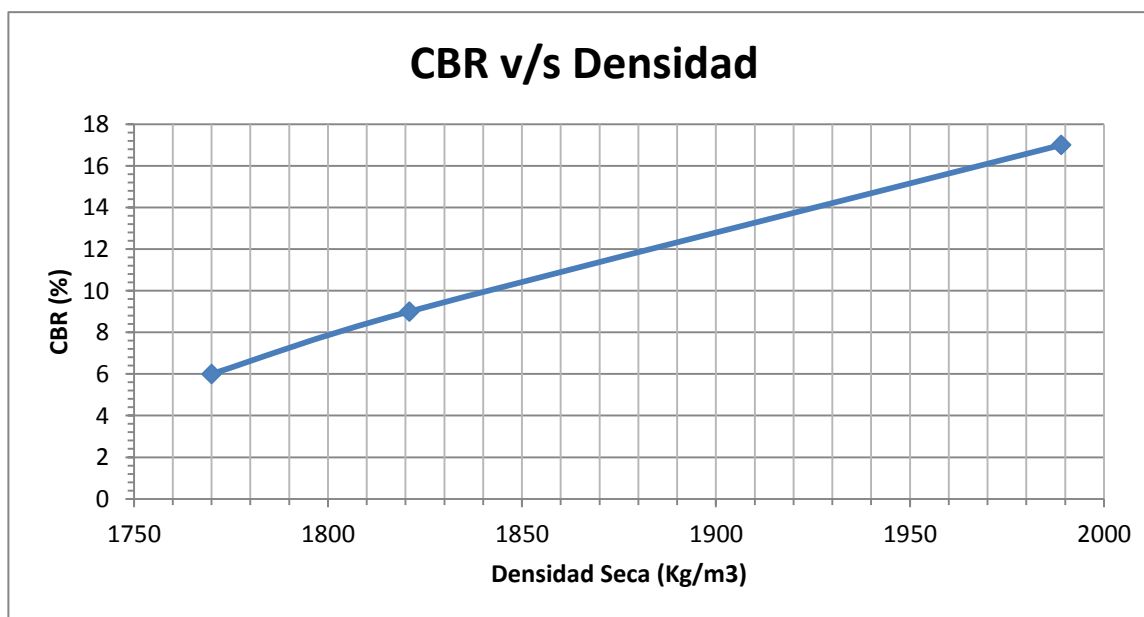
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:500)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	9414	9319	9779
Suelo + agua (g)	4227	4296	4682
Humedad (%)	10.72	10.72	10.72
Densidad seca (Kg/m ³)	1770	1821	1989
Razón de soporte (%)	6	9	17



D.M.C.S.: 1964.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.72%

D.M.C.S. al 95% 1865.8 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 11%

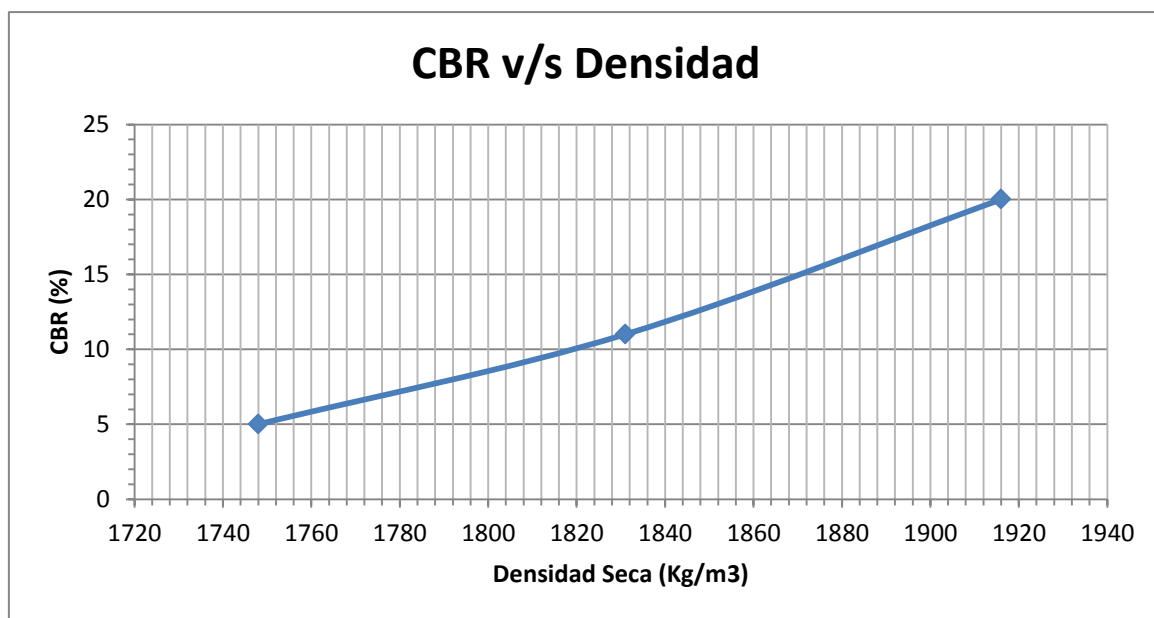
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:500)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	9287	9470	9562
Suelo + agua (g)	4141	4296	4472
Humedad (%)	10.72	10.72	10.72
Densidad seca (Kg/m ³)	1748	1831	1916
Razón de soporte (%)	5	11	20



D.M.C.S.: 1964.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.72%

D.M.C.S. al 95% 1865.8 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 15%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Suelo Sector Collao (Mat B. + 1:1000)

Volumen del molde: 958 cm³

Peso del Molde: 1724 g

	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	6	8	10	12	14
Molde + suelo + agua (g)	3680	3731	3788	3800	3776
Molde (g)	1724	1724	1724	1724	1724
Suelo + agua (g)	1956	2007	2064	2076	2052
Suelo (g)	1836.37	1845.43	1862.74	1840.76	1794.89
Densidad Seca (Kg/cm ³)	1916.88	1950.77	1969.07	1945.84	1897.34

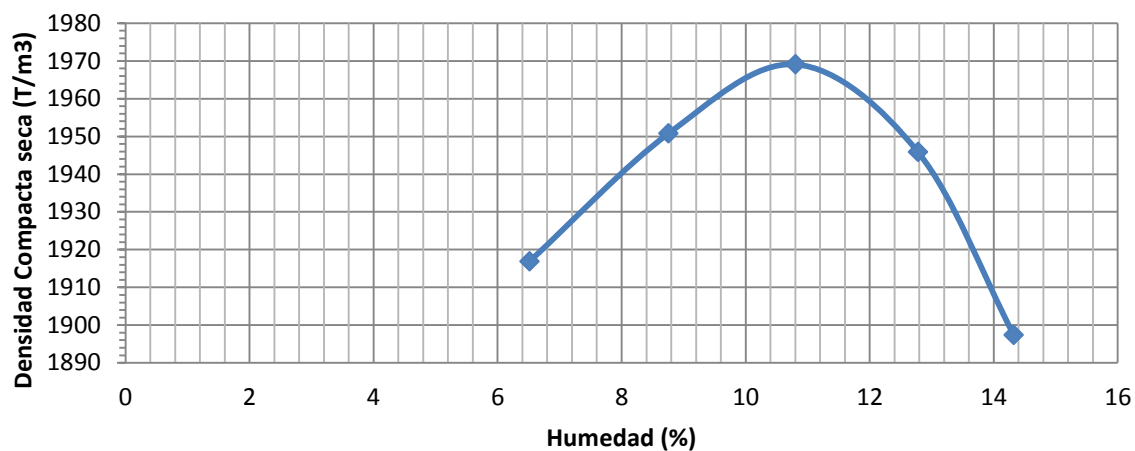
	Humedad				
Capsula	17	JM-3	27	NN	A
Tara + suelo + agua (g)	263.86	165.67	192.04	273.49	291.01
Tara + suelo (g)	256.9	158.89	183.35	257.88	271.66
Tara (g)	150.06	81.45	102.92	135.73	136.58
Suelo (g)	106.84	77.44	80.43	122.15	135.08
Agua (g)	6.96	6.78	8.69	15.61	19.35
Humedad (%)	6.51	8.76	10.80	12.78	14.32

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Suelo Sector Collao 1:1000

D.M.C.S v/s Humedad



Densidad Máxima Compacta Seca: 1969.07 Ton/m³

Humedad Optima: 10.80 %

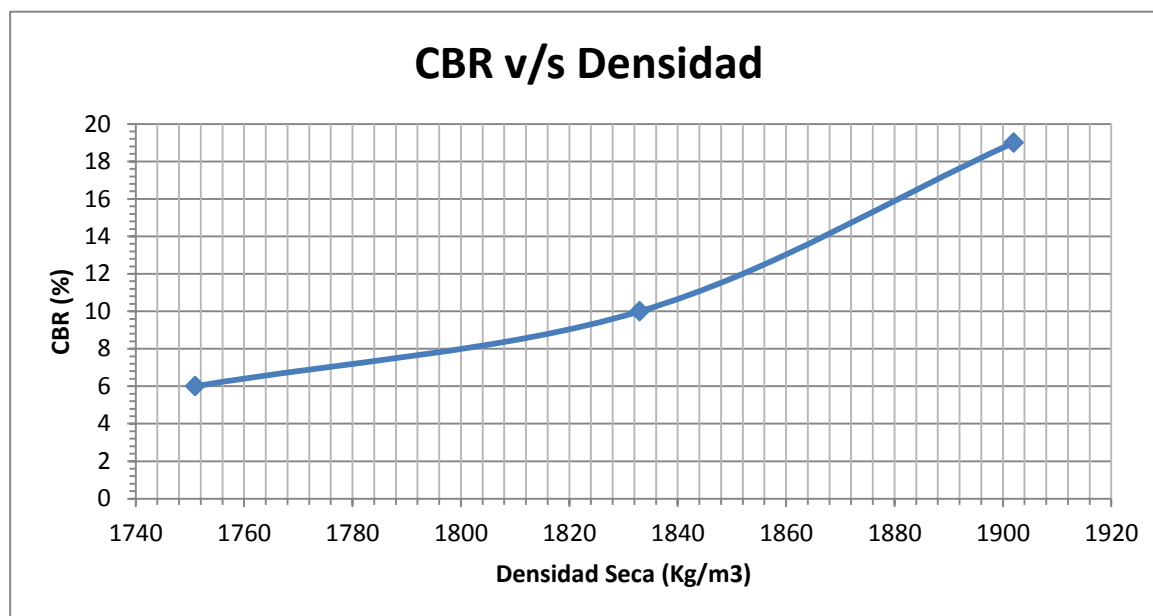
ENSAYE CBR 1 (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1000)

Ensayo N° 1

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	9372	9350	9578
Suelo + agua (g)	4185	4327	4481
Humedad (%)	10.80	10.80	10.80
Densidad seca (Kg/m ³)	1751.00	1833.00	1902.00
Razón de soporte (%)	6	10	19



D.M.C.S.: 1969 (kg/cm³)
 Humedad optima: 10.80%
 D.M.C.S. al 95% 1871 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 15%

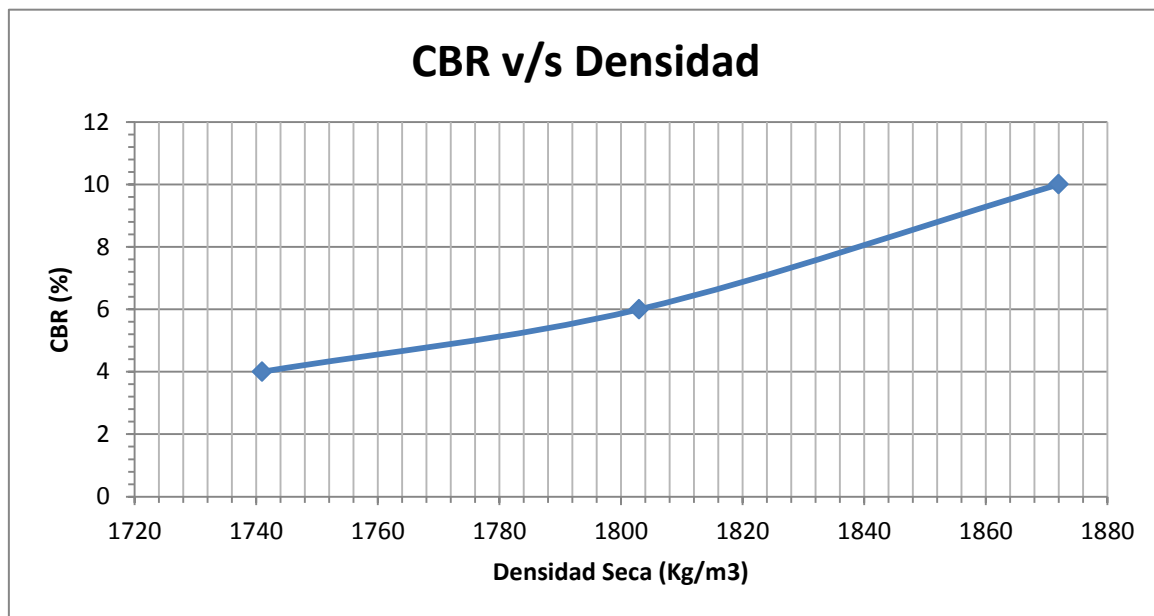
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1000)

Ensayo N° 2

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	9240	9438	9476
Suelo + agua (g)	4098	4223	4394
Humedad (%)	10.80	10.80	10.80
Densidad seca (Kg/m ³)	1741	1803	1872
Razón de soporte (%)	4	6	10



D.M.C.S.: 1969.00 (kg/cm³)
 Humedad optima: 10.80%
 D.M.C.S. al 95% 1870.55 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 10%

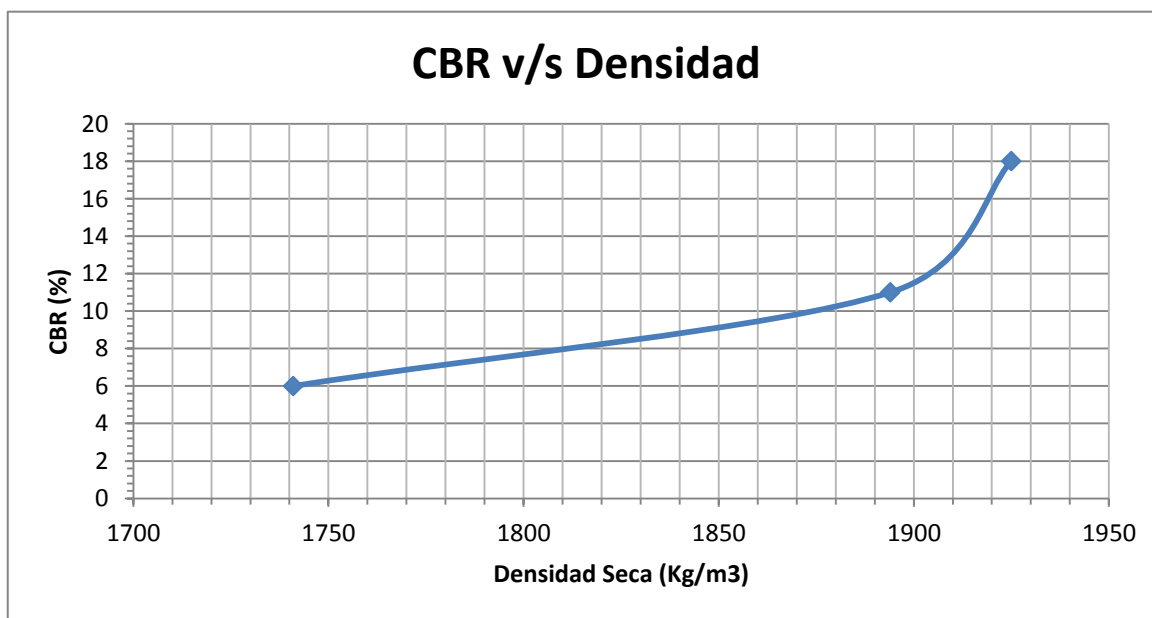
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1000)

Ensayo N° 3

	Densidad Seca		
Referencia Molde	6	22	30
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2114	2121	2121
Molde (g)	4657	5227.5	5157
Molde + suelo + agua (g)	8735	9679	9681
Suelo + agua (g)	4078	4451	4524
Humedad (%)	10.80	10.80	10.80
Densidad seca (Kg/m ³)	1741	1894	1925
Razón de soporte (%)	6	11	18



D.M.C.S.: 1969.00 (kg/cm³)
 Humedad optima: 10.80%
 D.M.C.S. al 95%: 1870.55 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 10%

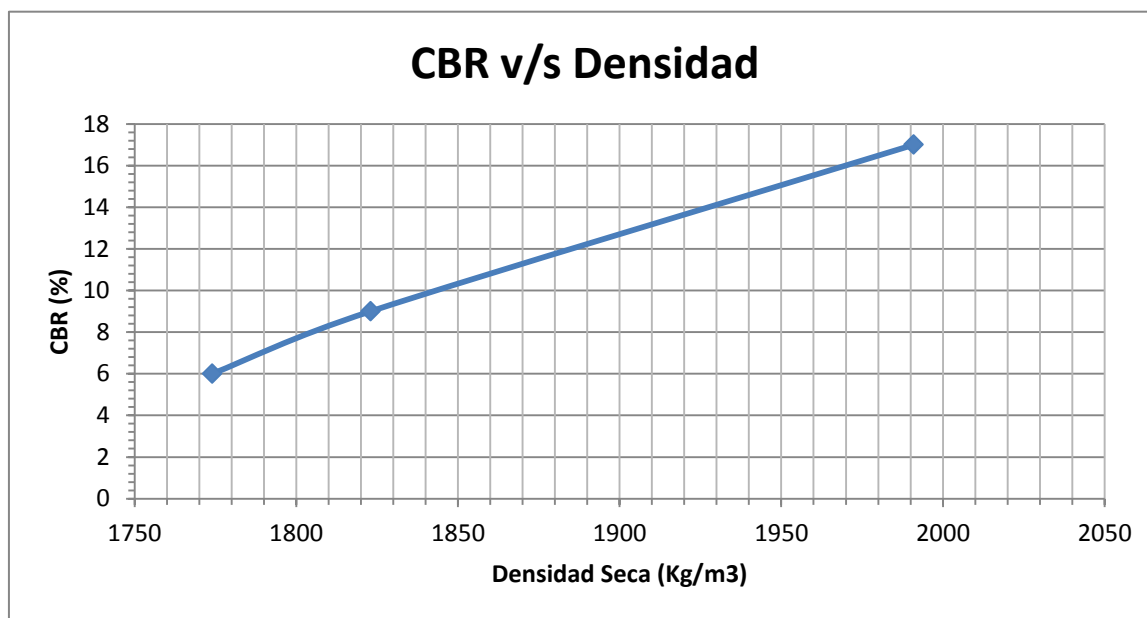
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1000)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm3)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	9352	9454	9740
Suelo + agua (g)	4205	4280	4650
Humedad (%)	10.80	10.80	10.80
Densidad seca (Kg/m3)	1774	1823	1991
Razón de soporte (%)	6	9	17



D.M.C.S.: 1969.00 (kg/cm3)
 Humedad optima: 10.80%
 D.M.C.S. al 95% 1870.55 (kg/cm3)
CBR en 95% D.M.C.S: 11%

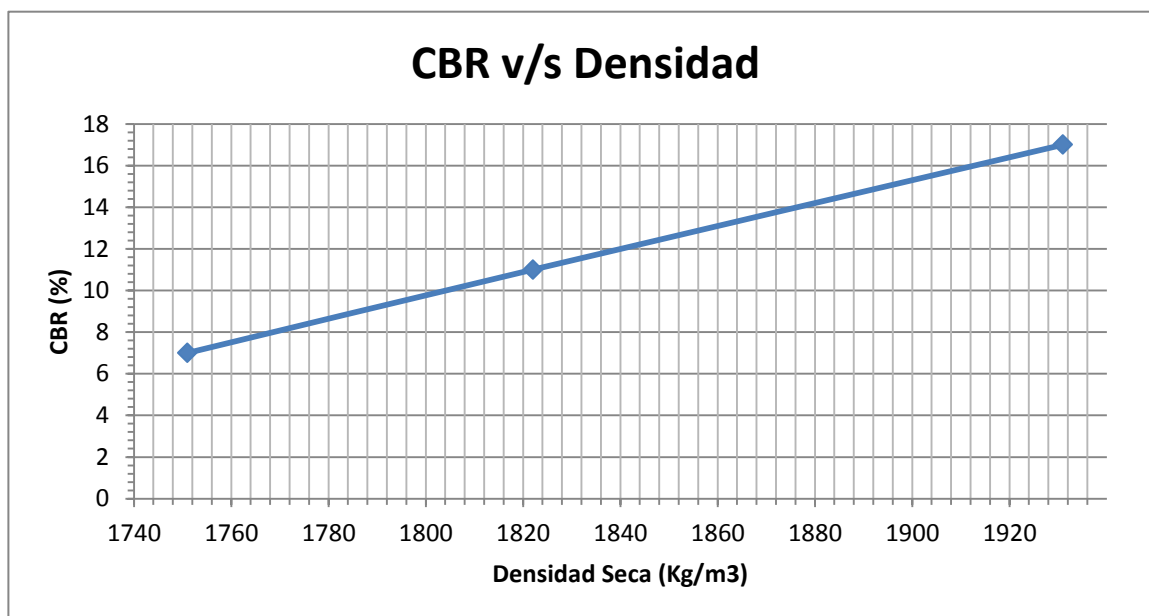
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1000)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	9372	9324	9646
Suelo + agua (g)	4185	4301	4549
Humedad (%)	10.80	10.80	10.80
Densidad seca (Kg/m ³)	1751	1822	1931
Razón de soporte (%)	7	11	17



D.M.C.S.: 1969.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.80%

D.M.C.S. al 95% 1870.55 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 14%

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 1 DE 2)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. A + 1:1500)

Volumen del molde: 950 cm³

Peso del Molde: 1551 g

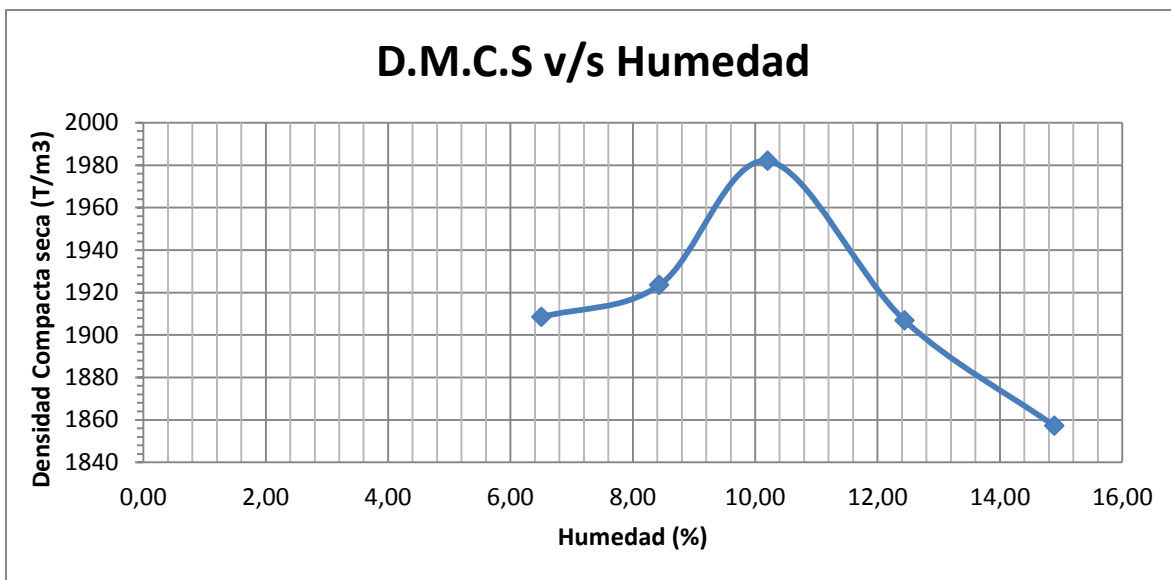
	DENSIDAD SECA				
Punto N°	1	2	3	4	5
Agua Añadida (%)	6	8	10	12	14
Molde + suelo + agua (g)	3482	3722	3626	3778	3578
Molde (g)	1551	1724	1551	1724	1551
Suelo + agua (g)	1931	1998	2075	2054	2027
Suelo (g)	1813.02	1842.62	1882.80	1826.64	1764.28
Densidad Seca (Kg/cm ³)	1908.44	1923.40	1981.90	1906.72	1857.14

	Humedad				
Capsula	B-13	H-1	H44	H-26	53
Tara + suelo + agua (g)	213.09	129.69	261.33	248.07	366.21
Tara + suelo (g)	200.5	120.29	237.93	221.58	336.61
Tara (g)	7.03	8.82	8.7	8.76	137.83
Suelo (g)	193.47	111.47	229.23	212.82	198.78
Agua (g)	12.59	9.4	23.4	26.49	29.6
Humedad (%)	6.51	8.43	10.21	12.45	14.89

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(PARTE 2 DE 2)

Descripción del material: Sector Collao 1:1500



Densidad Máxima Compacta Seca: 1981.90 Ton/m3

Humedad Optima: 10.21 %

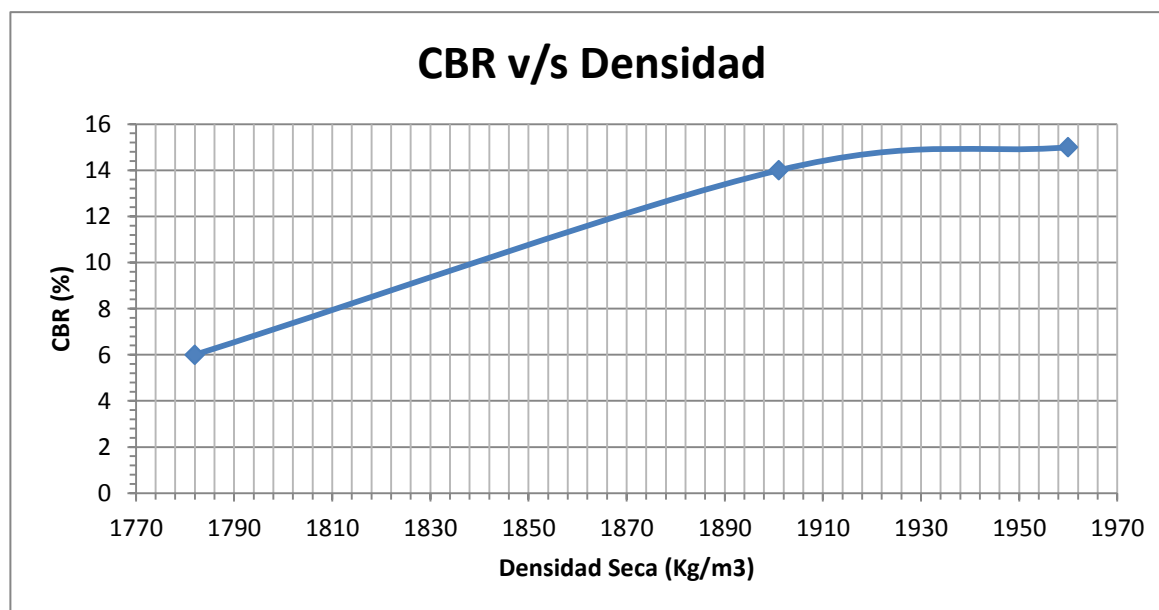
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1500)

Ensayo N° 1

	Densidad Seca		
Referencia Molde	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	9315	9644	9658
Suelo + agua (g)	4172	4429	4576
Humedad (%)	10.21	10.21	10.21
Densidad seca (Kg/m ³)	1782.00	1901.00	1960.00
Razón de soporte (%)	6	14	15



D.M.C.S.: 1981.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.21%

D.M.C.S. al 95% 1881.95 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 13%

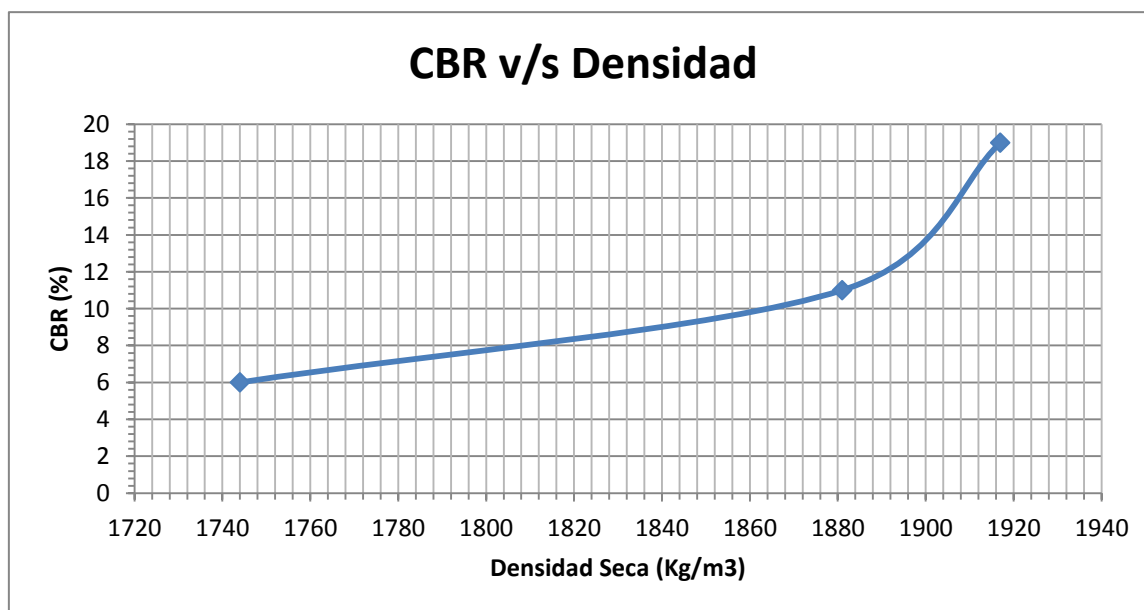
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1500)

Ensayo N° 2

	Densidad Seca		
Referencia Molde	6	22	30
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2114	2121	2121
Molde (g)	4657	5227.5	5157
Molde + suelo + agua (g)	8720	9624	9638
Suelo + agua (g)	4063	4397	4481
Humedad (%)	10.21	10.21	10.21
Densidad seca (Kg/m ³)	1744	1881	1917
Razón de soporte (%)	6	11	19



D.M.C.S.: 1981.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.21%

D.M.C.S. al 95% 1881.95 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 11%

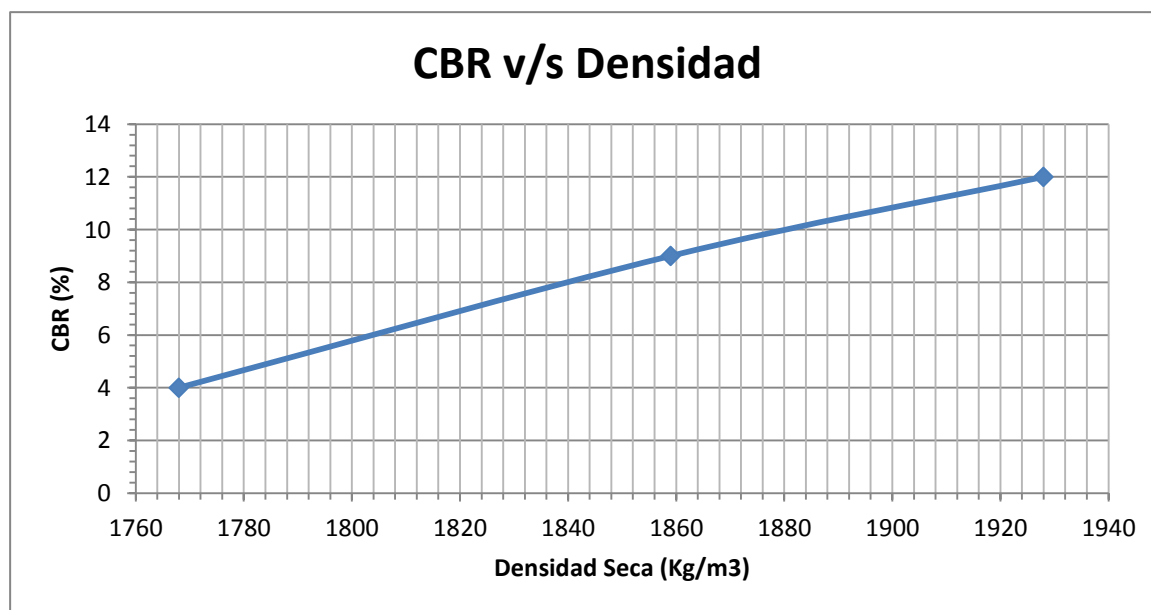
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1500)

Ensayo N° 3

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-1	MAE-2	MAE-3
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2157	2130.7	2126.1
Molde (g)	5187	5023	5097
Molde + suelo + agua (g)	9390	9388	9615
Suelo + agua (g)	4203	4365	4518
Humedad (%)	10.21	10.21	10.21
Densidad seca (Kg/m ³)	1768	1859	1928
Razón de soporte (%)	4	9	12



D.M.C.S.: 1981.00 (kg/cm³)
 Humedad optima: 10.21%
 D.M.C.S. al 95% 1881.95 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 10%

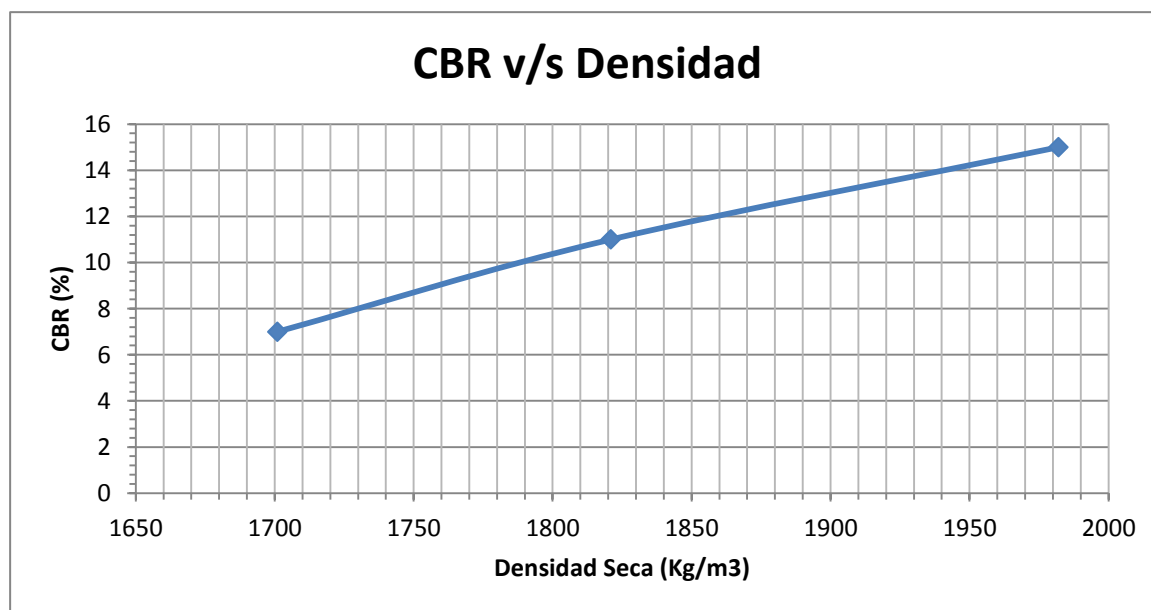
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1500)

Ensayo N° 4

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-4	MAE-5	MAE-6
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2139.5	2119	2108
Molde (g)	5146.5	5174	5090
Molde + suelo + agua (g)	9157	9427	9695
Suelo + agua (g)	4011	4253	4605
Humedad (%)	10.21	10.21	10.21
Densidad seca (Kg/m ³)	1701	1821	1982
Razón de soporte (%)	7	11	15



D.M.C.S.: 1981.00 (kg/cm³)
 Humedad optima: 10.21%
 D.M.C.S. al 95% 1881.95 (kg/cm³)
CBR en 95% D.M.C.S: 12%

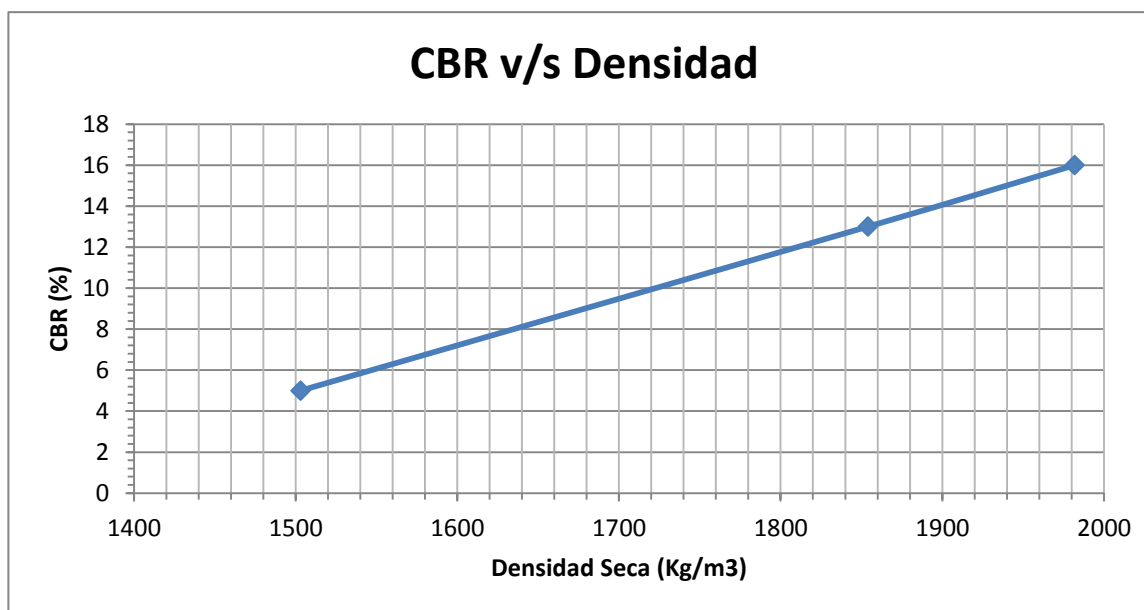
ENSAYE CBR (RAZON DE SOPORTE DE CALIFORNIA)

(Determinación de la razón de soporte a 0,2" de penetración y 95% DMCS)

Descripción del material: Sector Collao (Mat. B + 1:1500)

Ensayo N° 5

Referencia Molde	Densidad Seca		
	MAE-7	MAE-8	MAE-9
Energía de compactación (N° de golpes)	10	25	56
Volumen molde (cm ³)	2124.3	2114.1	2118.4
Molde (g)	5142.5	5215	5082
Molde + suelo + agua (g)	8661	9535	9709
Suelo + agua (g)	3519	4320	4627
Humedad (%)	10.21	10.21	10.21
Densidad seca (Kg/m ³)	1503	1854	1982
Razón de soporte (%)	5	13	16



D.M.C.S.: 1981.00 (kg/cm³)

Humedad optima: 10.21%

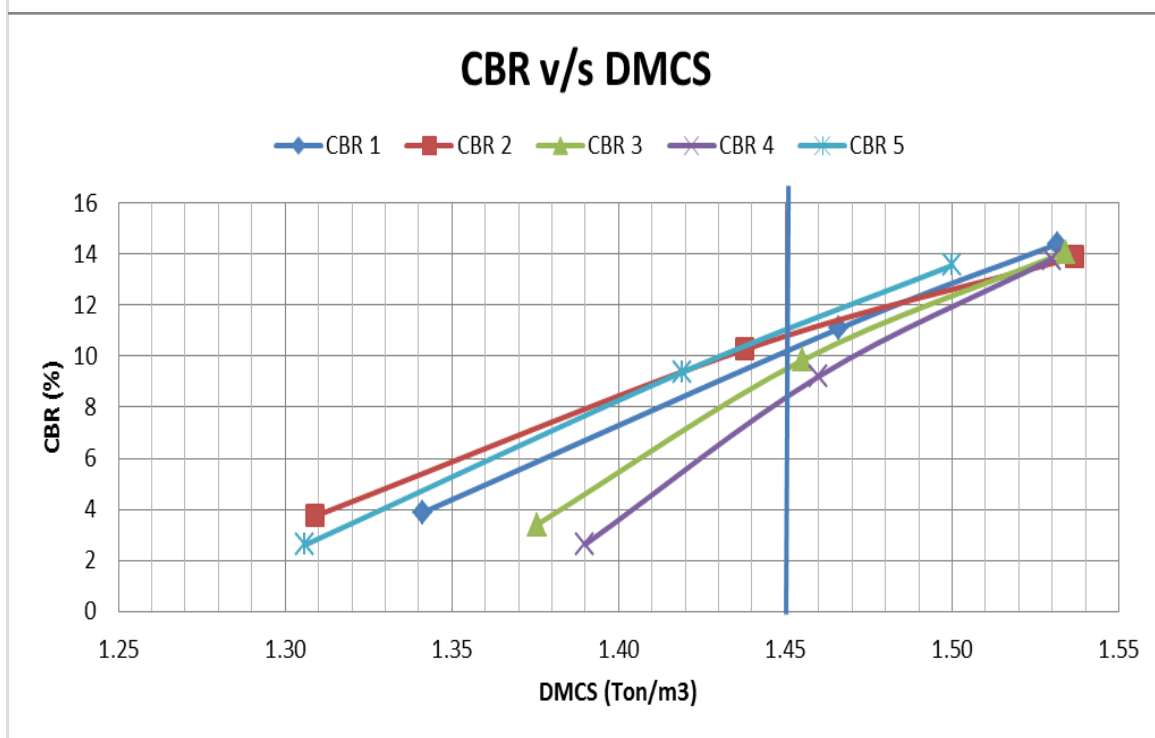
D.M.C.S. al 95% 1881.95 (kg/cm³)

CBR en 95% D.M.C.S: 14%

7.2 Planteamiento de hipótesis, validación de datos y tablas empleadas.

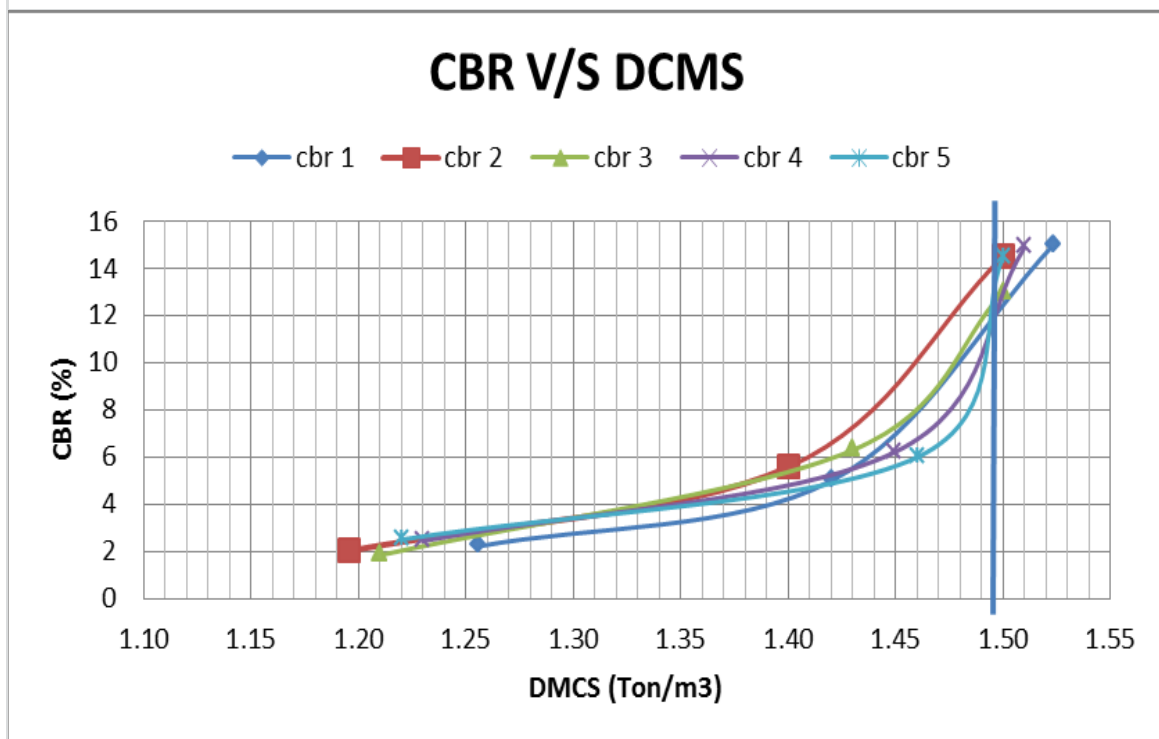
7.2.1 Tablas resumen ensayos CBR.

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat A
Tipo de Material:	Arena Arcillosa
Dosificación:	No Contiene
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



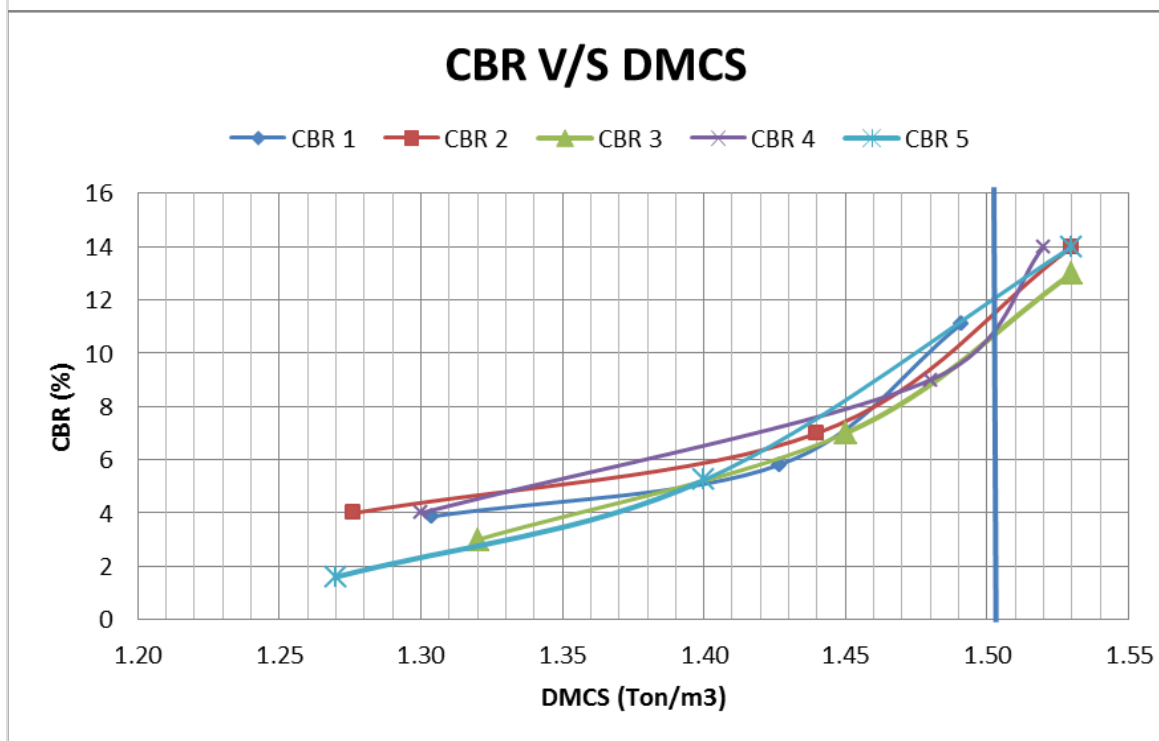
Resultados					
DMCS:			1526.97 (Kg/cm3)		
Humedad Optima:			26,82%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	3%	3%	3%	3%	3%
CBR (25 golpes)	11%	10%	10%	9%	9%
CBR (56 golpes)	14%	14%	14%	14%	14%
CBR a 95% DMCS	10%	10%	9%	8%	11%
CBR promedio	10%				
Desv. Estandar:	1%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat A
Tipo de Material:	Arena Arcillosa
Dosificación:	1lt:1000lt
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



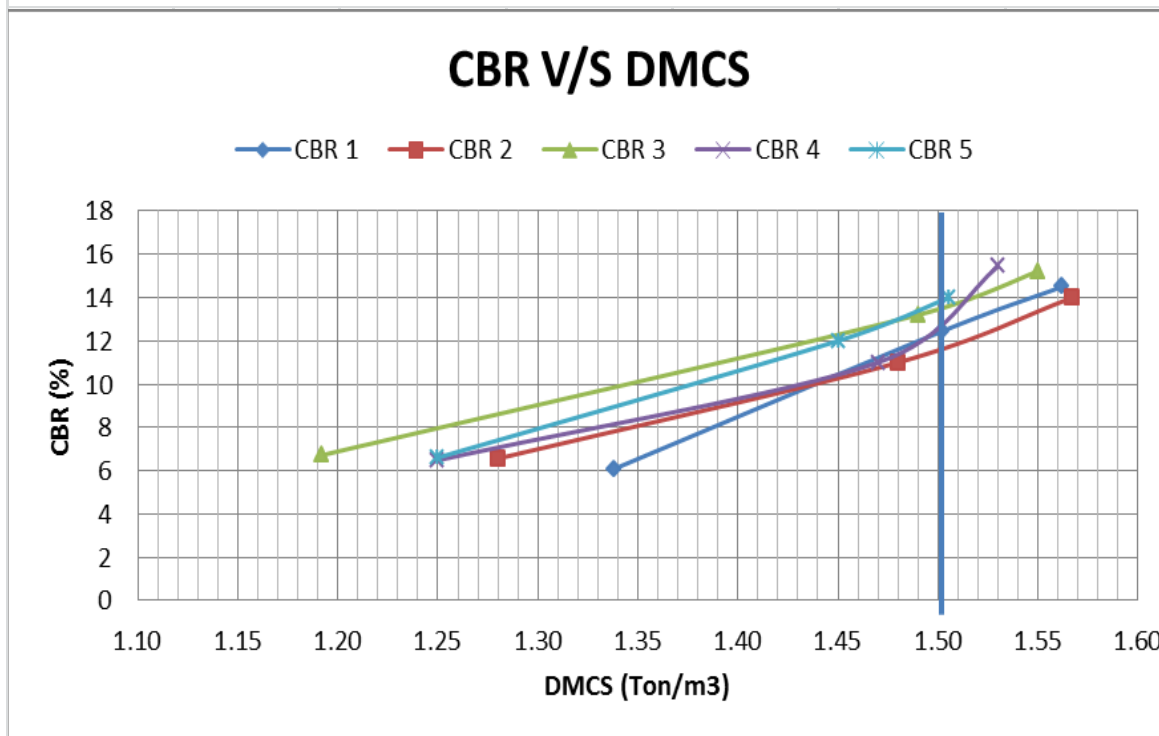
Resultados					
DMCS:			1575.38 (Kg/cm ³)		
Humedad Optima:			25,21%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	2%	2%	2%	2%	3%
CBR (25 golpes)	5%	6%	6%	6%	6%
CBR (56 golpes)	15%	15%	13%	15%	14%
CBR a 95% DMCS	12%	14%	12%	12%	12%
CBR promedio	12%				
Desv. Estandar:	1%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat A
Tipo de Material:	Arena Arcillosa
Dosificación:	1lt:500lt
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



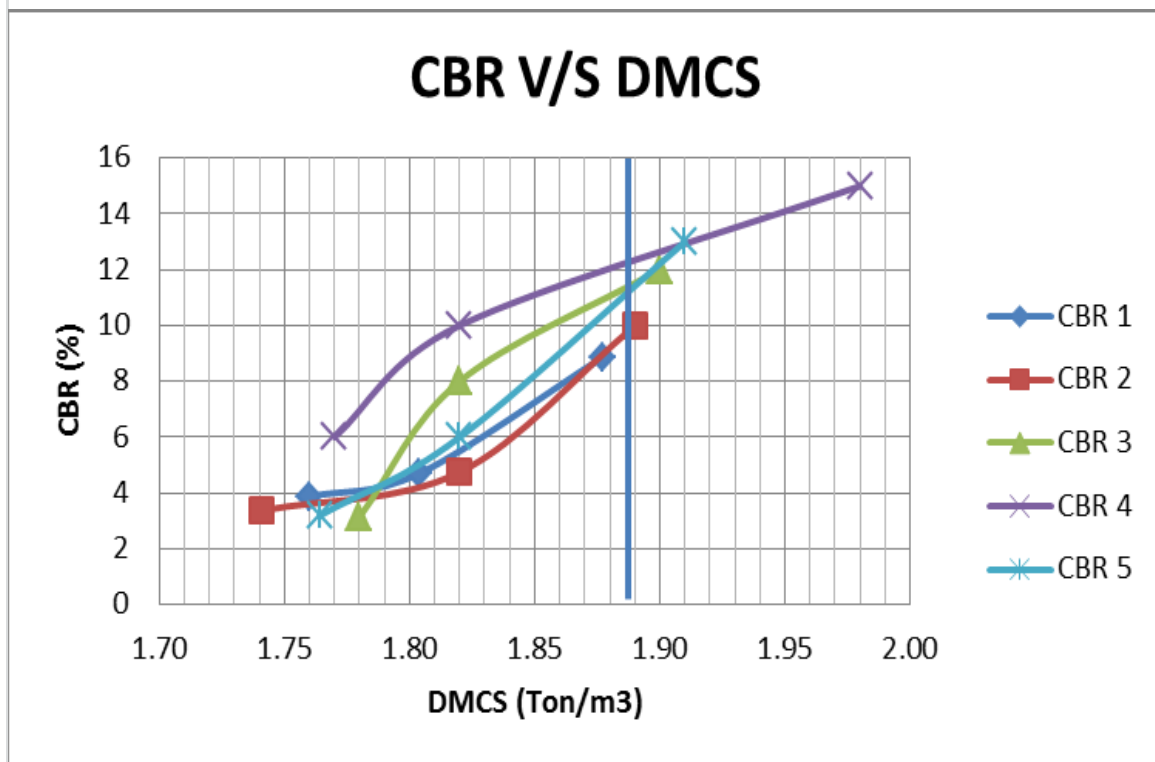
Resultados					
DMCS:			1581.69 (Kg/cm3)		
Humedad Optima:			25,44%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	4%	4%	3%	4%	2%
CBR (25 golpes)	6%	7%	7%	9%	5%
CBR (56 golpes)	11%	14%	13%	14%	14%
CBR a 95% DMCS	12%	12%	11%	11%	12%
CBR promedio	12%				
Desv. Estandar:	1%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat A
Tipo de Material:	Arena Arcillosa
Dosificación:	1lt:1500lt
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



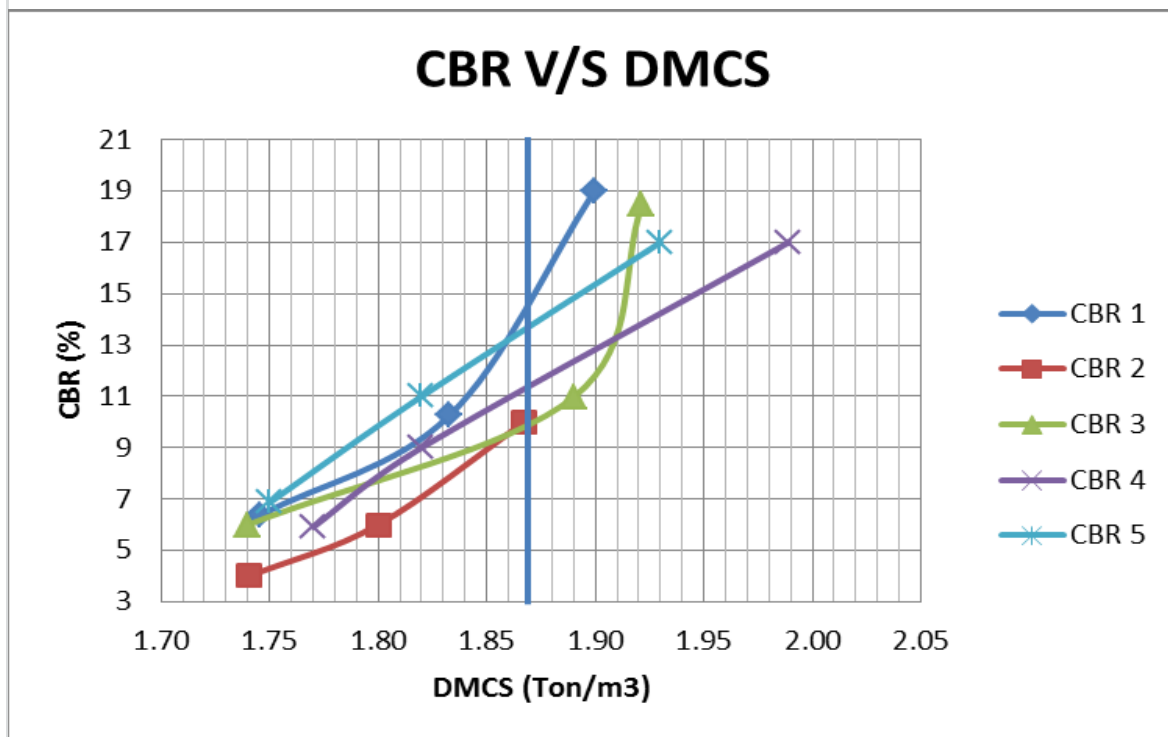
Resultados					
DMCS:			1585.11 (Kg/cm3)		
Humedad Optima:			26,54%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	6%	7%	7%	6%	6%
CBR (25 golpes)	12%	11%	13%	11%	12%
CBR (56 golpes)	15%	14%	15%	15%	14%
CBR a 95% DMCS	12%	11%	13%	12%	14%
CBR promedio	12%				
Desv. Estandar:	1%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat B
Tipo de Material:	Arena Limosa
Dosificación:	No contiene
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



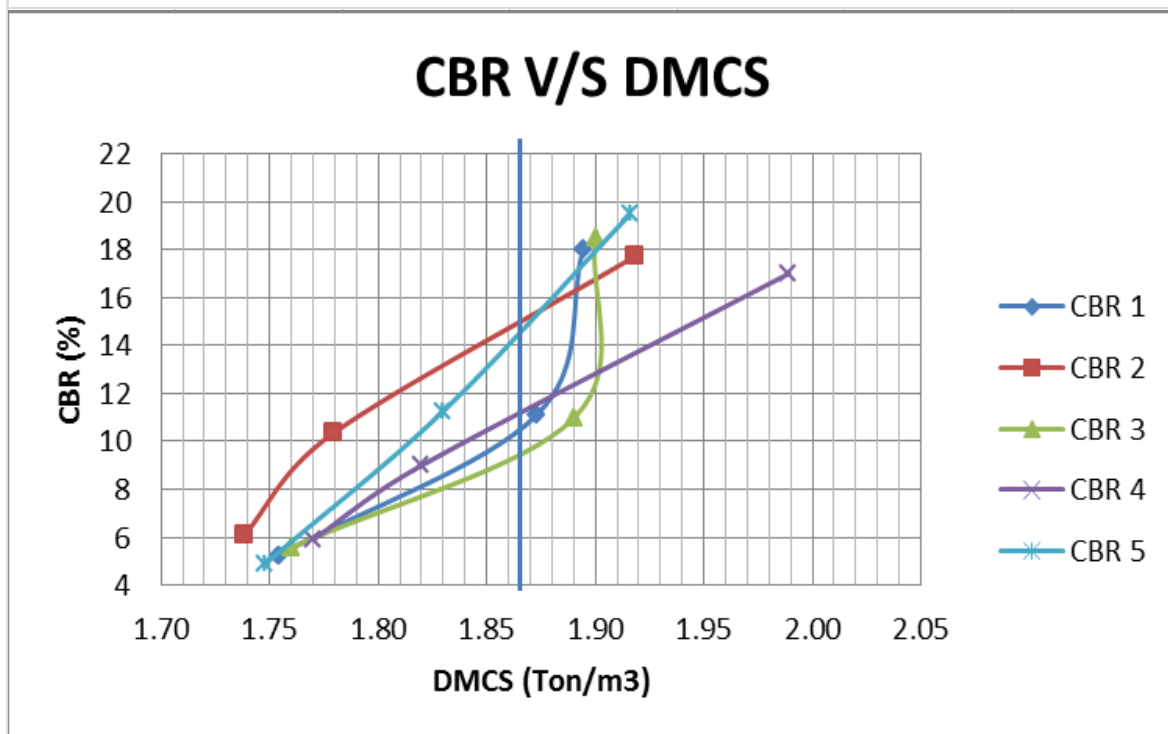
Resultados					
DMCS:			1986.31 (Kg/cm3)		
Humedad Optima:			11,21%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	4%	3%	3%	6%	3%
CBR (25 golpes)	5%	5%	8%	10%	6%
CBR (56 golpes)	9%	10%	12%	15%	13%
CBR a 95% DMCS	9%	9%	11%	12%	14%
CBR promedio	11%				
Desv. Estandar:	2%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat B
Tipo de Material:	Arena Limosa
Dosificación:	1lt:1000lt
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



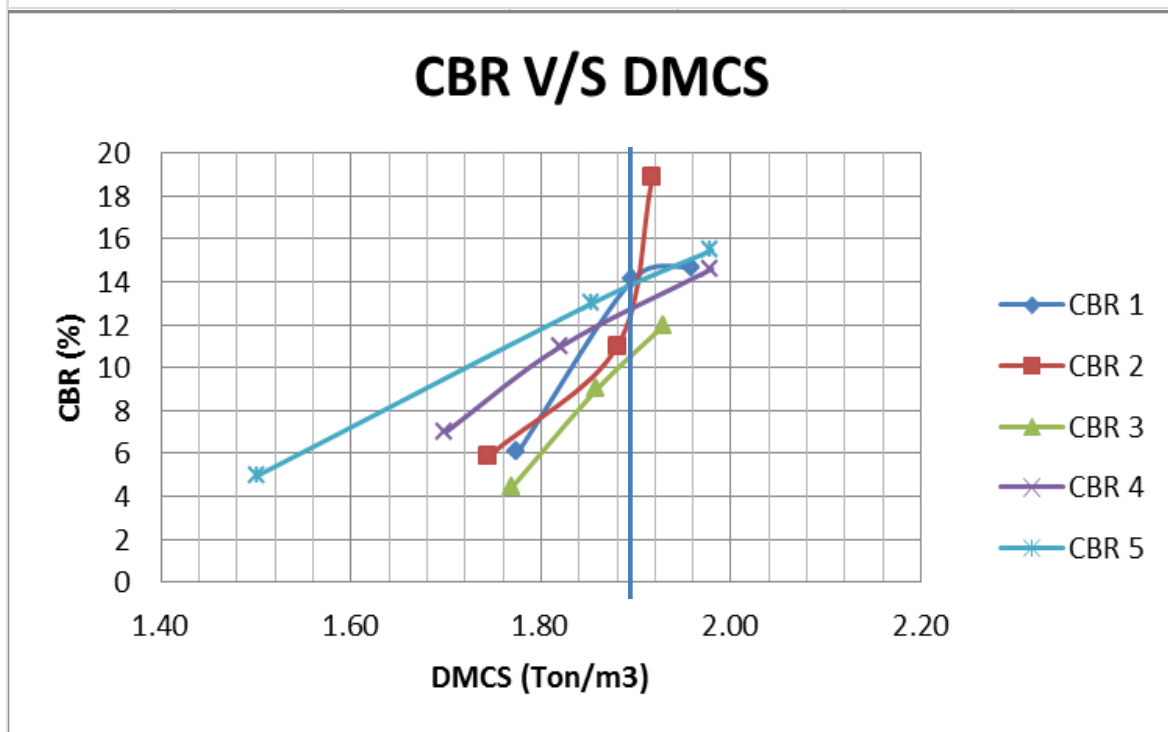
Resultados					
DMCS:			1969.07 (Kg/cm3)		
Humedad Optima:			10,80%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	6%	4%	6%	6%	7%
CBR (25 golpes)	10%	6%	11%	9%	11%
CBR (56 golpes)	19%	10%	18%	17%	17%
CBR a 95% DMCS	15%	10%	10%	11%	14%
CBR promedio	12%				
Desv. Estandar:	2%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat B
Tipo de Material:	Arena Limosa
Dosificación:	1lt:500lt
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



Resultados					
DMCS:			1964.13 (Kg/cm3)		
Humedad Optima:			10,72%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	5%	6%	6%	6%	5%
CBR (25 golpes)	11%	10%	11%	9%	11%
CBR (56 golpes)	18%	18%	18%	17%	20%
CBR a 95% DMCS	11%	15%	10%	11%	15%
CBR promedio	12%				
Desv. Estandar:	2%				

Razón de Soporte de California (CBR)	
Identificador del material:	Mat B
Tipo de Material:	Arena Limosa
Dosificación:	1lt:1500lt
Ensayo bajo Norma:	NCh1852.Of81



Resultados					
DMCS:			1981.9 (Kg/cm ³)		
Humedad Optima:			10,21%		
Ensayo	1	2	3	4	5
CBR (10 golpes)	6%	6%	4%	7%	5%
CBR (25 golpes)	14%	11%	9%	11%	13%
CBR (56 golpes)	15%	19%	12%	15%	16%
CBR a 95% DMCS	13%	11%	10%	12%	14%
CBR promedio	12%				
Desv. Estandar:	2%				

7.2.2 Procedimiento calculo estadístico.

Para las diversas dosificaciones y suelos naturales se asumen los siguientes valores e hipótesis:

Valor de significación (α): 0.05

Probabilidad de ocurrencia de hipótesis 1: 90%

Hipótesis Nula: $H_0: \mu_n = \mu_1, \mu_2, \mu_3$

Hipótesis $H_1: \mu_n < \mu_1, \mu_n < \mu_2, \mu_n < \mu_3$

Parte A: Prueba de hipótesis.

Resumen de resultados Mat A:

Ensayos	1	2	3	4	5
CBR Suelo natural	10%	11%	9%	8%	11%
CBR 1:500	12%	12%	12%	11%	11%
CBR 1:1000	12%	14%	12%	11%	12%
CBR 1:1500	12%	11%	13%	12%	14%
CBR promedio Suelo Natural (μ_n)	10%	Desv. Estándar (σ_n)			1%
CBR Promedio 1:500 (μ_1)	12%	Desv. Estándar (σ_1)			1%
CBR promedio 1:1000 (μ_2)	12%	Desv. Estándar (σ_2)			1%
CBR promedio 1:1500 (μ_3)	12%	Desv. Estándar (σ_3)			1%
Z_0 (suelo natural vs 1:500)	3,1622	Resultado Hipótesis nula			Rechazada
Z_0 (suelo natural vs 1:1000)	3,1622	Resultado Hipótesis nula			Rechazada
Z_0 (suelo natural vs 1:1500)	3,1622	Resultado Hipótesis nula			Rechazada

Tabla 1: Resultados del estadístico de prueba Mat A.

Fuente: Elaboración Propia.

Resumen de resultados Mat b:

Ensayos	1	2	3	4	5
CBR Suelo natural	9%	10%	11%	12%	14%
CBR 1:500	11%	15%	10%	11%	15%
CBR 1:1000	15%	10%	10%	11%	14%
CBR 1:1500	14%	12%	10%	12%	14%
CBR promedio Suelo Natural (μ_n)	11%	Desv. Estándar (σ_n)			2%
CBR Promedio 1:500 (μ_1)	12%	Desv. Estándar (σ_1)			2%
CBR promedio 1:1000 (μ_2)	12%	Desv. Estándar (σ_2)			2%
CBR promedio 1:1500 (μ_3)	12%	Desv. Estándar (σ_3)			2%
Z_0 (suelo natural vs 1:500)	0,7905	Resultado Hipótesis nula			Aprobada
Z_0 (suelo natural vs 1:1000)	0,7905	Resultado Hipótesis nula			Aprobada
Z_0 (suelo natural vs 1:1500)	0,7905	Resultado Hipótesis nula			Aprobada

Tabla 2: Resultados del estadístico de prueba Mat B.

Fuente: Elaboración Propia.

Parte B: Selección tamaño de muestra.

A continuación se muestra los resultados para la selección del tamaño de muestra del Material A:

(μ_n)	10%	Desv. Estándar (σ_n)	1%
(μ_1)	12%	Desv. Estándar (σ_1)	1%
(μ_2)	12%	Desv. Estándar (σ_2)	1%
(μ_3)	12%	Desv. Estándar (σ_3)	1%
d (suelo natural vs 1:500)	1,4141	Cantidad de ensayos(n)	5
d (suelo natural vs 1:1000)	1,4142	Cantidad de ensayos(n)	5
d (suelo natural vs 1:1500)	1,4142	Cantidad de ensayos(n)	5

Tabla 3: Selección Tamaño de muestra Mat A. Fuente: Elaboración Propia.

Resultados para la selección del tamaño de muestra del Material B:

(μ_n)	11%	Desv. Estándar (σ_n)	2%
(μ_1)	12%	Desv. Estándar (σ_1)	2%
(μ_2)	12%	Desv. Estándar (σ_2)	2%
(μ_3)	12%	Desv. Estándar (σ_3)	2%
d (suelo natural vs 1:500)	0,3535	Cantidad de ensayos(n)	100
d (suelo natural vs 1:1000)	0,3535	Cantidad de ensayos(n)	100
d (suelo natural vs 1:1500)	0,3535	Cantidad de ensayos(n)	100

Tabla 4: Selección Tamaño de muestra Mat B. Fuente: Elaboración Propia.

