

**ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA  
PARA SER UTILIZADO COMO BASE**

**OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR**

**BRUNO MEDRANO BARAJAS**

**FABIAN G. NADAD CAMPO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS, D.T.**

**2006**

**ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA  
PARA SER UTILIZADO COMO BASE**

**OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR**

**BRUNO MEDRANO BARAJAS**

**FABIAN G. NADAD CAMPO**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniero Civil

DIRECTOR

**BENJAMIN E. ARANGO Z.**

Magíster En Ingeniería Ambiental

ASESOR

**HERNAN RAMOS VILLAMIL**

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS, D.T.**

**2006**

Cartagena de Indias, 28 de Abril de 2006

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
Ciudad

Apreciados señores:

La presente tiene por objeto, presentar para su estudio y aprobación nuestro trabajo de Tesis de Grado titulado: **“ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA PARA SER UTILIZADO COMO BASE”**, como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Agradezco de antemano la atención que merezca la presente.

Cordialmente,

---

**OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR**

C.C # 92.548.249 DE SINCELEJO

Cartagena de Indias, 28 de Abril de 2006

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
Ciudad

Apreciados señores:

La presente tiene por objeto, presentar para su estudio y aprobación nuestro trabajo de Tesis de Grado titulado: **“ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA PARA SER UTILIZADO COMO BASE”**, como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Agradezco de antemano la atención que merezca la presente.

Cordialmente,

---

**BRUNO MEDRANO BARAJAS**

C.C # 79.851.247 DE BOGOTA D.C

Cartagena de Indias, 28 de Abril de 2006

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
Ciudad

Apreciados señores:

La presente tiene por objeto, presentar para su estudio y aprobación nuestro trabajo de Tesis de Grado titulado: **“ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA PARA SER UTILIZADO COMO BASE”**, como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Agradezco de antemano la atención que merezca la presente.

Cordialmente,

---

**FABIAN G. NADAD CAMPO**

C.C # 73.183.410 DE CARTAGENA

Cartagena de Indias, 28 de abril de 2006

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
Ciudad

Apreciados señores:

El presente tiene por objeto comunicarles que he dirigido a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil **OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR, BRUNO MEDRANO BARAJAS Y FABIAN G. NADAD CAMPO** en su trabajo de Tesis de Grado titulado “**ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA PARA SER UTILIZADO COMO BASE**”, presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Agradeciendo la atención prestada.

---

**BENJAMIN E. ARANGO Z.**  
Magíster En Ingeniería Ambiental

Cartagena de Indias, 28 de Abril de 2006

Señores:

**COMITÉ DE EVALUACIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
Universidad Tecnológica de Bolívar  
Ciudad

Apreciados señores:

El presente tiene por objeto comunicarles que he dirigido a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil **OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR, BRUNO MEDRANO BARAJAS Y FABIAN G. NADAD CAMPO** en su trabajo de Tesis de Grado titulado “**ESTABILIZACION CON CAL DEL SUELO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA PARA SER UTILIZADO COMO BASE**”, presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Agradeciendo la atención prestada.

---

**HERNAN RAMOS VILLAMIL**

Ingeniero Civil

## AUTORIZACIÓN

**Cartagena de Indias, D. T. y C.**

Yo, OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR identificado con número de cédula 92.548.249 de Sincelejo, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

---

**OSCAR DAVID FONTALVO ABUCHAR**



## AUTORIZACIÓN

**Cartagena de Indias, D. T. y C.**

Yo, BRUNO MEDRANO BARAJAS identificado con número de cédula 79.851.247 de Bogotá, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

---

**BRUNO MEDRANO BARAJAS**

## AUTORIZACIÓN

**Cartagena de Indias, D. T. y C.**

Yo, FABIAN GREGORIO NADAD CAMPO identificado con número de cédula 73.183.410 de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

---

**FABIAN GREGORIO NADAD CAMPO**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

## **DEDICATORIA**

Le agradezco a Dios por haberme iluminado el camino para poder llegar hasta esta etapa de mi vida.

Le dedico este triunfo a mi madre, hermana y especialmente a mi padre que desde el cielo me guió para llegar a esta meta, por que con su esfuerzo y apoyo incondicional este triunfo no hubiese culminado con éxito mi vida de estudiante y no hubiera podido comenzar otra lucha hacia el largo camino del profesional.

También a mi novia Una, por haberme dado su apoyo, comprensión y amor para poder salir adelante con mi formación profesional.

**OSCAR**

## DEDICATORIA

A Dios por iluminarme, guiarme y darme la fuerza necesaria para alcanzar este logro tan importante en mi vida personal.

A mis padres por su incansable lucha y sacrificio donde me brindaron su apoyo incondicional, dándome en todo momento ánimos frente a los diferentes obstáculos que se han presentado.

A mis hermanas por su apoyo y compañía a lo largo de mi carrera, quienes me aconsejaron frente a mis inquietudes y me aportaron su experiencia.

A mi novia Cecilia por su compañía, apoyo y comprensión incondicional; quien siempre esta pendiente de mi y tiene además una palabra de animo cuando estoy decaído, a ella a la que amo con todo mi corazón le dedico este triunfo.

A mis amigos por estar siempre a mi lado dándome ánimo.

Y a mis profesores que compartieron conmigo su experiencia y conocimientos para poder llegar a esta meta.

Gracias

**BRUNO**

## DEDICATORIA

Primero le agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para empezar y culminar mis estudios.

Les dedico este triunfo a mis padres por haberme brindado todo su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi carrera, por haberme enseñado el camino correcto, por haber confiado y creído en mis capacidades.

A mis hermanos por su compañía a lo largo de mi carrera.

A mi novia Yurany por haberme dado su apoyo, ánimo, comprensión y amor en todo momento de mi vida como estudiante.

A toda mi familia y amigos por estar siempre a mi lado dándome ánimos para poder finalizar con éxito mi tesis.

Y en especial a todo el cuerpo de profesores de la facultad de Ingeniería Civil que depositaron en mí todas sus enseñanzas.

**FABIAN**

## AGRADECIMIENTOS

**Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:**

A nuestro director. **Ing. Benjamin E. Arango Z.**

A nuestro asesor **Ing. Hernán Ramos Villamil**

A todos los profesores y compañeros que a lo largo de nuestra formación profesional nos brindaron y compartimos sus conocimientos, su amistad, su alegría y apoyo.

Y a todas aquellas personas que colaboraron en alguna forma para la ejecución de este proyecto.

## RESUMEN

**1. Título:** Estabilización con cal del suelo de la ciudad de Cartagena para ser utilizado como base.

**2. Autores:** Oscar David Fontalvo Abuchar, Bruno Medrano Barajas, Fabián Gregorio Nadad Campo.

**3. Objetivo General:** Mejorar las propiedades del suelo de Cartagena mediante la estabilización con Cal, verificando los resultados obtenidos en los ensayos con las normas establecidas por INVIAS para bases granulares.

**4. Síntesis de Metodología:** Se recolecto un material de propiedades similares al suelo de la ciudad de Cartagena para ser estabilizado por medio de la adición de Cal, este es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material por estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.

Los porcentajes adicionados a la muestra fueron del 2, 3, 5, 7 los cuales fueron verificados con los ensayos de C.B.R. y Límites de atterberg para ver si cumplían con lo exigido por las normas INVIAS.

**5. Síntesis de resultados:** La modificación del suelo de Cartagena depende de las características del mismo y de sus deficiencias.

En este caso se necesito aumentar la resistencia y disminuir el índice de Plasticidad. Los cuales no cumplían con las normas INVIAS. Esto se pudo lograr por medio de un agente cementador o ligante, que en este caso fue la Cal en un porcentaje igual al 2% esto fue verificado por los ensayos de Granulometría,



Límites de Atterberg, Proctor Modificado, C.B.R y Peso volumétrico suelto los cuales también se le realizaron a los 4, 14 y 28 días para comprobar el comportamiento de la Cal en la muestra al pasar del tiempo de igual manera se realizó con los porcentajes de 3, 5 y 7. Lo cual arrojó un aumento considerable en la resistencia y una pérdida casi total del Índice de Plasticidad para cada porcentaje.

Al realizar el análisis de costos para comprobar la economía del método de estabilización con Cal, este arrojó resultados positivos dando cumplimiento a una de las propiedades de los métodos de estabilización.

**6. Síntesis de conclusiones:** La muestra del suelo de Cartagena sin contenido de cal, no cumplió con lo mínimo requerido por el INVIAS con respecto a los ítems de C.B.R. e Índice de Plasticidad pero al realizar una combinación 2: Zahorra 1: Arena, se obtuvo un incremento en el C.B.R. pero esta tampoco alcanzó a cumplir. Por otra parte la combinación 2: Zahorra 1: Arena, presentó un índice de plasticidad igual a cero al realizar los ensayos de límites de Atterberg cumpliendo con el aparte del índice de plasticidad  $\leq 3$  registrado en las normas INVIAS.

Continuando con la investigación Al adicionar Cal a la combinación 2: Zahorra 1: Arena esta cumplió con el C.B.R. requerido en las normas INVIAS y al analizar los resultados de las muestras con cal a los 4, 14 y 28 días con respecto al C.B.R, presentaron un incremento gradual al pasar los días.

**7. Asesor:** Hernán Ramos Villamil

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1 FORMULACION DEL PROBLEMA	4
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 Objetivos General	4
1.1.2 Objetivo Específicos	5
2 ANTECEDENTES	6
2.1 ESTABILIZACION DE SUELOS	6
2.1.1 Requisitos de la Estabilización	7
2.1.2 Métodos de Estabilización	8
2.1.3 Condiciones que debe Proporcionar un Agente Estabilizador	8
2.1.4 Propiedades de Suelos que más se Estudian en Problemas de Estabilización	9
2.2 ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL	10
2.2.1 Generalidades Sobre la Estabilización de Suelos	10
2.2.2 Influencia de la Cal en las Características de los Suelos	11
2.2.3 Influencia de la Cal Sobre las Constantes Físicas del Suelo	12
2.2.3.1 Limite Liquido-Limite Plástico-Índice de Plasticidad	12
2.2.3.2 Limite de Contracción	12
2.2.3.3 Influencia Sobre la Estructura Elemental	12
2.2.3.4 Influencia Sobre la Densidad Seca	13
2.2.3.5 Influencia Sobre la Resistencia de los Suelos	14
2.2.3.6 Determinación del Porcentaje Optimo de Cal	15
3 MARCO TEORICO	17
3.1 ESTABILIZACION DE SUELOS	17
3.2 DEFINICION DE CAL	17

3.2.1 Obtención de la Cal	18
3.2.2 Apagado de la Cal	19
3.2.3 Clases de Cal	19
3.2.4 Variedades Comerciales	20
3.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEAMDO CAL	21
3.4 ESTABILIZACION CON CAL	21
3.4.1 Requisitos de la Estabilización	22
3.4.2 Condiciones que debe Proporcionar un Agente Estabilizador	23
3.5 PROPIEDADES DE SUELOS QUE MAS SE ESTUDIAN EN PROBLEMAS DE ESTABILIZACION	23
3.6 VENTAJA DEL SUELO -CAL	25
3.7 DESVENTAJAS DEL SUELO-CAL	25
4 ETAPA EXPERIMENTAL	26
4.1 RECOLECCION DE MUESTRAS	26
4.2 ELECCION DEL TIPO DE CAL	27
4.3 REALIZACION DE ENSAYOS	27
4.3.1 Humedad Natural	27
4.3.2 Determinación de la Granulometría	28
4.3.3 Determinación de los Limites de Atterberg	28
4.3.3.1 Limite Liquido	29
4.3.3.2 Limite Plástico	30
4.3.4 Proctor Modificado	30
4.3.5 Ensayo de C.B.R(Relación Californiana de Soporte)	31
4.3.6 Ensayo de Peso Volumétrico Suelto	31
4.4 EQUIPOS UTILIZADOS	32
4.5 NORMAS REQUERIDAS	32
5 RESULTADO DE ANALISIS DE MUESTRAS	33

6 ANALISIS DE COSTOS 56

7 GRAFICAS DE RESULTADOS 59

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Resultados de Ensayo de Granulometría con el 0 % de Cal	33
Cuadro 2. Resultados de Ensayo de Granulometría de la Arena	34
Cuadro 3. Resultados de Ensayo de Granulometría combinación 1:1 (Zahorra-Arena)	34
Cuadro 4. Resultados de Ensayo de Granulometría combinación 2:1 (Zahorra-Arena)	35
Cuadro 5. Resultados de Ensayo de Granulometría combinación 2:1 con el 2 % de Cal	35
Cuadro 6. Resultados de Ensayo de Granulometría combinación 2:1 con el 3 % de Cal	36
Cuadro 7. Resultados de Ensayo de Granulometría combinación 2:1 con el 5 % de Cal	36
Cuadro 8. Resultados de Ensayo de Granulometría combinación 2:1 con el 7 % de Cal	37
Cuadro 9. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 0 % de Cal	38
Cuadro 10. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg de la Arena	38
Cuadro 11. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg Combinación 1:1 (Zahorra-Arena)	39
Cuadro 12. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg Combinación 2:1 (Zahorra-Arena)	39
Cuadro 13. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 2 % de Cal	40
Cuadro 14. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 3 % de Cal	40
Cuadro 15. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 5 % de Cal	41
Cuadro 16. Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 7 % de Cal	41

Cuadro 17. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 0% de Cal. (4 Días)	42
Cuadro 18. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 2% de Cal. (4 Días)	42
Cuadro 19. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 3% de Cal. (4 Días)	43
Cuadro 20. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 5% de Cal. (4 Días)	43
Cuadro 21. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 7% de Cal. (4 Días)	44
Cuadro 22. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 2% de Cal. (14 Días)	45
Cuadro 23. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 3% de Cal. (14 Días)	45
Cuadro 24. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 5% de Cal. (14 Días)	46
Cuadro 25. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 7% de Cal. (14 Días)	46
Cuadro 26. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 2% de Cal. (28 Días)	47
Cuadro 27. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 3% de Cal. (28 Días)	47
Cuadro 28. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 5% de Cal. (28 Días)	48
Cuadro 29. Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 7% de Cal. (28 Días)	48
Cuadro 30. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 0% de Cal. (4 Días)	49
Cuadro 31. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 2% de Cal. (4 Días)	49
Cuadro 32. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 3% de Cal. (4 Días)	50

Cuadro 33. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 5% de Cal. (4 Días)	50
Cuadro 34. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 7% de Cal. (4 Días)	51
Cuadro 35. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 2% de Cal. (14 Días)	52
Cuadro 36. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 3% de Cal. (14 Días)	52
Cuadro 37. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 5% de Cal. (14 Días)	53
Cuadro 38. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 7% de Cal. (14 Días)	53
Cuadro 39. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 2% de Cal. (28 Días)	54
Cuadro 40. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 3% de Cal. (28 Días)	54
Cuadro 41. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 5% de Cal. (28 Días)	55
Cuadro 42. Resultados de Ensayo de C.B.R con el 7% de Cal. (28 Días)	55

## LISTA DE IMAGENES

	Pág.
Imagen 1. Material Existente en Cartagena	
Imagen 2. Material Existente en Cantera Cimaco	26
Imagen 3. Tamices	28
Imagen 4. Peso Material Húmedo	29
Imagen 5. Determinación del Limite Plástico	30
Imagen 6. Martillo y Molde de Compactación	30
Imagen 7. Maquina de Penetración para C.B.R	31



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Valores para los Tipos y Cantidades de Cal en uso, para el Mejoramiento del Suelo y la Estabilización del Suelo	22
TABLA 2. Requisitos de los Materiales para Afirmados, Bases Granulares	32

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de Los Diferentes Ensayos

## INTRODUCCION

Cuando el suelo encontrado en un proyecto vial no cumple las especificaciones requeridas por las normas INVIAS, el ingeniero a cargo debe optar por una de las siguientes alternativas:

- Remover y reemplazar el suelo deficiente por otro material que ofrezca mejores propiedades.
- Mejorar las propiedades del suelo existente por medio de una estabilización.<sup>1</sup>



**Imagen 1. Material Existente en Cartagena**

La estabilidad de un suelo que contenga material fino y grueso depende de la distribución de los diferentes tamaños de sus partículas, de la forma de las partículas, su peso volumétrico, su fricción interna y su cohesión.

---

<sup>1</sup> FERNANDEZ LOAIZA, Carlos. Mejoramiento y Estabilización de Suelos

Una de las propiedades más importantes en un suelo es su resistencia y uno de los factores que mayor influencia tienen sobre ella es la distribución granulométrica de las partículas del suelo, sin menospreciar a la forma y textura de éstas. La resistencia de un suelo se ve entonces influenciada por la proporción de agregados gruesos y finos que contenga éste.

La estabilización del suelo ha sido un mecanismo fundamental para los diseños de pavimentos rígidos y flexibles, debido a que proporcionan mejores condiciones para el suelo, disminuyen los costos de acarreo y explotación de materiales de las canteras o de los ríos evitando así las alteraciones del paisaje y haciendo mínimo el impacto ambiental. Dentro de las estabilizaciones, el tratamiento con cal aplicable a casi todo tipo de suelo, su dosificación y el diseño de los espesores de las capas son sencillos y se requieren equipos de construcción simples, permitiendo una mayor duración de la capa de rodadura.

En Colombia los métodos más utilizados para la estabilización de suelos son:

- *Compactación Mecánica:* Es el método más utilizado en Colombia, cuyo objetivo es la reducción de la relación de vacíos, esto se obtiene mediante la aplicación de ondas de choque y vibraciones.
- *Suelo Cemento:* Este tratamiento muy utilizado para estabilización de suelos genera un aumento ya que genera un aglutinamiento entre el cemento y el material.
- *Suelo Cal:* Este tratamiento es poco utilizado en Colombia debido a su poco conocimiento, el cual consiste en reducir el límite líquido y un aumento del límite plástico, esto se logra con la interacción química de la cal y el suelo.
- *Estabilización mediante adición de productos Asfálticos:* Usado primordialmente como sellante del suelo.

La estabilización de suelos por medio de cal ha sido poco empleado en Colombia, donde su propósito es mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos.

La incorporación de cal mejora en muchos casos las características plásticas de los suelos, haciéndolos más friables y por sobre todo, aumentando considerablemente el valor soporte, acción que se ha demostrado continua en función del tiempo.

Así mismo, puede usarse cal en combinación con otros estabilizantes dando lugar a sistemas mixtos de estabilización. Por ejemplo, en la estabilización bituminosa, la cal influye en corregir las características plásticas de los suelos cohesivos con lo cual se mejora la acción posterior del betún.

La incorporación previa de cal puede ser ventajosa en el tratamiento de suelos plásticos (arcillas pesadas) con cemento. La cal reduce la plasticidad, facilita la posterior pulverización del suelo y por consiguiente el mezclado con el cemento, así como reduce las cantidades de este material.

## **1. FORMULACION DEL PROBLEMA**

Las zahorras de la ciudad de Cartagena se caracterizan por presentar CBR comprendidos entre el 20% y el 50%, el cual hace poco recomendable su utilización como material de base para pavimento donde las normas INVIAS recomiendan un CBR del 80% mínimo para obtener resultados satisfactorios.

Con la adición de diferentes porcentajes de cal al suelo granular se pretende dar una estabilidad química, para obtener una resistencia al esfuerzo cortante que cumpla con lo requerido para los materiales de base en pavimentos.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1. Objetivo General**

Mejorar las propiedades del suelo de Cartagena mediante la estabilización con cal verificando los resultados obtenidos en los ensayos con las normas establecidas por INVIAS para bases granulares.

#### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Seleccionar material granular a ensayar en el laboratorio.
- Determinar el contenido de humedad de las muestras.
- Elaborar análisis granulométrico a las muestras, para clasificar el suelo.
- Determinar límites de Atterberg de las muestras, para así comparar los resultados con las normas (INVIAS).

- Hallar el peso específico de las muestras, para poder elaborar un análisis de costos.
- Determinar el porcentaje de cal óptimo que se le debe adicionar a un suelo granular que presente características semejantes a los suelos en estudio para usarlo como material de base para pavimentos.
- Mejorar las propiedades mecánicas de un suelo granular al ser mezclado con diferentes porcentajes de cal y arena.
- Disminuir la plasticidad y obtener un aumento en la resistencia y la durabilidad en suelos granules tratados con cal.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Este término incluye todos los métodos físicos, químicos, térmicos, eléctricos o cualquier combinación de los mismos que permitan un mejoramiento del suelo para que sirva adecuadamente a los fines que piensa utilizarse.

En términos de Ingeniería de Carreteras se da el nombre de estabilización a aquellos métodos de mejoramiento de los suelos para que proporcionen capas de base y ocasionalmente superficies de rodadura, que puedan soportar las cargas aplicadas bajo todas las condiciones normales de humedad y de tráfico, conservándose el factor economía del pavimento.

Las finalidades principales perseguidas con la estabilización de los suelos son:

- Suministro de base para pavimentos de calidad en vías de primer orden (donde las piedras de alta calidad o grava triturada requerida no son obtenidas económicamente).
- Construcción de bases y superficies de rodadura adecuadas, que se hagan transitables en toda época (vías secundarias).
- Construcción en ciertas áreas que deben hacerse transitables en período de corto tiempo (arenas de playa).



### **2.1.1. Requisitos de la Estabilización**

La modificación del suelo depende de las características del mismo y de sus deficiencias.

En la mayoría de los casos se necesita aumentar la RESISTENCIA. Si el suelo es no cohesivo esto se puede lograr por confinamiento o dándole cohesión por un agente cementador o ligante. Si el suelo es cohesivo se puede aumentar la resistencia haciéndolo resistente a la humedad alterando la película de agua absorbida, aumentando la cohesión con un agente cementador y aumentando la acción interna.

La reducción de la COMPRESIBILIDAD se puede lograr llenando los poros, cementando los granos con un material rígido o cambiando las fuerzas absorbidas por el mineral de arcilla.

La inmunidad a la RETRACCION y a la EXPANSION se puede lograr cementando, modificando la capacidad del mineral arcilloso para la absorción de agua y haciendo el suelo resistente a los cambios de humedad.

La PERMEABILIDAD se puede reducir llenando los poros con un material impermeable o modificando la estructura del mineral de arcilla y el agua absorbida para impedir la floculación. Se puede aumentar la permeabilidad quitando los granos finos o creando una estructura conglomerada.

### **2.1.2. Métodos de Estabilización**

Desde el punto de vista de su función o efecto en el suelo:

- Retención de humedad: Que retiene la humedad del suelo.
- Resistencia a la humedad: Que impide que la humedad entre en suelo o que afecte los materiales de arcilla.
- Cementación: Que une las partículas entre si sin modificarlas.
- Relleno: Que rellena los poros.
- Estabilización mecánica: Que mejora la graduación del suelo.
- Alteración físico-química: Que cambia el mineral arcilloso o el sistema agua absorbida mineral arcilloso.

### **2.1.3. Condiciones que debe Proporcionar un Agente Estabilizador**

- Debe ser compatible con el material del suelo.
- Debe ser permanente.
- Debe ser fácil de manejar y preparar.
- Debe tener un bajo costo.

#### **2.1.4. Propiedades de Suelos que más se Estudian en Problemas de Estabilización**

- Estabilidad Volumétrica (Infiltración de la humedad): Referente a los suelos expansivos por cambios de humedad. Se trata de transformar una masa de arcilla expansiva en una masa rígida o en una granolada con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones internas de expansión. Esto se logra por tratamientos químicos o térmicos.
  - Tratamientos químicos: Para arcillas ubicadas cerca de la superficie del terreno.
  - Tratamientos térmicos: Para arcillas más profundas.
- Resistencia: La compactación es una forma de estabilización mecánica a la que se recurre para incrementar la resistencia de los suelos. Algunas de las formas de estabilización más usadas para elevar la resistencia son las siguientes: compactación, vibroflotación, precarga, drenaje, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos y estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos. La resistencia es afectada cuando se tienen importantes contenidos de materia orgánica (suelos orgánicos), cuando la materia orgánica se descomponga se produce un material fibroso, el cual produce asentamientos en el suelo debido a cargas.
- Permeabilidad: Se puede modificar por métodos como la compactación o la inyección. En materiales arcillosos el uso de floculantes (por ejemplo polifosfatos) puede reducir la permeabilidad significativamente, pero el uso de floculantes (Hidróxido de cal  $\text{Ca(OH)}_2$  o yeso) aumenta el valor de la permeabilidad. En la actualidad se disponen de algunas sustancias que introducidas en el suelo en forma de emulsión pueden reducir mucho su permeabilidad (el uso de estas sustancias pueden ejercer efectos

desfavorables en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

- Durabilidad: Aquellos que se refieren a la resistencia a la intemperie, a la erosión o a la abrasión de tráfico. Los problemas de durabilidad en las vías terrestres están asociados a suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento, afectando a suelos naturales como a suelos estabilizados (debido a diseños inadecuados como una mala elección del agente estabilizador o cuando se ignora la susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados con cemento a la presencia de sulfatos).

## **2.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL**

### **2.2.1 Generalidades sobre la Estabilización de Suelos**

El objetivo primordial de la estabilización de los suelos es modificar sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y a la vez incrementar su resistencia y su durabilidad con el fin de obtener un material de base óptimo. Los materiales más utilizados actualmente en el mundo con estos fines en la construcción de carreteras son:

- Cemento
- Cal
- Asfalto
- Arena

Es práctico utilizar la cal cuando el índice de plasticidad del suelo es mayor de 15 y el porcentaje del tamiz No. 200 es mayor de 25. Sin embargo, la cal es poco efectiva en suelos altamente orgánicos o con pocas cantidades de arcilla capaz de reaccionar con la cal.

### 2.2.2 Influencia de la Cal en las Características de los Suelos

La cal generalmente produce una disminución en la densidad de los suelos modifica la plasticidad, y aumenta la capacidad soporte y resistencia al corte del material y reduce su hinchamiento.

La acción de la cal suele explicarse como efectuada por tres reacciones básicas:

- La primera es la alteración de la película de agua que rodea los minerales arcilla.
- El segundo proceso es el de coagulación o floculación de las partículas del suelo, dado que la cantidad de cal ordinariamente empleada en las construcciones viales (del 4 al 10% en peso) resulta en una concentración del ión calcio mayor que la realmente necesaria.
- El tercer proceso a través del cual la cal afecta el suelo, es su reacción con componentes del mismo para formar nuevos productos químicos. Los 2 principales componentes que reaccionan con la cal son la alúmina y la sílice. Esta reacción es prolongada en la acción del tiempo y se manifiesta en una mayor resistencia si las mezclas de suelo-cal son curadas durante determinados lapsos de tiempo. Este hecho es conocido como "acción puzolánica".

El grado al cual la cal reacciona con el suelo depende de ciertas variables tales como cantidad de cal, clase de suelo y período de tiempo del curado de mezcla suelo-cal.

## **2.2.3 Influencia de la Cal sobre las Constantes Físicas del Suelo**

### **2.2.3.1 Límite Líquido - Límite Plástico - Índice de Plasticidad**

Una de las funciones más importantes de la cal es que modifica la plasticidad del suelo en forma bastante apreciable.

Para suelos con índices plásticos inferiores a 15, la cal incrementa el límite líquido en forma que el índice plástico experimenta un ligero incremento. Para suelos más plásticos ( $IP > 15$ ) la cal generalmente reduce el límite líquido y aumenta el límite plástico, traduciéndose en una disminución apreciable del índice plástico.

### **2.2.3.2 Límite de Contracción**

Se ha dicho que la adición de cal flocula las partículas arcillosas del suelo transformando su textura elemental. La influencia sobre el límite de contracción que experimenta el suelo tratado.

### **2.2.3.3 Influencia sobre la Textura Elemental**

Como es natural, el flocular las partículas de arcillas por adición de cal, se produce una modificación de la textura elemental del suelo. Tal hecho es puesto en evidencia en el análisis mecánico por sedimentación, donde se observa una disminución de la fracción arcilla, aumentando la proporción de partículas de limo y arena fina, esta última en menor medida.

#### **2.2.3.4 Influencia sobre la Densidad Seca**

Si se compacta una mezcla de suelo cal se obtiene por lo general una densidad seca menor que el correspondiente al suelo solo, para las mismas condiciones de compactación. Esta disminución puede alcanzar hasta un 5%.

La reducción anotada en la densidad puede explicarse por el efecto de la cal sobre la textura del suelo.

En efecto, el hecho que la adición de cal incrementa la resistencia de un suelo mientras reduce su densidad no debe extrañar. En el caso de un material específico la resistencia generalmente aumenta con la densidad. Sin embargo, cuando algún agente químico, tal como la cal, es agregado a un suelo natural se forma un nuevo material, el cual puede tener propiedades físicas y químicas enteramente diferentes que el original y por lo tanto, su propia densidad máxima puede tener mayor resistencia que el suelo no tratado, aunque este encuentre más densificado.

#### **2.2.3.5 Influencia sobre la Resistencia de los Suelos**

- Si bien la cal disminuye la densidad de compactación del suelo, no ocurre lo mismo con la capacidad resistente del mismo. Por lo contrario, adición de cal produce un aumento de la resistencia del suelo, medida por distintos ensayos como veremos a continuación.

El inmediato aumento de resistencia del suelo es causado por los cambio en las películas que rodean las partículas de arcilla también como una granulación de estas partículas.

El curado de las probetas durante cierto período de tiempo produce I aumento de resistencia. También puede observarse un efecto parecido

aumentando la compactación de las probetas y ensayándolas después un período de curado.

El efecto debido a la acción cementante de la cal, no aparece inmediatamente después de la compactación, sino al cabo de cierto tiempo que tiene lugar la iniciación del fraguado.

- Los ensayos de valor soporte de California sobre suelos tratados con cal muestran un pronunciado aumento de la estabilidad en relación con del suelo, en la generalidad de los casos.

El ensayo se hace de acuerdo a la norma usual aplicada a los suelos, pudiendo introducir las siguientes variantes.

- Mezclar el suelo y la cal húmeda hasta el contenido óptimo y molde la probeta enseguida.
- Después del mezclado y humedecido del suelo con cal, dejar mezcla en reposo dos o cuatro horas, en cámara húmeda, después de lo cual se procede al moldeo de las probetas.
- Extender el periodo de reposo previo, a 24 horas procediendo después a moldear las probetas.
- Dejar la mezcla suelo-cal humedecida al óptimo, durante 7 días al aire. Pulverizar la masa, restablecer el contenido óptimo de agua y compactarlas.
- Dejar la mezcla suelo-cal en cámara húmeda durante 7 días, agregar agua correspondiente al óptimo, compactar y ensayar según la norma.
- Con las probetas compactadas según lo dicho en el numeral 2 dejarlas durante un período de curado de 7 días y luego moldearlas.

En estos casos el período de inmersión es el común de 4 días y luego se hace la penetración del pistón.



Las variantes resumidas en los puntos anteriores tratan de reproducir distintas situaciones que pueden ocurrir en la mezcla suelo-cal durante los trabajos en el terreno, desde el mezclado hasta la compactación.

### **2.2.3.6 Determinación del Porcentaje Óptimo de Cal**

Es indudable que, desde el punto de vista técnico-económico, la cantidad óptima de cal para estabilizar un suelo es el menor porcentaje capaz de modificar las propiedades del suelo, hasta el extremo requerido por el destino que habrá de dársele en el proyecto.

El objetivo buscado contempla por lo general dos casos:

- Aumentar la resistencia a los esfuerzos normales y tangenciales.
- Reducir el hinchamiento.

Para medir el primer factor pueden utilizarse algunos de los ensayos siguientes: Valor Soporte California, Compresión confinada, Ensayo triaxial, Estabilometro o cohesímetro de Hveem.

La comparación de los resultados debe hacerse entre los valores correspondientes al suelo solo mezclado con diferentes porcentajes de cal.

La elección de la cantidad óptima recaerá en el menor porcentaje incorporado al suelo, capaz de conferirle las propiedades buscadas.

Una vez seleccionado dicho porcentaje es aconsejable, por razones prácticas adicionarle un 0.5% al 1 % para tener en cuenta los desperdicios, inevitables durante las operaciones constructivas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

Este término incluye todos los métodos físicos, químicos, térmicos, eléctricos o cualquier combinación de los mismos que permitan un mejoramiento del suelo para que sirva adecuadamente a los fines que piensa utilizarse.

En términos de Ingeniería de Carreteras se da el nombre de estabilización a aquellos métodos de mejoramiento de los suelos para que proporcionen capas de base, sub-base y ocasionalmente superficies de rodadura, que puedan soportar las cargas aplicadas bajo todas las condiciones normales de humedad y de tráfico, conservándose el factor economía del pavimento.

Las finalidades principales perseguidas con la estabilización de los suelos son:

- Suministro de base y sub-base para pavimentos de calidad en vías de primer orden (donde las piedras de alta calidad o grava triturada requerida no son obtenidas económicamente).
- Construcción de bases, sub-bases y superficies de rodadura adecuadas, que se hagan transitables en toda época (vías secundarias).
- Construcción en ciertas áreas que deben hacerse transitables en período de corto tiempo (arenas de playa).

#### **3.2 DEFINICIÓN DE CAL**

Es un producto resultante de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900° C producen o se obtienen el óxido

de calcio, conocido con el nombre de cal viva, producto sólido de color blanco y peso específico de 3.4 kg./dm. Esta cal viva puesta en contacto con el agua se hidrata (apagado de la cal) con desprendimiento de calor, obteniéndose una pasta blanda que amasada con agua y arena se confecciona el mortero de cal o estupo, muy empleado en enfoscado de exteriores. Esta pasta limada se emplea también en imprimación o pintado de paredes y techos de edificios y cubiertas.

### 3.2.1 Obtención de la Cal

Se puede obtener mediante las fases siguientes:

1º. - Extracción de la roca. El arranque de la piedra caliza puede realizarse a cielo abierto o en galería y por distintos medios, según la disposición del frente. Los bloques obtenidos se fragmentan para facilitar la cocción.

2º. - Cocción o calcinación. El carbonato de calcio ( $\text{CO}_2\text{Ca}$ ), componente principal de las calizas, al someterlo a la acción del calor se descompone en anhídrido carbónico y óxido de calcio o cal viva, produciéndose la reacción química:



Para lograr la reacción de descomposición es necesario que la temperatura del horno sea superior a 900°C. Tipo de hornos para la cocción:

- Horno de campana.
- Horno intermitente de cuba.
- Horno continuo.

### 3.2.2 Apagado de la Cal

El óxido cálcico, o cal viva, no se puede emplear en la construcción de forma directa: es necesario hidratarla. Para ello, se la pone en contacto con el agua, operación que se llama apagado de la cal. Esta operación se puede efectuar por uno de los métodos siguientes:

- Por aspersión. Se extienden los terrones de cal viva sobre una superficie plana; seguidamente, se les riega con una cantidad de agua que oscile entre un 25% y un 50% con relación al peso; se cubren con arpilleras o capas de arena, para que se efectúe un apagado lento y completo. Y se obtiene cal en polvo.
- Por inmersión. Se reducen los terrones de cal al tamaño de grava. Esa grava se coloca en unos cestos de mimbre o de otro material y se introducen en agua, durante 1 minuto aproximadamente. A continuación, se vierten en un sitio preservado de corrientes de aire, donde la cal se va convirtiendo en polvo, a medida que se forma el apagado.
- Por fusión. Se introducen los terrones de cal en unos depósitos o recipientes que, a continuación, se llenan de agua. Cuando se ha efectuado el apagado, se obtiene una pasta blanda y untuosa, lo cual se cubre con una capa de arena para evitar su carbonatación.

### 3.2.3 Clases de Cal

Las rocas calizas casi nunca se encuentran puras ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) en la naturaleza, sino que van acompañadas de materias orgánicas, arcilla u óxidos, impurezas que, al no volatilizarse en el proceso de calcinación, comunican a la cal distintas propiedades. La proporción de estas impurezas produce distintos tipos de cal.

- Cal aérea o grasa. Si la piedra caliza es pura o tiene un contenido máximo en arcilla de un 5%, produce una clase de cal muy blanca, que forma una pasta muy fina y untuosa cuando se apaga.
- Cal magra o ácida. Si la cal no supera el 5% de la arcilla, pero contiene más de un 10% de magnesia (Óxido de magnesio, sustancia terrosa, etc.), se tiene una cal de características ácidas. La pasta que se forma al mezclarla con agua es de color grisáceo. Esta cal no se emplea en construcción, porque la pasta se disgrega al secarse.

### **3.2.4 Variedades Comerciales**

- Cal Viva. Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.
- Cal hidratada. Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.
- Cal hidráulica. Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

### **3.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEANDO CAL**

La capa inferior a la que se va a estabilizar, deberá estar totalmente terminada, el mezclado puede realizarse en una planta adecuada o en campo, obteniéndose mejores resultados en el primer caso, la cual puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacada. Cuando se efectúa el mezclado en el campo, el material que se va a mejorar deberá estar disgregado y acamellonado, se abre una parte y se le agrega el estabilizador distribuyéndolo en el suelo para después hacer un mezclado en seco, se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar los polvos. Después de esto se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla debiendo darle un curado de hasta 48 horas de acuerdo con el tipo de arcilla de que se trate. Se tiende la mezcla y se compacta a lo que marca el proyecto para después aplicarle un curado final, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío. Se recomienda no estabilizar cuando amenace lluvia o cuando la temperatura ambiente sea menor a 5° C, además se recomienda que la superficie mejorada se abra al tránsito vehicular en un tiempo de 24 a 48 horas.

### **3.4 ESTABILIZACIÓN CON CAL**

Es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material por estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia. Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión. Además también se realizan estos

estudios para suelos estabilizados con puzolanas, cloruro de sodio y calcio, y cemento Pórtland del tipo flexible.

**TABLA 1. Valores para los Tipos y Cantidades de Cal en Uso, para el Mejoramiento del Suelo y la Estabilización del Suelo**

Tipo de estabilización	Cantidad de cal ( % en peso de suelo seco)		
	Cal viva	Hidrato de cal	Cal altamente hidratada
Estabilización del suelo: efecto a largo plazo	3 - 6	4 - 8	4- 12
Mejoramiento del suelo: resultados inmediatos	2 - 4	2 -5	4 -8

### 3.4.1 Requisitos de la Estabilización

La modificación del suelo depende de las características del mismo y de sus deficiencias.

La mayoría de los casos se necesita aumentar la resistencia. Si el suelo es no cohesivo esto se puede lograr por confinamiento o dándole cohesión por un agente cementador o ligante. Si el suelo es cohesivo se puede aumentar la resistencia haciéndolo resistente a la humedad alterando la película de agua absorbida" aumentando la cohesión con un agente cementador y aumentando la fricción interna.



La reducción de la compresibilidad se puede lograr llenando los poros, cementando los granos con un material rígido o cambiando las fuerzas absorbidas por el mineral de arcilla.

La inmunidad a la retracción y a la expansión se puede lograr cementando, modificando la capacidad del mineral arcilloso para la absorción de agua y haciendo el suelo resistente a los cambios de humedad.

La permeabilidad se puede reducir llenando los poros con un material impermeable o modificando la estructura del mineral de arcilla y el agua absorbida para impedir la floculación. Se puede aumentar la permeabilidad quitando los granos finos o creando una estructura conglomerada.

#### **3.4.2 Condiciones que debe Proporcionar un Agente Estabilizador**

- Debe ser compatible con el material del suelo.
- Debe ser permanente.
- Debe ser fácil de manejar y preparar.
- Debe tener un bajo costo.

### **3.5 PROPIEDADES DE SUELOS QUE MÁS SE ESTUDIAN EN PROBLEMAS DE ESTABILIZACIÓN**

- Estabilidad Volumétrica (Infiltración de la humedad). Referente a los suelos expansivos por cambios de humedad. Se trata de transformar una masa de arcilla expansiva en una masa rígida o en una granolada con sus partículas unidas por lazos suficientemente fuertes como para resistir las presiones internas de expansión. Esto se logra por tratamientos químicos o térmicos.

- Tratamientos químicos: Para arcillas ubicadas cerca de la superficie del terreno.

➤ Tratamientos térmicos: Para arcillas más profundas.

- Resistencia: La compactación es una forma de estabilización mecánica a la que se recurre para incrementar la resistencia de los suelos. Algunas de las formas de estabilización más usadas para elevar la resistencia son las siguientes: compactación, vibroflotación, precarga, drenaje, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos y estabilización y estabilización química con cal o aditivos líquidos. La resistencia es afectada cuando se tienen importantes contenidos de materia orgánica (suelos orgánicos), cuando la materia orgánica se descomponga se produce un material fibroso, el cual produce asentamientos en el suelo debido a cargas.

- Permeabilidad: Se puede modificar por métodos como la compactación o la inyección. En materiales arcillosos el uso de floculantes (Por ejemplo polifosfatos) puede reducir la permeabilidad significativamente, pero el uso de floculantes (Hidróxido de cal  $\text{Ca(OH)}_2$  o (yeso) aumenta el valor de la permeabilidad. En la actualidad se disponen de algunas sustancias que introducidas en el suelo en forma de emulsión pueden reducir mucho su permeabilidad (el uso de estas sustancias pueden ejercer efectos desfavorables en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos).

- Durabilidad: Aquellos que se refieren a la resistencia a la intemperie, a la erosión o a la abrasión de tráfico. Los problemas de durabilidad en las vías terrestres están asociados a suelos situados relativamente cerca de la superficie de rodamiento, afectando a suelos naturales como a suelos estabilizados (debido a diseños inadecuados como una mala elección del agente estabilizador o cuando se ignora la susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados con cal a la presencia de sulfatos).

### 3.6 VENTAJAS DEL SUELO - CAL

- Es un material más impermeable.
- Mejora la durabilidad del suelo.
- Es resistente a la erosión.
- No presenta cambios de volumen con cambios de humedad.
- Tienen una capacidad de soporte mayor.
- Son más fácilmente trabajables.
- Contribuye a reducir la humedad natural del suelo.
- Se mejoran las transferencias de cargas en las juntas.
- Reduce los costos generados por mantenimiento.
- Permite una reducción en el espesor de la carpeta de rodadura a utilizar para la misma categoría de tráfico.

### 3.7 DESVENTAJAS DEL SUELO-CAL

- En altos porcentajes de cal aumenta la plasticidad del suelo tratado.
- Es indispensable disponer de espacios grandes para mezclar el material antes de colocarlo.

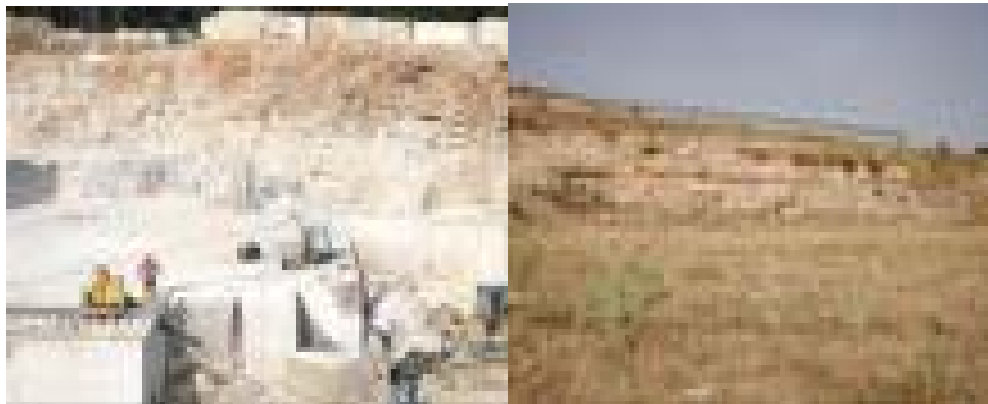
## 4. ETAPA EXPERIMENTAL

### 4.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

En esta etapa de la investigación se tomaron muestras de zahorra con propiedades similares a las del suelo de Cartagena para desarrollar los diferentes ensayos, las cuales fueron tomadas de la cantera Cimaco, que es una de las más reconocidas en la ciudad.

Se procedió a retirar la parte seca y suelta de cada estrato con el propósito de obtener una superficie fresca, luego se tomo una muestra de cada capa en un recipiente y se colocó una tarjeta de identificación que contenía el nombre del proyecto, la cantera en estudio y el número de la muestra.

Las muestras se llevaron en bolsas y sacos bien sellados al laboratorio para que no perdieran su humedad natural.



**Imagen 2. Material Existente en Cantera Cimaco**

## **4.2 ELECCIÓN DEL TIPO DE CAL**

Después de una encuesta a los diferentes proveedores y empresas contratistas a los cuales se le pregunto sobre el tipo de cal más utilizado en la ciudad de Cartagena para los diferentes trabajos estas respondieron que era cal Nare.

De acuerdo a lo anterior se escogió la cal de marca Nare, la cual es una cal hidratada para realizar las combinaciones con el material en estudio.

## **4.3 REALIZACIÓN DE ENSAYOS**

Los ensayos exigidos por (INVIAS) para caracterizar una muestra son los siguientes:

- Humedad Natural
- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Proctor Modificado
- C.B.R
- Peso volumétrico suelto

### **4.3.1 Humedad Natural**

Es un ensayo que permite determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco.

Una masa de suelo tiene tres constituyentes: las partículas sólidas, el aire y el agua. En los suelos que consisten en partículas finas, la cantidad de agua presente en los poros tiene un marcado efecto en las propiedades de los mismos.

El conocimiento de la humedad natural de un suelo no sólo permite definir a priori el tratamiento a darle, durante la construcción, sino que también permite estimar su posible comportamiento, como subrasante, pues, si el contenido natural de agua de un suelo está próximo al límite líquido, es casi seguro que se está tratando con un suelo muy sensitivo y si, por el contrario, el contenido de agua es cercano al límite plástico, puede anticiparse que el suelo presentará un buen comportamiento.

#### **4.3.2 Determinación de la Granulometría**

Es una prueba para determinar cuantitativamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas del suelo.

Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo. Por ejemplo, para clasificar por tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.



**Imagen 3. Tamices**

### 4.3.3 Determinación de los Límites de Atterberg

#### 4.3.3.1 Limite Líquido

El límite líquido es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.

El cálculo del índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.



**Imagen 4. Peso Material Húmedo**

#### 4.3.3.2 Limite Plástico

El límite plástico se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este estado, el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

Para contenidos de humedad mayores que el límite plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo.



**Imagen 5. Determinación de Límite Plástico**

#### **4.3.4 Proctor Modificado**

Este ensayo consiste en determinar la humedad óptima de compactación y la densidad seca máxima seca que puede obtenerse al aplicar al suelo una energía determinada.



**Imagen 6. Martillo y Molde de Compactación**



#### 4.3.5 Ensayo de C.B.R. (Relación Californiana de Soporte)

El índice de California (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se usa en el diseño de pavimentos flexibles. El CBR se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida.



Imagen 7. Maquina de penetración para C.B.R

#### 4.3.6 Ensayo de Peso Volumétrico Suelto

En este ensayo se determina experimentalmente el peso unitario de un agregado cualquiera (grueso, fino o mezclado), el cual obtiene tomando un recipiente de volumen y masa conocida; con estos datos podemos proceder a calcular el peso volumétrico suelto de una muestra representativa.

#### 4.4 Equipos Utilizados

- Tamices
- Balanza
- Estufa y Horno
- Aparato de casa grande
- Martillo de compactación
- Moldes para proctor
- Moldes para C.B.R. con sobrecarga
- Maquina de penetración para C.B.R.

#### 4.4 Normas Requeridas

**TABLA 2. Requisitos de los Materiales para Afirrados, Bases Granulares**

Capa	Partículas fracturadas mecánicamente (Agre. Grueso)	Desgaste Los Ángeles	Perdidas en ensayo de solidez en		Índices de aplanam. y alargam.	C.B.R	I.P	Equiv. De arena
			Sulfato de sodio	Sulfato de magnesio				
Norma INV	E-227	E-218 y E-219	E-220	E-220	E-230	E-148	E-125 y 126	E-133
Afirmado		50% máx.	12% máx.	18% máx.			4 – 9	
Subbase granular		50% máx.	12% máx.	18% máx.		20, 30 ó 40% min. <sup>1</sup>	< = 6	25% min.
Base granular	50% min.	40% máx.	12% máx.	1 8% máx.	35% máx.	80% min. <sup>2</sup>	< = 3	30% min.

1 Al 95% de compactación referido al ensayo proctor modificado (INV E-142). El valor mínimo de resistencia por aplicar, se indicara en los documentos del proyecto.

2 Al 100% de compactación referido al ensayo proctor modificado (INV E-142).

## 5. RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTRAS

Para la verificación de las propiedades del suelo en estudio se llevaron a cabo los ensayos descritos en el numeral 4.3. Los resultados obtenidos por dichos ensayos están recopilados en los siguientes cuadros.

**CUADRO N° 1 Resultados de Ensayo de Granulometría con el 0 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	CLASIFICACION		PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
	A.A.S.H.T.O.	U.S.C.	
CIMACO	A - 2 - 4	GM - GC	Gravas limosas, mezclas grava-arena- limo.  Gravas arcillosas, mezclas grava-arena- arcilla.

**CUADRO N° 2 Resultados de Ensayo de Granulometría de la Arena**

MATERIAL CANTERA	CLASIFICACION		PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
	A.A.S.H.T.O.	U.S.C.	
CIMACO	A -1- b	SP - S M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo. Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.

**CUADRO N° 3 Resultados de Ensayo de Granulometría Combinación 1:1  
(Zahorra – Arena)**

MATERIAL CANTERA	CLASIFICACION		PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
	A.A.S.H.T.O.	U.S.C.	
CIMACO	A -1- b	S M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

**CUADRO N° 4 Resultados de Ensayo de Granulometría Combinación 2:1  
(Zahorra – Arena)**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>CLASIFICACION</b>		<b>PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS</b>
	<b>A.A.S.H.T.O.</b>	<b>U.S.C.</b>	
CIMACO	A -1- b	S M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

**CUADRO N° 5 Resultados de Ensayo de Granulometría Combinación 2:1 con  
el 2 % de Cal**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>CLASIFICACION</b>		<b>PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS</b>
	<b>A.A.S.H.T.O.</b>	<b>U.S.C.</b>	
CIMACO	A -1- b	S M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

**CUADRO N° 6 Resultados de Ensayo de Granulometría Combinación 2:1  
con el 3 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	CLASIFICACION		PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
	A.A.S.H.T.O.	U.S.C.	
CIMACO	A -1- b	S M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

**CUADRO N° 7 Resultados de Ensayo de Granulometría Combinación 2:1  
con el 5 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	CLASIFICACION		PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
	A.A.S.H.T.O.	U.S.C.	
CIMACO	A - 1 -b	S M	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

**CUADRO N° 8 Resultados de Ensayo de Granulometría Combinación 2:1 con el 7 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	CLASIFICACION		PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS
	A.A.S.H.T.O.	U.S.C.	
CIMACO	A - 1 - b	S M	Arenas limosas, mezcla de arenas y limo

**CUADRO N° 9 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 0 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	24.17	17.46	6.71

**CUADRO N° 10 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg de la Arena**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P



**CUADRO N° 11 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg Combinación  
1:1 (Zahorra – Arena)**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P

**CUADRO N° 12 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg Combinación  
2:1 (Zahorra – Arena)**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P

**CUADRO N° 13 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 2 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P

**CUADRO N° 14 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 3 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P

**CUADRO N° 15 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 5 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P

**CUADRO N° 16 Resultados de Ensayo de Límites de Atterberg con el 7 % de Cal**

MATERIAL CANTERA	LIMITES		
	L .L (%)	L. P (%)	I. P (%)
CIMACO	N.L	N.P	N.P

**CUADRO N° 17 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 0% de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	0	8.9	2.084

**CUADRO N° 18 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 2% de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	2	8.4	2.038

**CUADRO N° 19 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 3% de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	3	8.4	2.084

**CUADRO N° 20 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 5% de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	5	8.4	2.072

**CUADRO Nº 21 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 7% de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	7	8.4	2.073

**CUADRO N° 22 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 2% de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	2	8.6	2.043

**CUADRO N° 23 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 3% de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	3	8.6	2.096

**CUADRO N° 24 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 5% de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	5	8.6	2.075

**CUADRO N° 25 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 7% de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	7	8.6	2.083



**CUADRO N° 26 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 2% de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	2	8.6	2.062

**CUADRO N° 27 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 3% de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	3	8.6	2.102

**CUADRO N° 28 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 5% de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	5	8.6	2.086

**CUADRO N° 29 Resultados de Ensayo de Compactación (Proctor) con el 7% de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>W ÓPTIMA (%)</b>	<b><math>\gamma</math> MAXIMA (gr / cm<sup>3</sup>)</b>
CIMACO	7	8.6	2.089

**CUADRO N° 30 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 0 % de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	0	77.42

**CUADRO N° 31 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 2 % de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	2	95.96

**CUADRO N° 32 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 3 % de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	3	95.16

**CUADRO N° 33 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 5 % de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	5	100.3

**CUADRO N° 34 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 7% de Cal. (4 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	7	117.7

**CUADRO N° 35 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 2 % de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	2	102.4

**CUADRO N° 36 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 3 % de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	3	101.6

**CUADRO N° 37 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 5 % de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	5	106.8

**CUADRO N° 38 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 7% de Cal. (14 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	7	124.2

**CUADRO N° 39 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 2 % de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	2	105.6

**CUADRO N° 40 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 3 % de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	3	105.6



**CUADRO N° 41 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 5 % de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	5	110.8

**CUADRO N° 42 Resultados de Ensayo de C. B. R. con el 7% de Cal. (28 Días).**

<b>MATERIAL CANTERA</b>	<b>C.B.R.</b>	
	<b>% DE CAL HIDRATADA</b>	<b>VALOR DE C.B.R. (%)</b>
CIMACO	7	128.2

## 6. ANALISIS DE COSTOS

Con los datos obtenidos en los ensayos realizados al material se procedió a hacer un análisis estimativo de costo por m<sup>3</sup> de material mejorado con cal colocado en obra:

### Cantera Cimaco

$$\gamma \text{ Suelta Zahorra} = 1516.8 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

### Arena Palmarito

$$\gamma \text{ Suelta Arena} = 1479.44 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Tomando como referencia la relación 2:1 por ser la más conveniente económicamente tenemos:

$$\gamma \text{ Zahorra: } 1516.8 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 0.66 = 1001.1 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$\gamma \text{ Arena: } 1479.44 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 0.34 = 503.0 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Con estos valores y tomando un espesor de 0.2 m de base, calculamos la cal necesaria por m<sup>2</sup>.

Tenemos:

$$\text{Zahorra} = 1001.1 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 0.2\text{m} = 200.2 \text{ Kg} / \text{m}^2$$

$$\text{Arena} = 503.0 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times 0.2\text{m} = 100.6 \text{ Kg} / \text{m}^2$$

Entonces debemos adicionar 15 Kg / m<sup>2</sup> de cal, utilizando esta relación.

### Análisis de Costos de Material con Cal:

Lista de precios en el mercado:

1 m <sup>3</sup> de zahorra	\$14.000
Costo/ m <sup>3</sup> de zahorra compactada	\$21.000
1 m <sup>3</sup> de Arena	\$28.000
Costo/ m <sup>3</sup> de Arena compactada	\$34.000
Carro tanque de agua	\$80.000
1 bolsa de cal	\$4.500
15 Kg de cal	\$ 6.750

### Costo de un m<sup>3</sup> de Material Estabilizado:

Agua	\$1.000
Material Compactado (Arena – Zahorra)	\$25.420
Extendida del material	\$2.500
	<hr/>
Costo directo (material compactado sin cal)	\$28.920/m <sup>3</sup>
Cal	\$6.750
	<hr/>
<b>Costo Total</b> (material estabilizado con cal)	<b>\$35.670/m<sup>3</sup></b>

### **Análisis de Costos de Material sin Cal:**

Lista de precios en el mercado:

1 m <sup>3</sup> de zahorra	\$14.000
Costo/ m <sup>3</sup> de zahorra compactada	\$21.000
1 m <sup>3</sup> de Arena	\$28.000
Costo/ m <sup>3</sup> de Arena compactada	\$34.000
Carro tanque de agua	\$80.000

### **Costo de un m<sup>3</sup> de Material Estabilizado:**

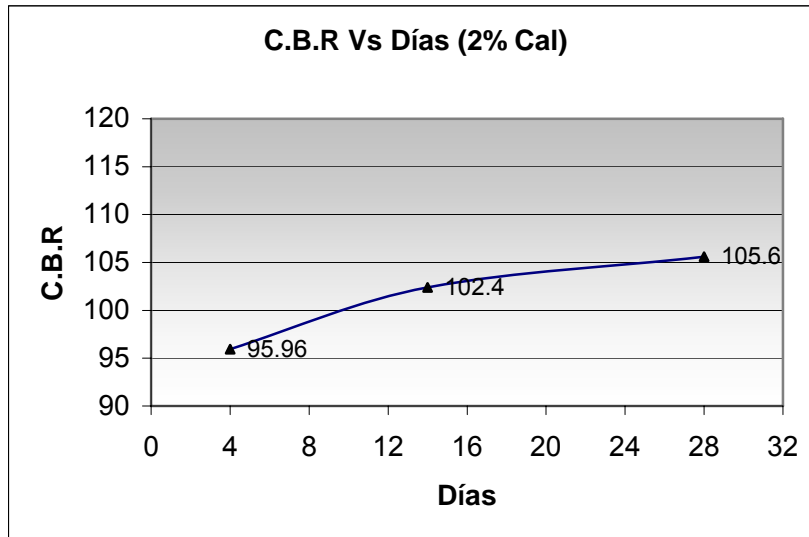
Agua	\$1.000
Material Compactado (Arena – Zahorra)	\$25.420
Extendida del material	\$2.500

---

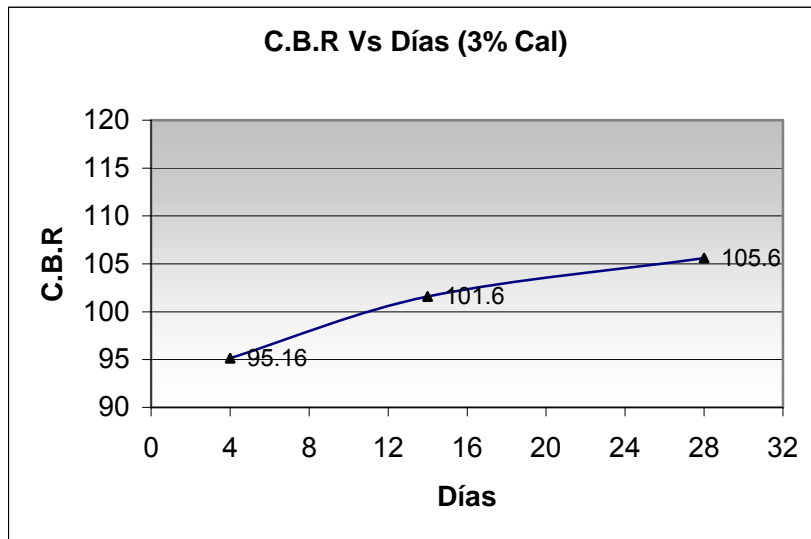
**Costo Total** (material compactado sin cal) **\$28.920/m<sup>3</sup>**

## 7. GRAFICAS DE RESULTADOS

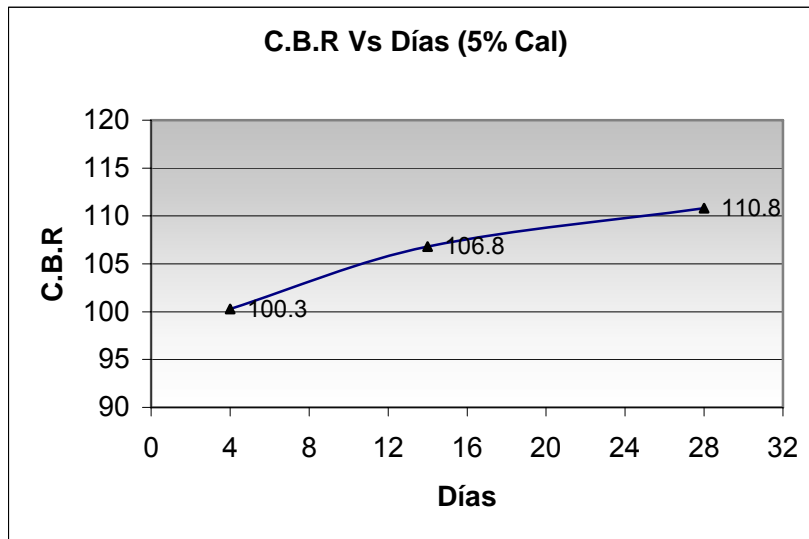
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs Días (2% Cal)  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



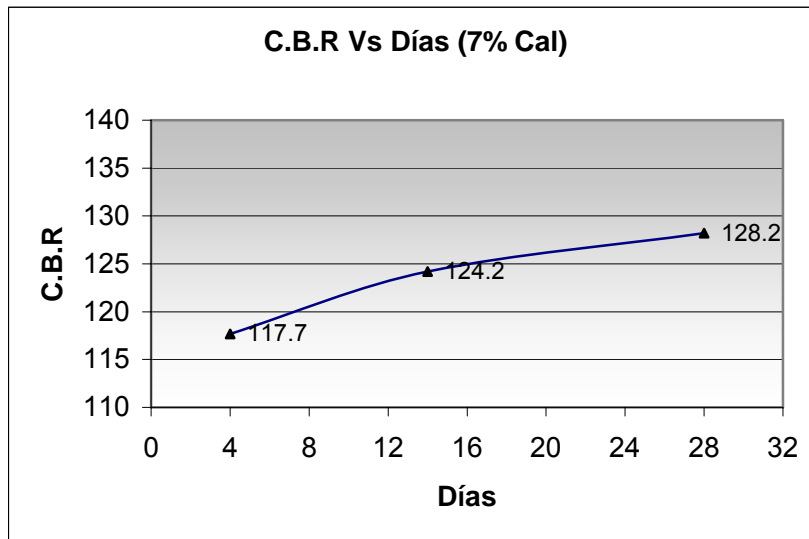
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs Días (3% Cal)  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs Días (5% Cal)  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

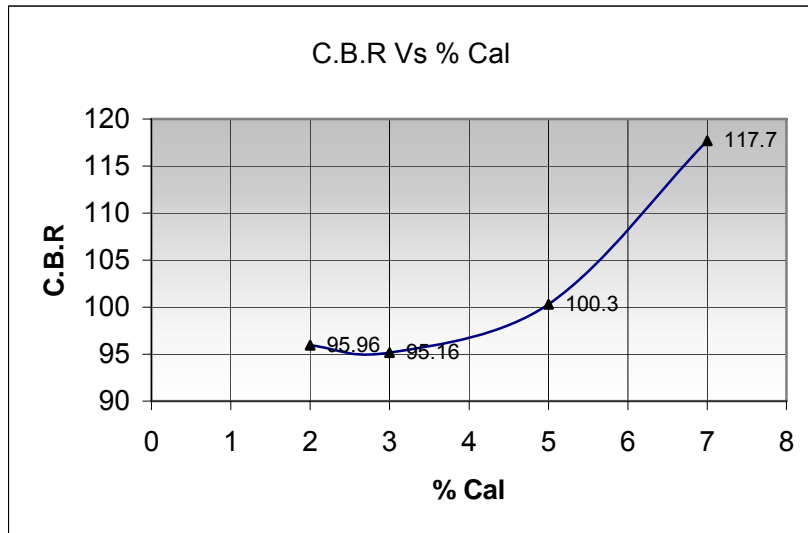


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs Días (7% Cal)  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

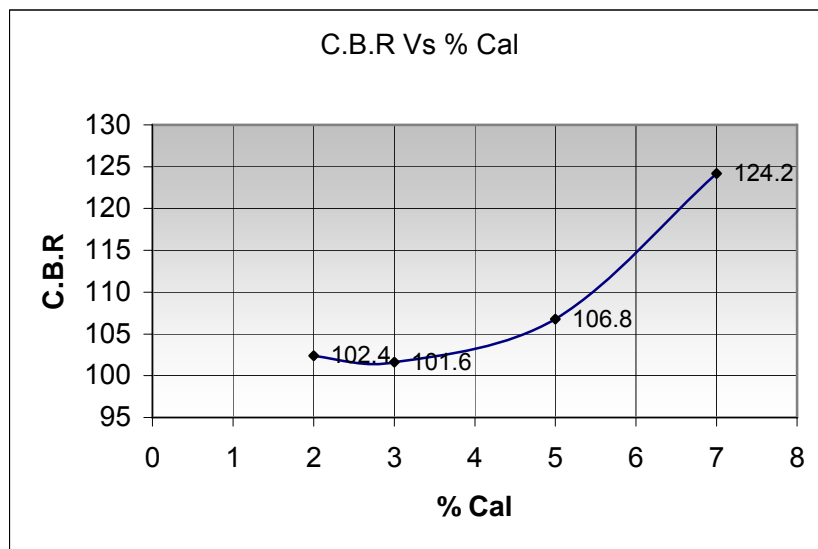




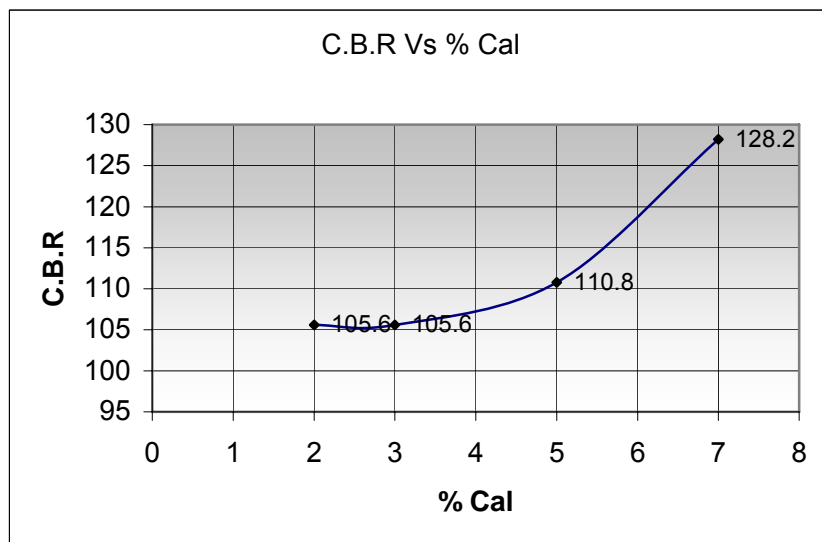
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs % Cal. A los 4 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



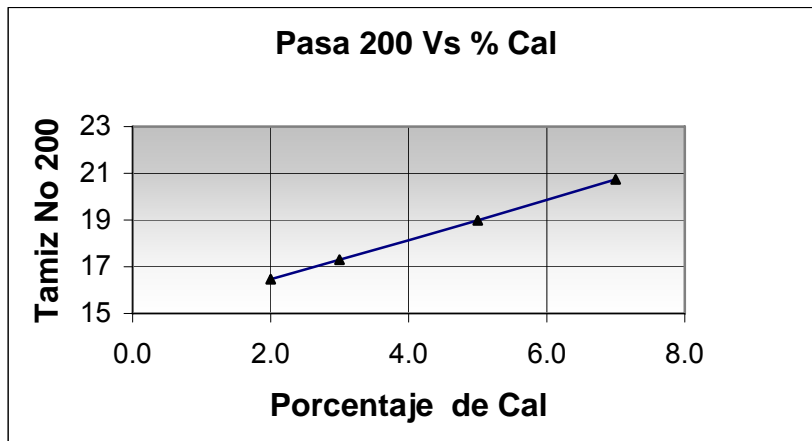
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs % Cal. A los 14 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
C.B.R. Vs % Cal. A los 28 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
Tamiz. Vs % Cal.  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



## CONCLUSIONES

Después de evaluar la parte teórica, los resultados de los ensayos realizados y el debido análisis de estos, se plantean las siguientes conclusiones,

- La muestra sin contenido de cal, no cumplió con lo mínimo requerido por el INVIAS con respecto al C.B.R. e Índice de Plasticidad.
- Al combinar 2: Zahorra 1: Arena, se obtuvo un incremento en el C.B.R. pero no alcanzo a cumplir lo exigido por la norma INVIAS.
- La combinación 2: Zahorra 1: Arena, presento un índice de plasticidad igual a cero al realizar los ensayos de limites de Atterberg.
- Al adicionar Cal a la combinación 2: Zahorra 1: Arena esta cumplió con el C.B.R. requerido en las normas INVIAS.
- Las muestras con cal a los 4, 14 y 28 días con respecto al C.B.R, presentaron un incremento al pasar los días.
- El porcentaje del tamiz N<sup>o</sup> 200 aumento gradualmente, con los diferentes porcentajes de Cal, lo cual es aceptable en los materiales utilizados para bases
- Al realizar el análisis de costos se comprobó que la estabilización con Cal es un método económico para la estabilización de bases granulares.

## BIBLIOGRAFIA

- MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Pavimentos. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. 2002. p. 99 - 107
- BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.
- ARANGO VELEZ, Antonio. Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos.
- SOWER B, George; SOWER F, George. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 1986.
- MATEOS VICENTE, Manuel; DE SOUSA PINTO, Carlos. Revista de Obras Públicas. Mayo 1962
- FERNANDEZ LOAIZA, Carlos; Mejoramiento y Estabilización de Suelos. Universidad de Guanajuato. 1982. p. 109 - 115

## PAGINAS WEB DE REFERENCIA

- <http://www.construaprende.com>
- <http://www.calhidra.com>
- <http://www.jordigonzalezboada.com/geotecnia/>

# ANEXOS

# CIMACO



**ENSAYO DE PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**Proyecto: Tesis de Grado**  
**Fecha: Abril 28**

**PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**ARENA**

**VOLUMEN MOLDE = 3036.4 cm<sup>3</sup>**  
**PESO MOLDE = 5017.9 g**

P1 = 9456.5

P2 = 9548.8

P3 = 9525.0

P = 9510.1

**Peso Vol Suelto = 1479.44 kg / m<sup>3</sup>**

**PESO VOLUMETRICO SUELTO**  
**ZAHORRA CANTERA - CIMACO**

**VOLUMEN MOLDE = 3036.4 cm<sup>3</sup>**  
**PESO MOLDE = 5017.9 g**

P1 = 9525.0

P2 = 9663.6

P3 = 9682.1

P = 9623.6

**Peso Vol Suelto = 1516.8 kg / m<sup>3</sup>**

<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>			
Descripción: Zahorra			
Cantera: Cimanco			
Proyecto: Tesis de Grado			
Fecha: Abril 28			
<b>GRADACION</b>			
P1= 3000		P2= 2324.3	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"			100.0
1 1/2"	236.3	7.88	92.12
1"	535.2	17.84	74.28
3/4"	155.2	5.17	69.1
1/2"	288.4	9.61	59.50
3/8"	353.3	11.78	47.7
No 4	330	11.0	36.72
No 10	188.9	6.3	30.44
No 40	134.1	4.47	25.97
No 100	69.7	2.16	23.8
No 200	38.7	1.29	22.52
f.do			

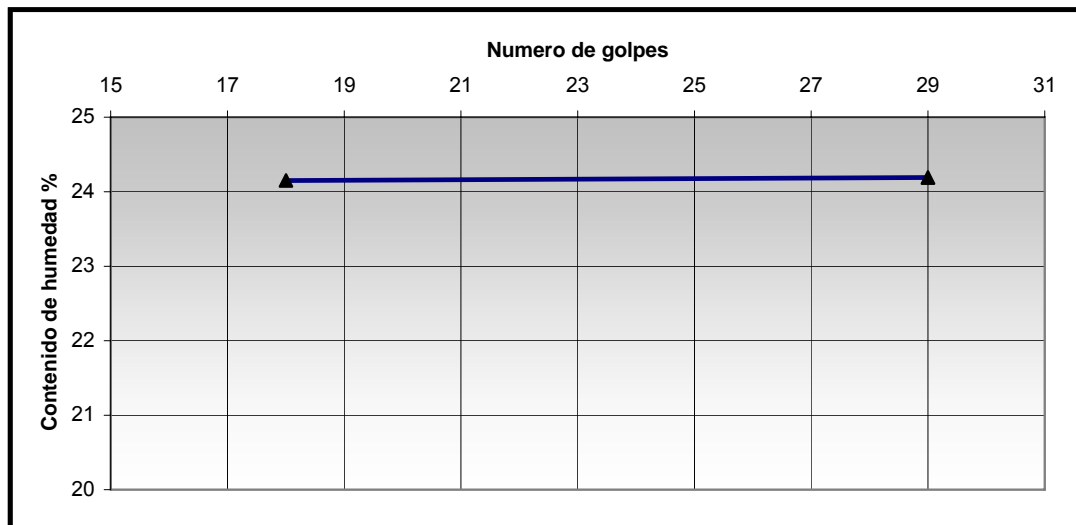
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		
No De Golpes	18	29
Vidrio No	145	105
P1	79.73	75.46
P2	75.15	72.01
P3	56.96	57.46
% Humedad	24.15	24.19

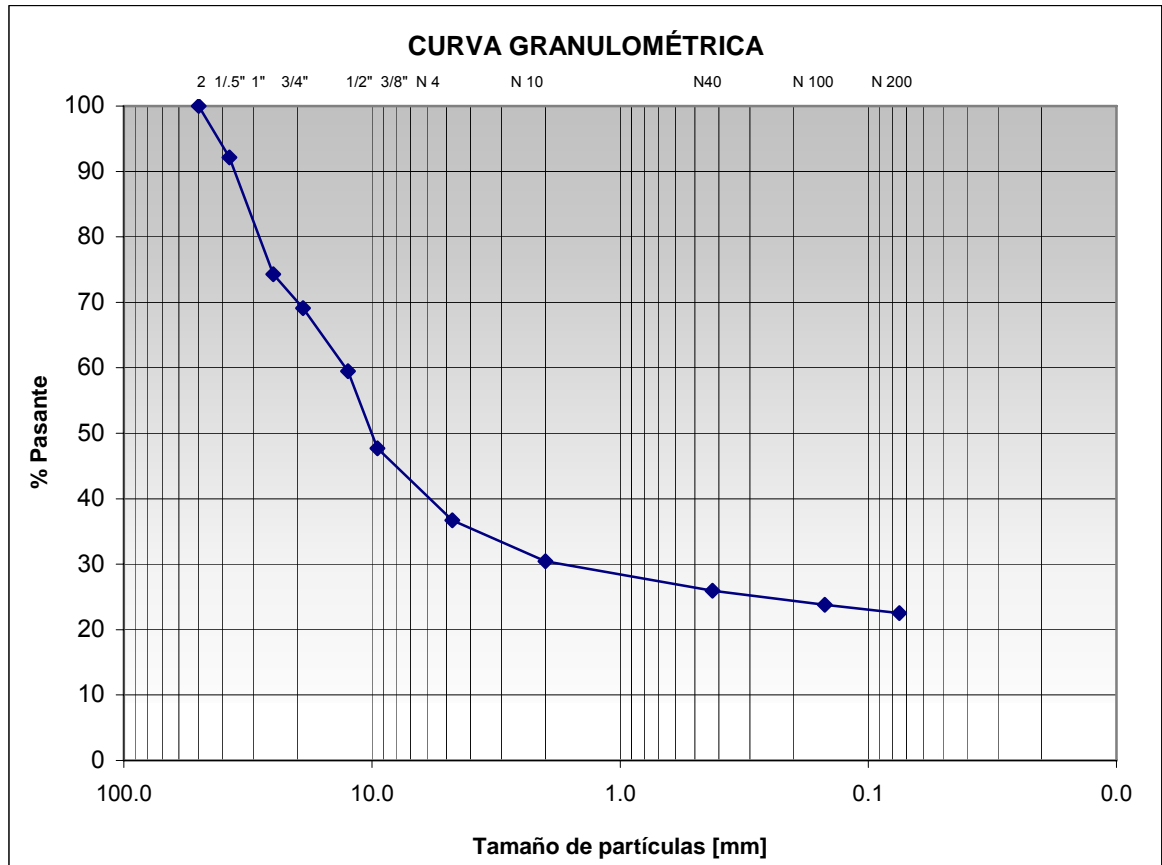
<b>LIMITE PLASTICO</b>		
Vidrio No	136	130
P1	63.77	62.14
P2	62.8	61.24
P3	57.2	56.16
% Humedad	17.20	17.72

Limite Liquido	24.17%
Limite Plastico	17.46%
Indice Plasticidad	6.71%

A.A.S.H.O	A - 2 - 4
U.S.C	GM - GC



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA CIMACO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Arena Palmarito</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

<b>GRADACION</b>			
P1= 2000		P2= 1831.7	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"			
1 1/2"			
1"	0.0	0.0	
3/4"	0.0	0.0	
1/2"	0.0	0.0	100.00
3/8"	7.2	0.36	99.6
No 4	98.3	4.9	94.72
No 10	169.1	8.5	86.26
No 40	742.8	37.14	49.12
No 100	732	36.6	12.5
No 200	82.3	4.13	8.39
f.do			

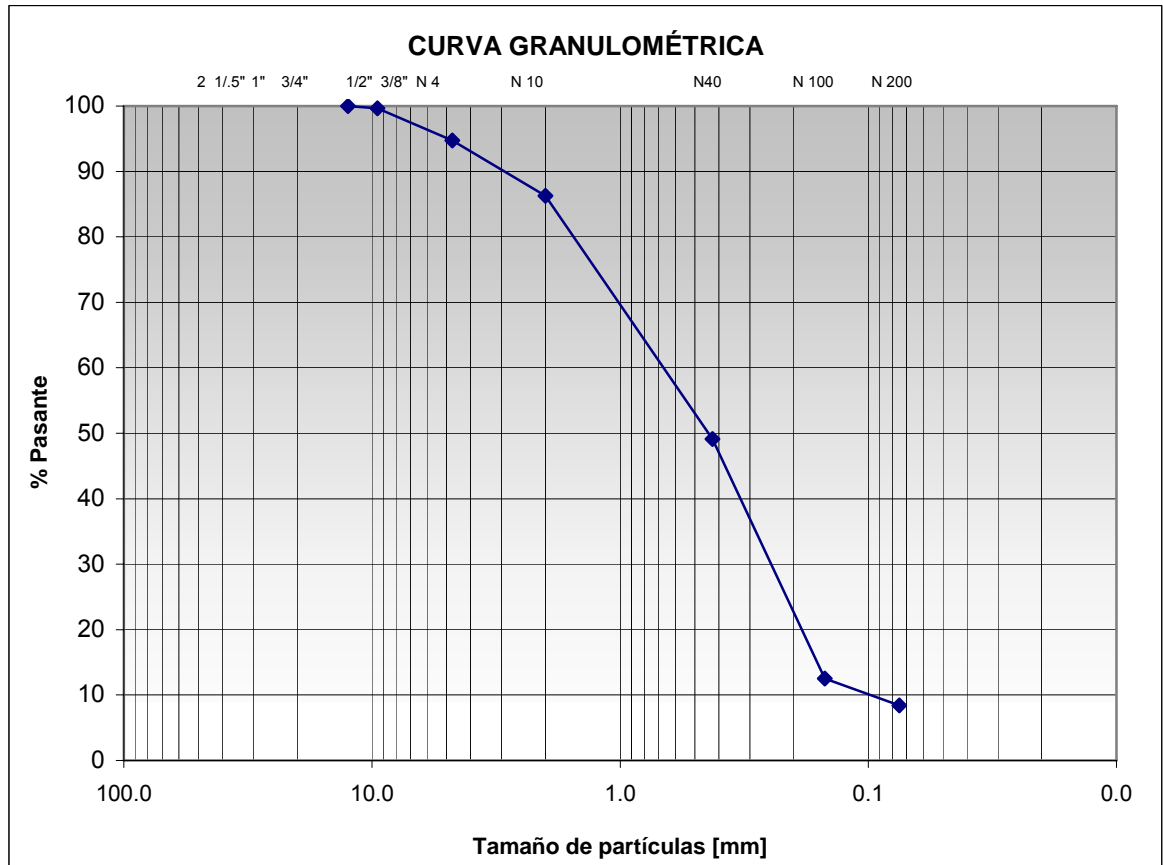
<b>LIMITE LIQUIDO</b>
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

<b>LIMITE PLASTICO</b>
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SP - SM

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA Arena Palmarito  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Combinación 1:1 Zahorra - Arena</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

<b>GRADACION</b>			
P1= 3000		P2= 2554.2	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"	0	0	100.0
1 1/2"	153.0	5.16	94.84
1"	355.2	11.84	83.00
3/4"	102.0	3.40	79.60
1/2"	189.0	6.30	73.30
3/8"	240.0	8.00	65.30
No 4	267.0	8.90	56.40
No 10	252.0	8.40	48.00
No 40	456.0	15.20	32.80
No 100	447.0	14.90	17.90
No 200	93.0	3.10	14.80
f.do			

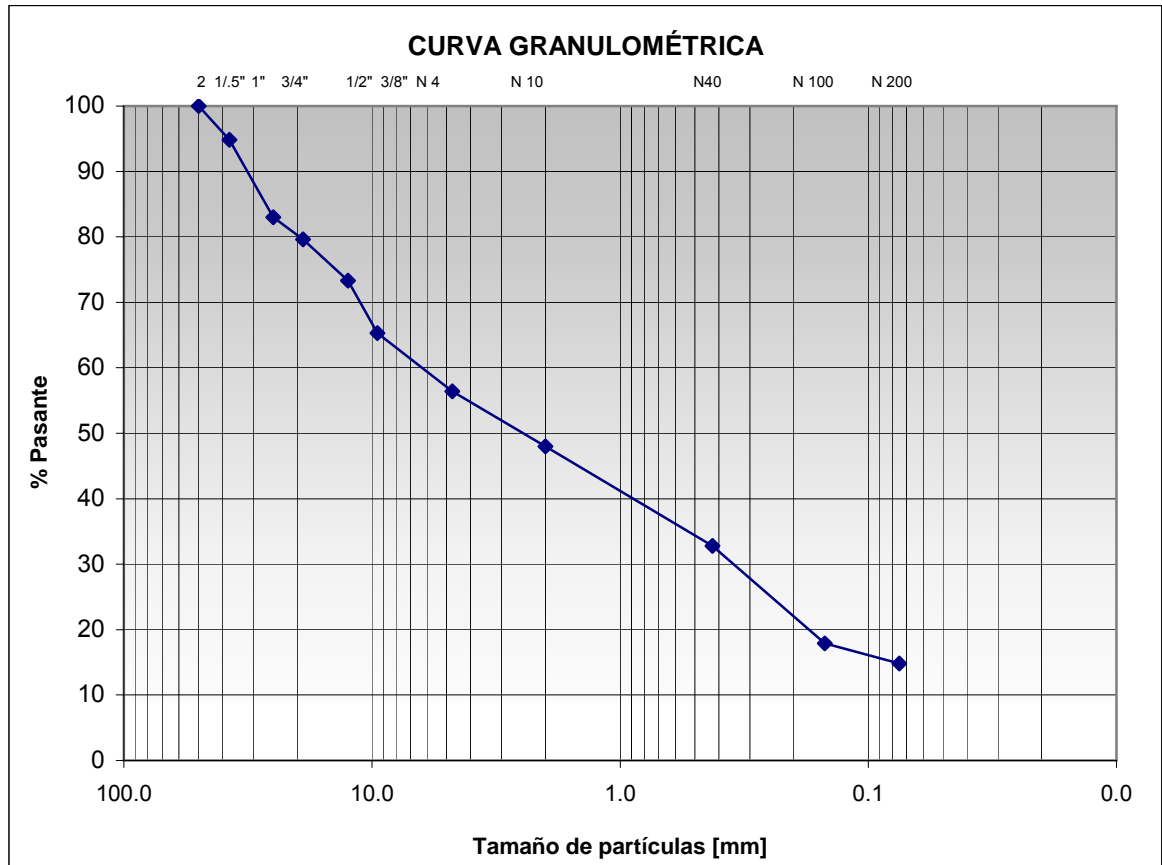
<b>LIMITE LIQUIDO</b>
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

<b>LIMITE PLASTICO</b>
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SMd

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA CIMACO Combinación 1:1 Zahorra - Arena  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Combinación 2:1 Zahorra - Arena</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

<b>GRADACION</b>			
P1= 3000		P2= 2556	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"	0	0	100.0
1 1/2"	154.5	5.15	94.85
1"	355.5	11.9	83.0
3/4"	102.0	3.4	79.6
1/2"	189.0	6.3	73.3
3/8"	240.0	8.00	65.3
No 4	267.0	8.9	56.40
No 10	252.0	8.4	48
No 40	456.0	15.2	32.8
No 100	447.0	14.9	17.9
No 200	93.0	3.10	14.8
f.do			

<b>LIMITE LIQUIDO</b>
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

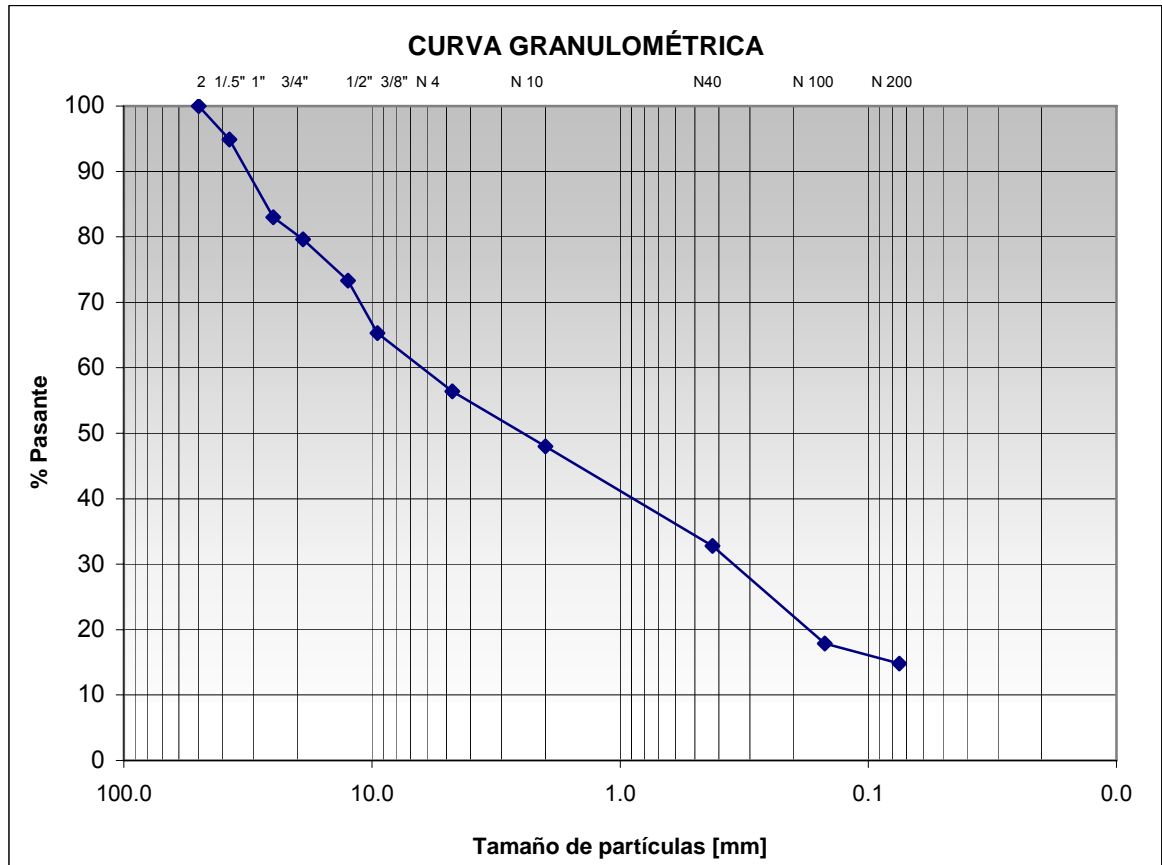
<b>LIMITE PLASTICO</b>
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SMd



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA CIMACO Combinación 2:1 Zahorra - Arena  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Combinación 2:1 Zahorra - Arena - 2% Cal</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

<b>GRADACION</b>			
P1= 3000		P2= 2505.9	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"	0	0	100.0
1 1/2"	151.5	5.05	94.95
1"	348.3	11.6	83.3
3/4"	100.2	3.3	80.0
1/2"	185.1	6.2	73.8
3/8"	235.2	7.84	66.0
No 4	261.6	8.7	57.27
No 10	246.9	8.2	49.04
No 40	447.0	14.9	34.14
No 100	438.6	14.62	19.5
No 200	91.5	3.05	16.47
f.do			

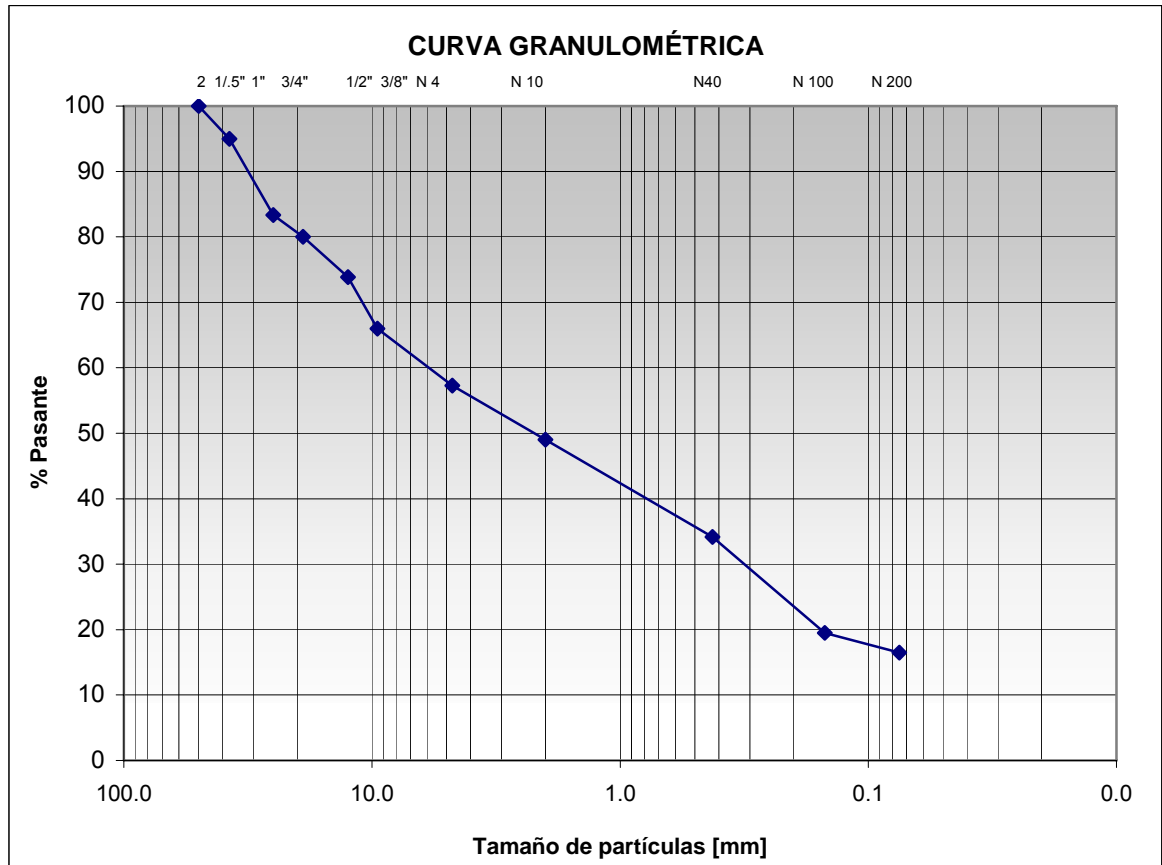
<b>LIMITE LIQUIDO</b>
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

<b>LIMITE PLASTICO</b>
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SMd

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA Combinación 2:1 Zahorra - Arena con 2% de Cal  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Combinación 2:1 Zahorra - Arena - 3% Cal</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

<b>GRADACION</b>			
P1= 3000		P2= 2481	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"	0	0	100.0
1 1/2"	150.0	5.0	95.00
1"	344.7	11.49	83.51
3/4"	99.0	3.30	80.21
1/2"	183.3	6.11	74.10
3/8"	232.8	7.76	66.34
No 4	259.2	8.64	57.70
No 10	244.2	8.14	49.56
No 40	442.5	14.75	34.81
No 100	434.4	14.48	20.33
No 200	90.9	3.03	17.30
f.do			

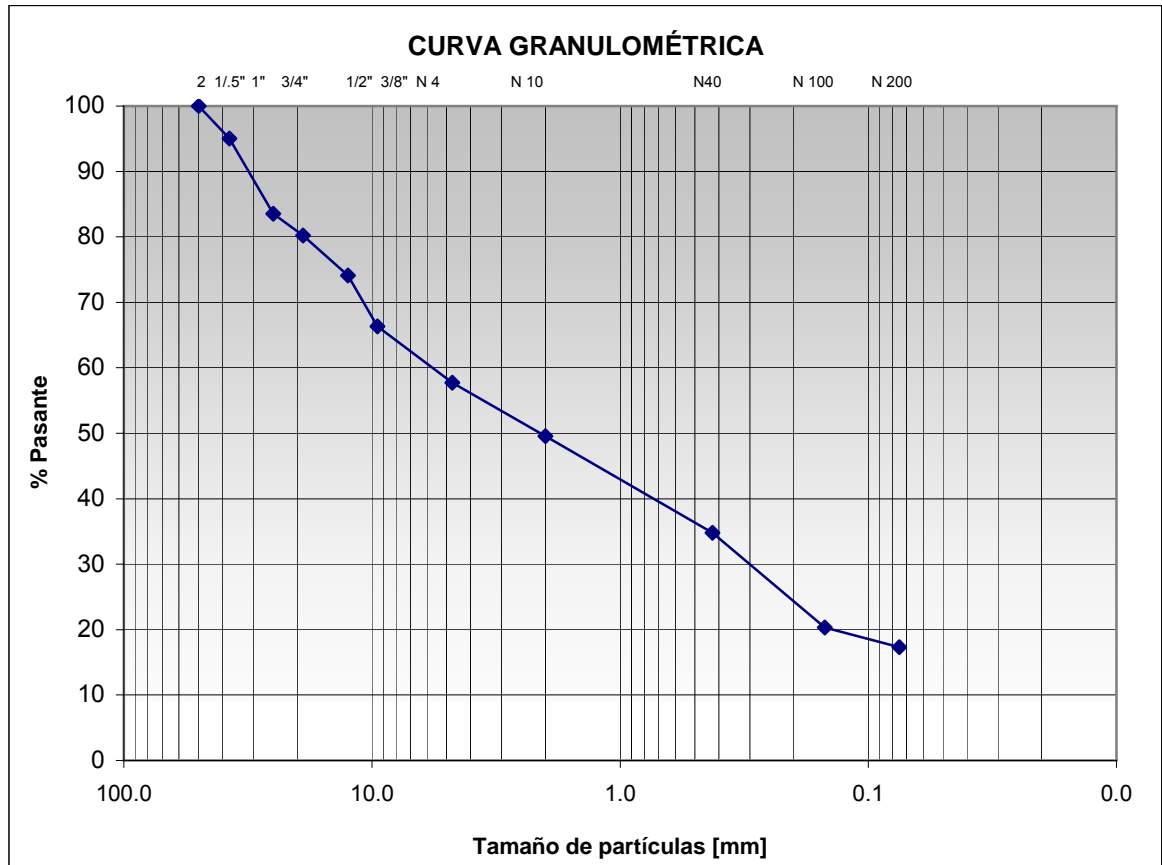
<b>LIMITE LIQUIDO</b>
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

<b>LIMITE PLASTICO</b>
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SM

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA Combinación 2:1 Zahorra - Arena con 3% de Cal  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Combinación 2:1 Zahorra - Arena - 5% Cal</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

<b>GRADACION</b>			
P1= 3000		P2= 2430.6	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"	0	0	100.0
1 1/2"	147.0	4.9	95.10
1"	337.5	11.25	83.85
3/4"	96.9	3.23	80.62
1/2"	179.7	5.99	74.63
3/8"	228.0	7.60	67.63
No 4	253.5	8.45	58.58
No 10	239.4	7.98	50.60
No 40	433.2	14.44	36.16
No 100	426.3	14.21	21.95
No 200	89.1	2.97	18.98
f.do			

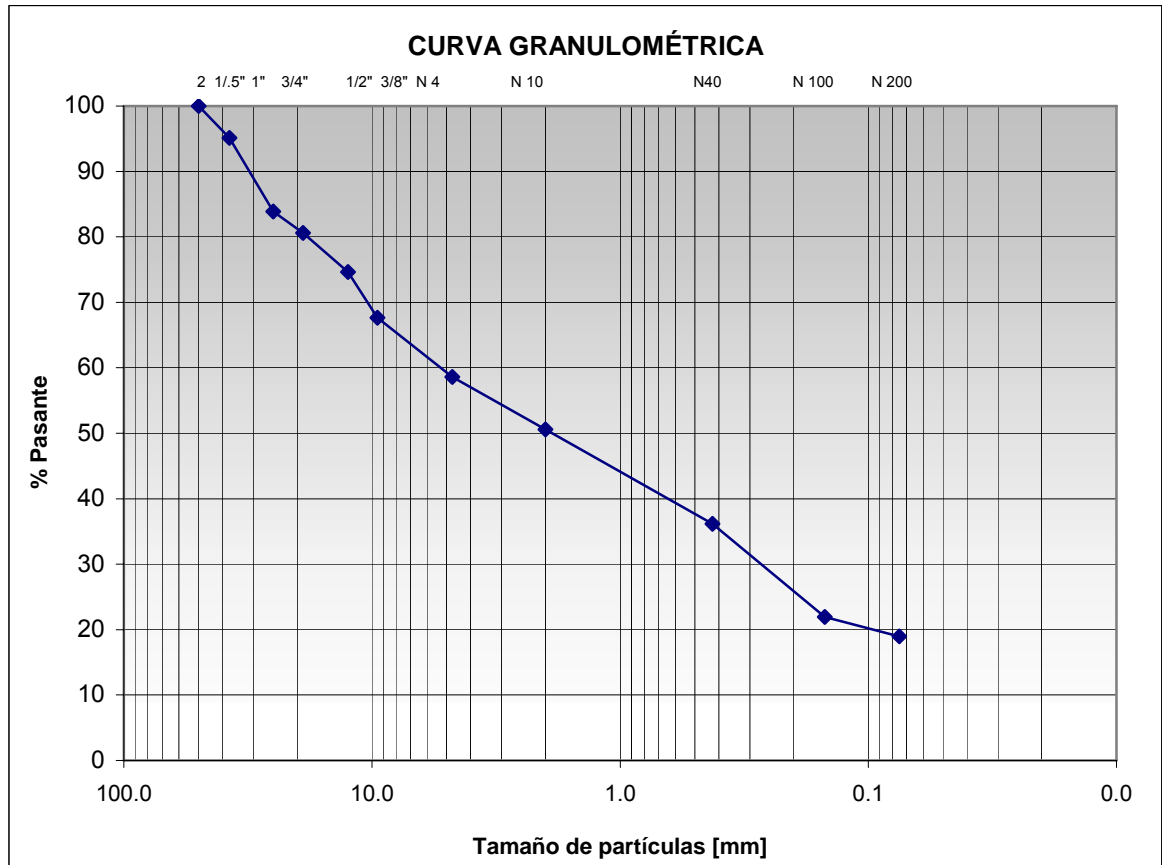
<b>LIMITE LIQUIDO</b>
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

<b>LIMITE PLASTICO</b>
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SMd

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA Combinación 2:1 Zahorra - Arena con 5 % de Cal  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



<b>ENSAYO DE GRANULOMETRIA Y LIMITES DE ATTERBERG</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL</b>
<b>Descripción: Combinación 2:1 Zahorra - Arena - 7% Cal</b>
<b>Cantera: Cimanco</b>
<b>Proyecto: Tesis de Grado</b>
<b>Fecha: Abril 28</b>

GRADACION			
P1= 3000		P2= 2377.8	
Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
2"	0	0	100.0
1 1/2"	143.7	4.79	95.21
1"	330.6	11.02	84.19
3/4"	95.1	3.17	81.02
1/2"	175.8	5.86	75.16
3/8"	223.2	7.44	67.72
No 4	248.1	8.27	59.45
No 10	234.3	7.81	51.64
No 40	424.2	14.14	37.50
No 100	417.9	13.93	23.57
No 200	84.9	2.83	20.74
f.do			

LIMITE LIQUIDO
No De Golpes
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

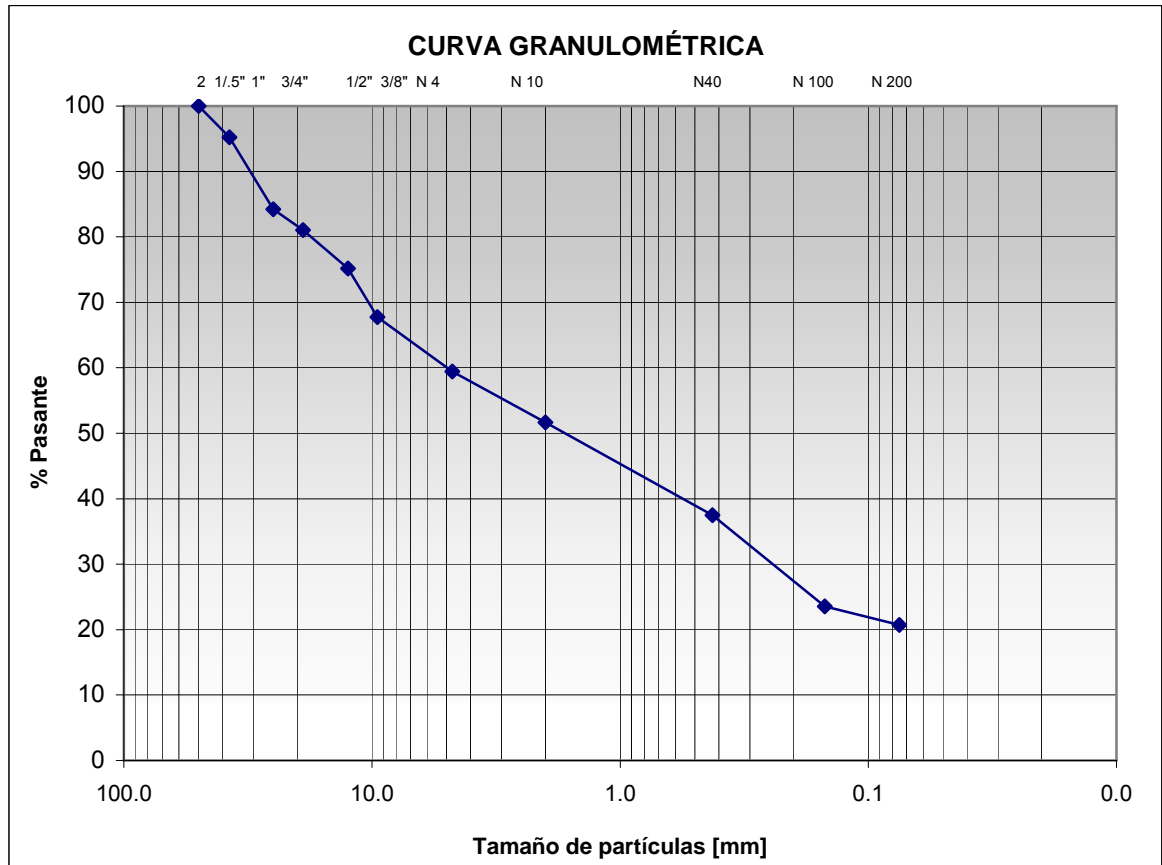
LIMITE PLASTICO
Vidrio No
P1
P2
P3
% Humedad

Limite Liquido	N.L
Limite Plastico	N.P
Indice Plasticidad	N.P

A.A.S.H.O	A - 1 - b
U.S.C	SM



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
GRANULOMETRÍA Combinación 2:1 Zahorra - Arena con 7 % de Cal  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA Nº **CIMACO**

PROFUNDIDAD

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIÁMETRO MOLDE **6"** Nº DE CAPAS **5**

Nº DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

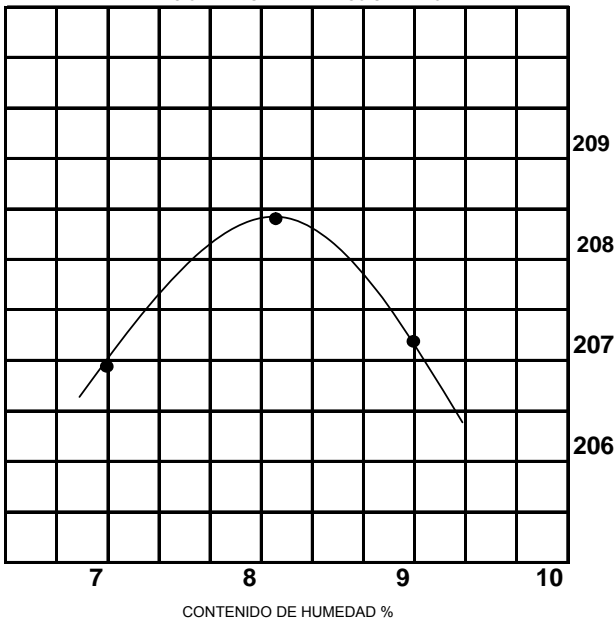
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE Nº									
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3876.1	3918.3	3912.9					
PESO DEL MOLDE	gr.	1785.6	1785.6	1785.6					
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2090.5	2132.7	3127.3					
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup> .	944.0	944.0	944.0					
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.214	2.259	2.253					
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.069	2.072	2.084					
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	Lb/p <sup>3</sup>	129.1	129.3	130.1					
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	7.0	9.0	8.1					

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE Nº									
RECIPIENTE Nº									
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.								
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.								
PESO AGUA EVAPORADA	gr.								
PESO DEL RECIPIENTE	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
CONTENIDO DE HUMEDAD	%								

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 2 - 4**

U S C S **GM - GC**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.3</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,072</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 2% DE CAL. 4 Dias**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

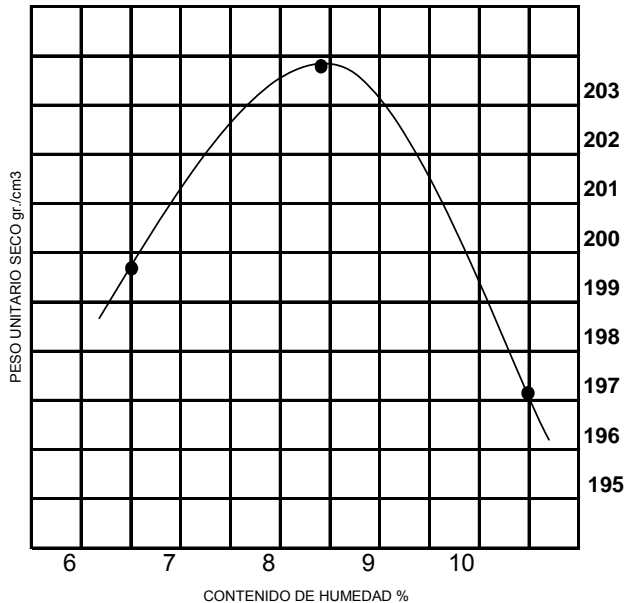
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,794.7	3,871.5	3,841.7				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,009.1	2,085.9	2,056.2				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944.0	944.0	944.0				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.128	2.209	2.178				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.5	8.4	10.5				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	1.998	2.038	1.971				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A -1- b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.4</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM <sup>3</sup>	<b>2,038</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 2% DE CAL. 14 Dias**

PROFUNDIDAD

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

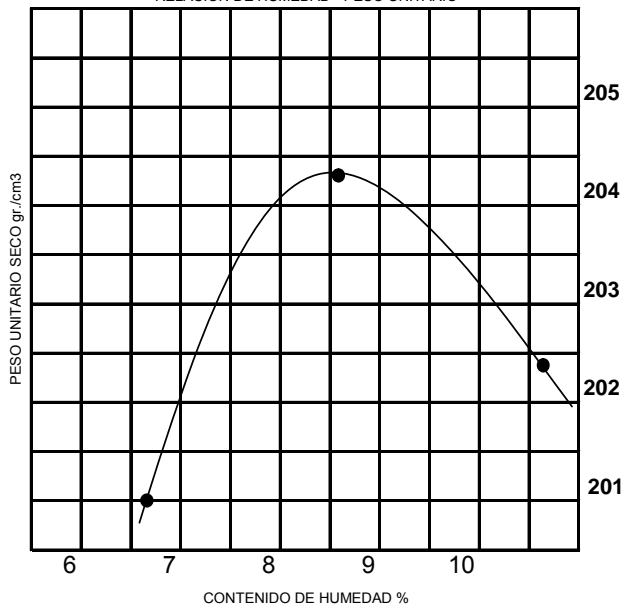
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,811.4	3,880.3	3,900.7				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,025.8	2,094.7	2,115.1				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944.0	944.0	944.0				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.145	2.218	2.240				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.7	8.6	10.7				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.010	2.043	2.024				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A -1- b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,043</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 2% DE CAL. 28 Dias**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

PROFUNDIDAD

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

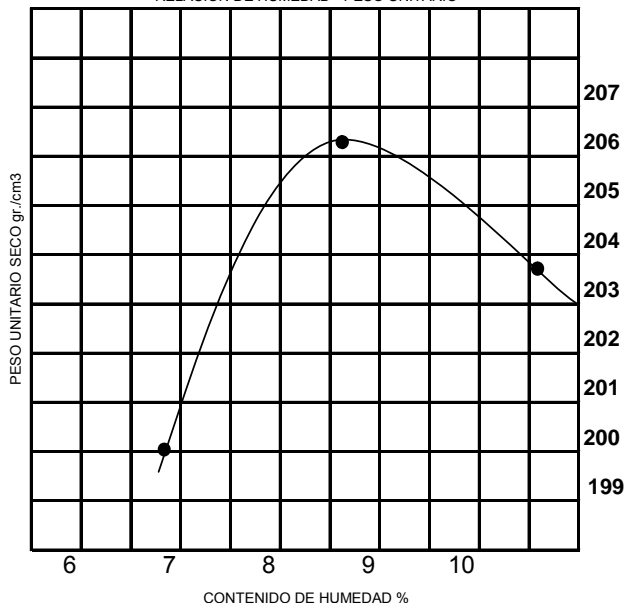
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,802.0	3,899.2	3,907.3				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,016.4	2,113.6	2,127.8				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944.0	944.0	944.0				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.136	2.239	2.254				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.8	8.6	10.6				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.000	2.062	2.038				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A -1- b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,062</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 3% DE CAL**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

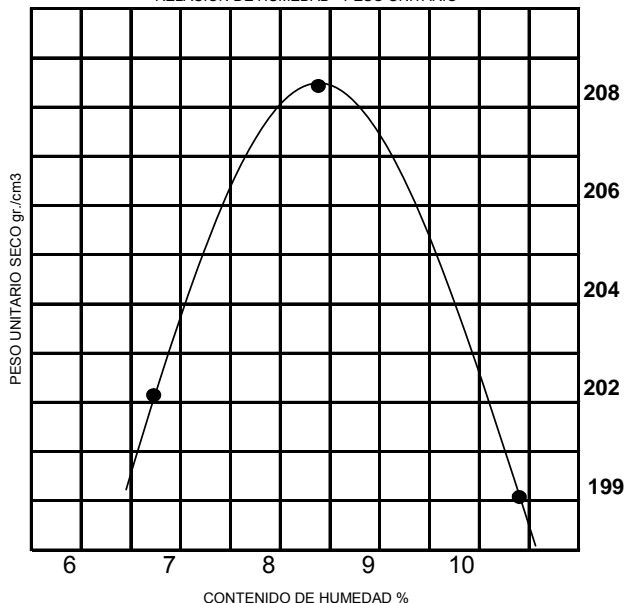
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,829.1	3,919.1	3,862				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,043.5	2,133.5	2,076				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.164	2.260	2.199				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.7	8.4	10.4				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.028	2.084	1.991				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 1 - b**  
U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.4</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,084</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCION: **ESTABILIZACION SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 3% DE CAL 14 Días**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

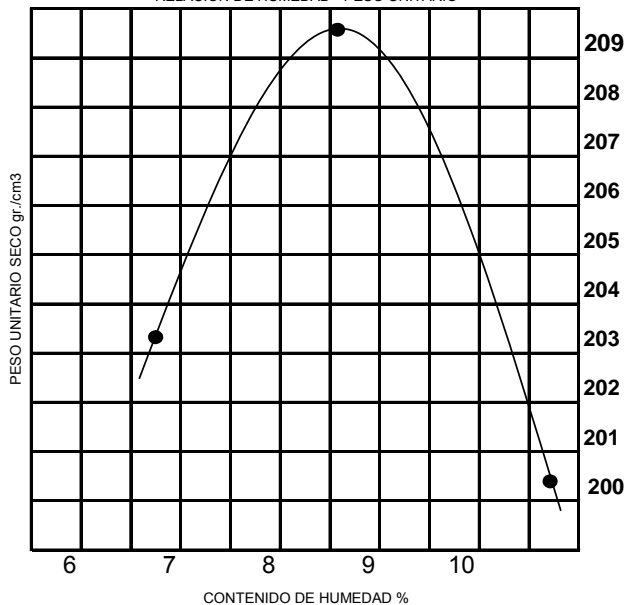
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,838.9	3,934.5	3,881				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,050.3	2,148.9	2,095				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.171	2.276	2.219				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.8	8.6	10.7				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.033	2.096	2.004				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 1 - b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,096</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 3% DE CAL 28 Días**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

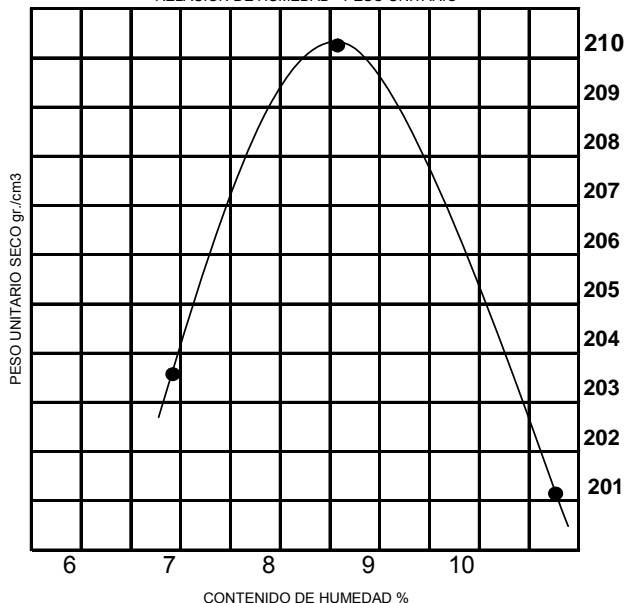
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,840.2	3,939.8	3,889				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,054.6	2,154.2	2,103.2				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.176	2.282	2.228				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.9	8.6	10.8				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.036	2.102	2.011				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 1 - b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,102</b>



## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 5% DE CAL**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

PROFUNDIDAD

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

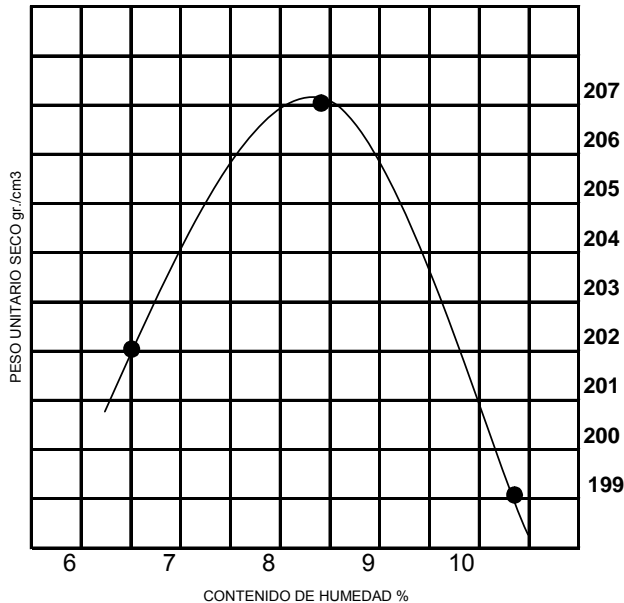
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,822.1	3,905.9	3,862.6				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,036.4	2,120.3	2,077.1				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.157	2.246	2.200				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.5	8.4	10.4				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.025	2.072	1.993				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 1 - b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.4</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM <sup>3</sup>	<b>2,072</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 5% DE CAL 14 Días**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

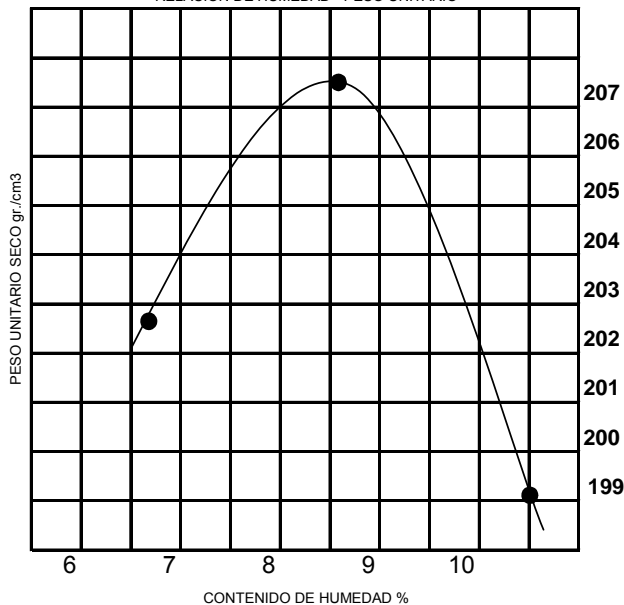
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,827.5	3,913.2	3,863.3				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,041.9	2,127.5	2,077.7				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.163	2.253	2.201				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.7	8.6	10.5				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.027	2.075	1.991				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 1 - b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM <sup>3</sup>	<b>2,075</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 5% DE CAL 28 Días**

PROFUNDIDAD

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

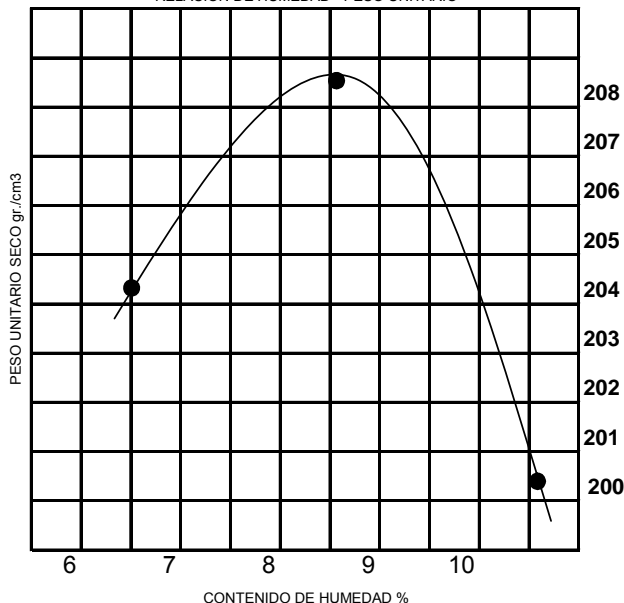
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,839.5	3,923.8	3,878.4				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,053.9	2,138.2	2,092.8				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm <sup>3</sup>	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.175	2.265	2.217				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.5	8.6	10.6				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.043	2.086	2.004				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A - 1 - b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM <sup>3</sup>	<b>2,086</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 7% DE CAL**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

PROFUNDIDAD

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

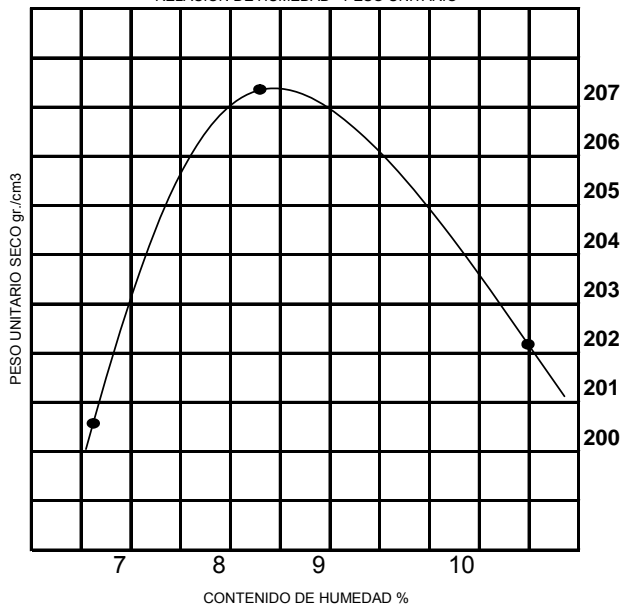
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,804.7	3,907.6	3,895.2				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,019.1	2,122.0	2,109.6				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm.	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.138	2.247	2.234				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.6	8.4	10.5				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.006	2.073	2.022				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A -1- b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.4</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM <sup>3</sup>	<b>2,073</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 7% DE CAL 14 Días**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

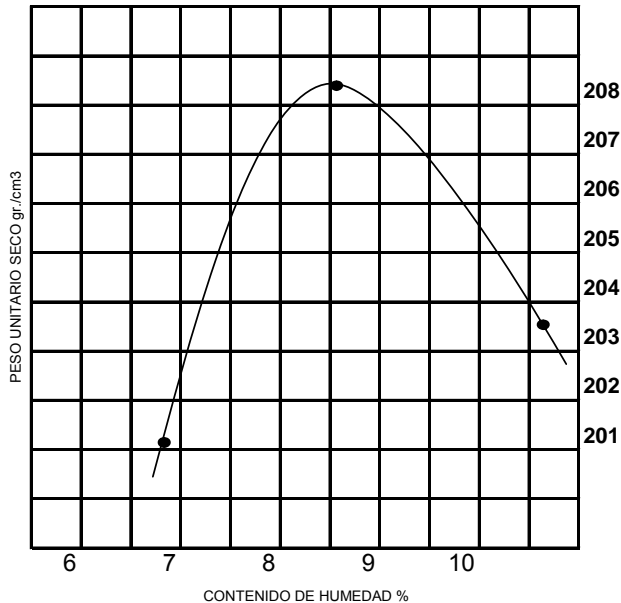
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,813.0	3,920.9	3,913.3				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,027.4	2,135.3	2,127.8				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm.	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.147	2.262	2.254				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.8	8.6	10.7				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.011	2.083	2.036				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A -1- b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,083</b>

## ENSAYO DE COMPACTACIÓN

PARA **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

PROYECTO **TESIS DE GRADO**

LOCALIZACIÓN **CARTAGENA**

DESCRIPCIÓN: **ESTABILIZACIÓN SUELO-CAL**

MUESTRA N° **CIMACO, 7% DE CAL 28 Días**

PESO MARTILLO **10** LBS. ALTURA CAIDA **18"**

FECHA **28/04/2006**

DIAMETRO MOLDE **6"** N° DE CAPAS **5**

N° DE GOLPES POR CAPA **56**

### DENSIDAD

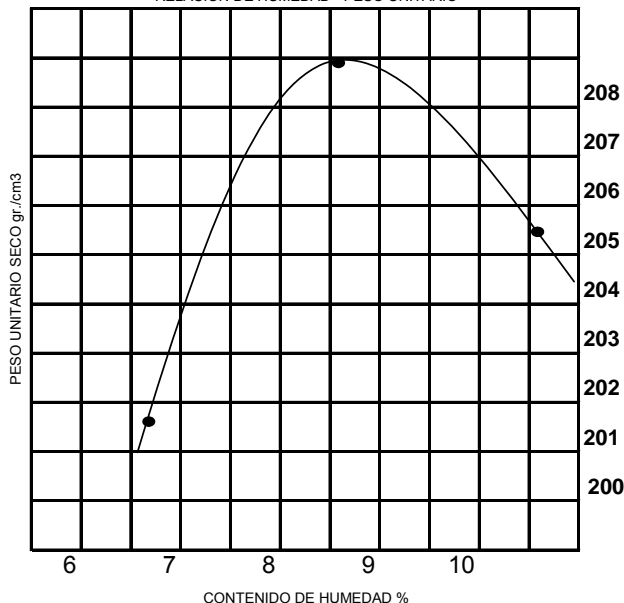
ALTURA MUESTRA **4.5 "**

MOLDE N°								
PESO MOLDE + SUELO COMPACTADO	gr.	3,817.2	3,926.5	3,930.3				
PESO DEL MOLDE	gr.	1,785.6	1,785.6	1,785.6				
PESO SUELO COMPACTADO	gr.	2,031.6	2,140.9	2,144.7				
VOLUMEN SUELO COMPACTADO	cm.	944	944	944				
DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.152	2.268	2.272				
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.7	8.6	10.6				
DENSIDAD DEL SUELO SECO.	gr./cm <sup>3</sup>	2.017	2.089	2.054				

### CONTENIDO DE HUMEDAD

MOLDE N°								
RECIPIENTE N°								
PESO RECIPIENTE + SUELO HUMEDO	gr.							
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO	gr.							
PESO AGUA EVAPORADA	gr.							
PESO DEL RECIPIENTE	gr.							
PESO DEL SUELO SECO	gr.							
CONTENIDO DE HUMEDAD	%							

RELACION DE HUMEDAD - PESO UNITARIO



INDICE DE GRUPO: \_\_\_\_\_

CLASIFICACION: AASHO **A -1- b**

U S C S **S M**

RESULTADOS:

HUMEDAD OPTIMA %	<b>8.6</b>
DENSIDAD MAXIMA GR/CM3	<b>2,089</b>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

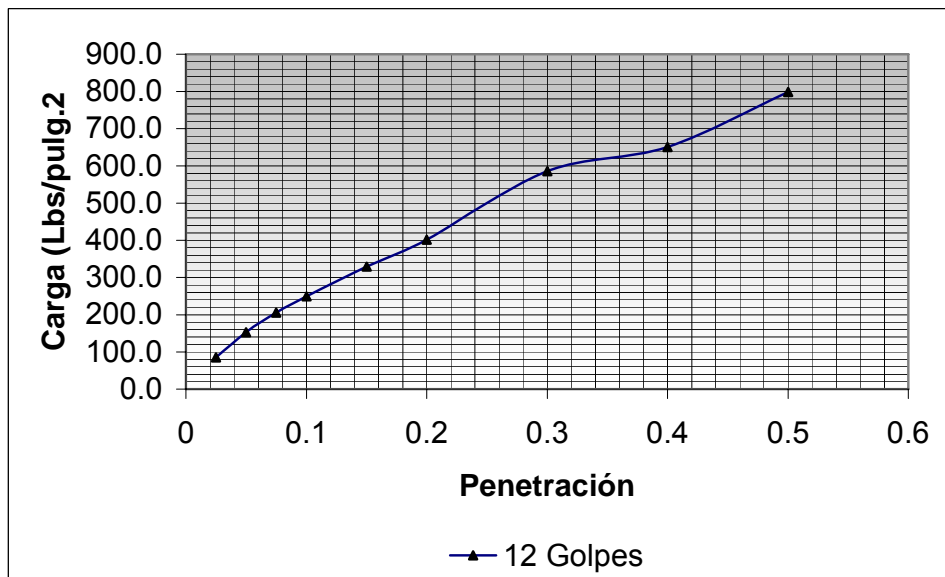
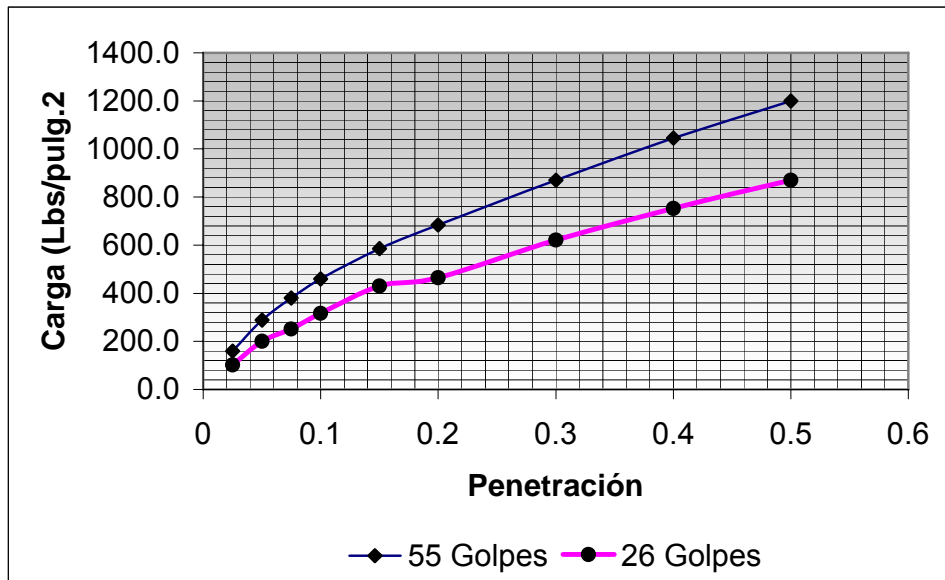
ENSAYO DE C. B. R.

Zahorra Cimaco

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha

PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		4			1			8								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	66	159.7		42	101.6		35	84.7							
1 minuto	0,050 "	119	287.9		83	200.8		63	152.4							
1 1/2 min.	0,075 "	157	379.8		104	251.6		85	205.6							
2 min.	0,100 "	190	459.7	45.97	131	316.9	31.9	103	249.2	24.9						
3 min.	0,150 "	242	585.5		178	430.6		136	329.0							
4 min.	0,200 "	283	684.7	45.64	192	464.5	30.90	166	401.6	26.7						
6 min.	0,300 "	360	871.0		257	621.8		242	585.5							
8 min.	0,400 "	432	1045.2		311	752.4		269	650.8							
10 min.	0,500 "	496	1200.0		360	871.0		330	798.4							

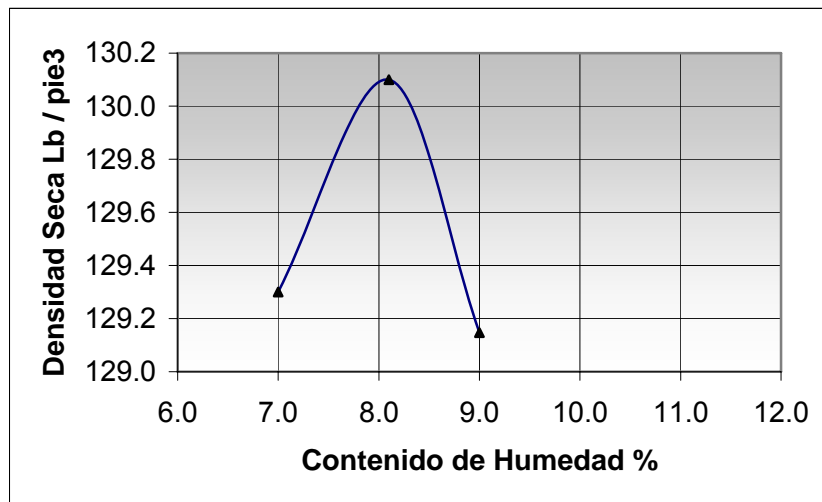
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Zahorra Cimaco  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



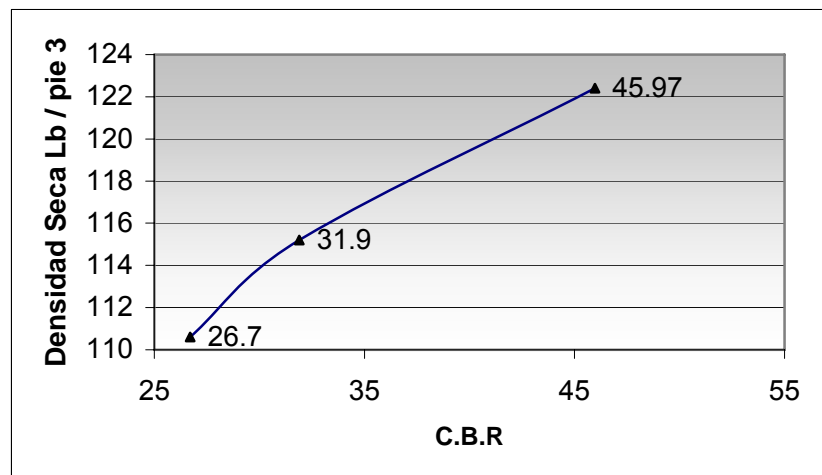


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 0%  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>0%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	25	12		
Molde N°		4	5	9		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9323	9060	8961		
Peso del molde	Grs.	4456	4360	4523		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	4867	4700	4438		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4400	4249	4013		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2243	2302	2264		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	1.967	1.846	1.772		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	122.4	115.2	110.6		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

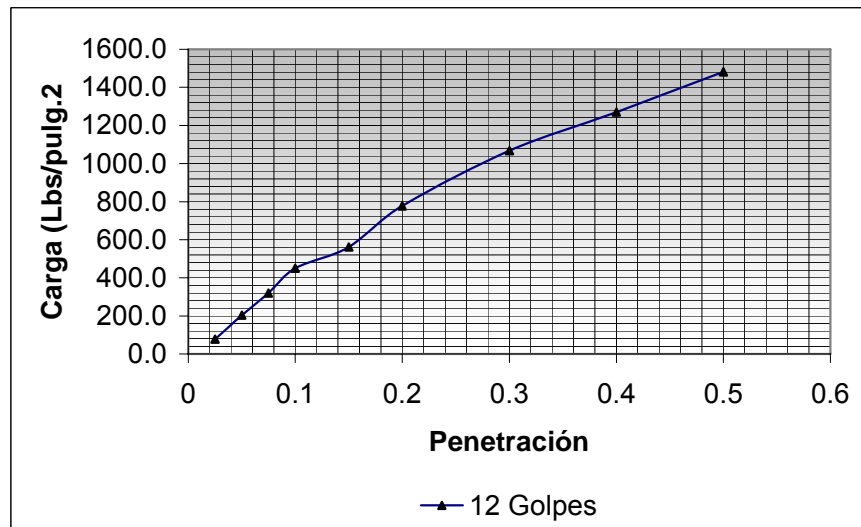
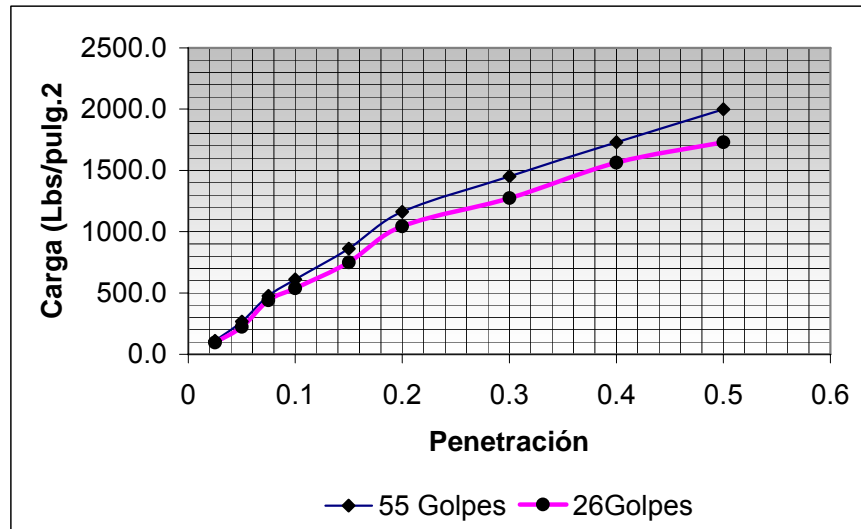
**ENSAYO DE C. B. R.**

Combinación: 2 : 1. Zahorra Cimaco - Arena - 0% de Cal

Sondeo N°	Muestra N°	N° de golpes por capa	Fecha
			28/04/2006

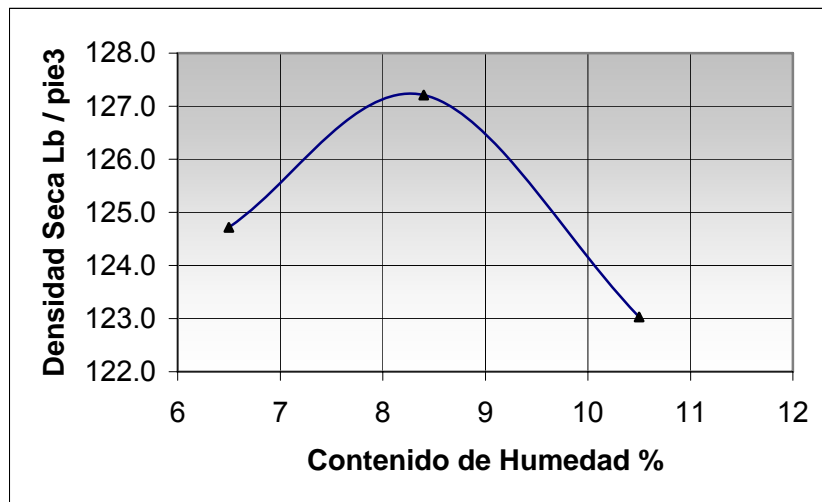
PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			6			5								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	45	108.9		40	96.8		32	77.4							
1 minuto	0,050 "	110	266.1		92	222.6		84	203.2							
1 1/2 min.	0,075 "	197	476.6		182	440.3		132	319.4							
2 min.	0,100 "	252	609.7	60.96	222	537.1	53.7	186	450.0	45.0						
3 min.	0,150 "	356	861.3		310	750.0		232	561.3							
4 min.	0,200 "	480	1161.3	77.42	431	1042.7	69.51	321	776.6	51.8						
6 min.	0,300 "	600	1451.6		527	1275.0		441	1066.9							
8 min.	0,400 "	715	1729.8		646	1562.9		525	1270.2							
10 min.	0,500 "	826	1998.4		715	1729.8		612	1480.6							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Zahorra - Arena  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

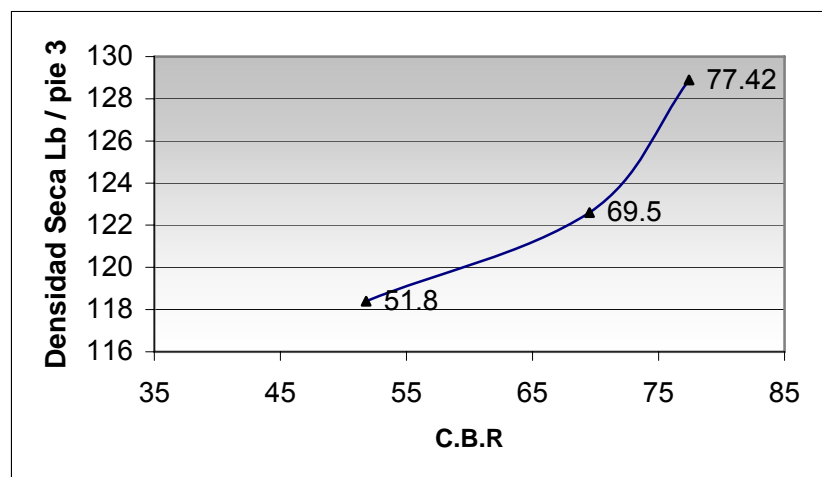


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. Zahorra - Arena  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>0%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	25	12		
Molde N°		4	5	9		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9323	9060	8961		
Peso del molde	Grs.	4456	4360	4523		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	4867	4700	4438		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4400	4249	4013		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2243	2302	2264		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	1.967	1.846	1.772		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	122.4	115.2	110.6		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ENSAYO DE C. B. R.

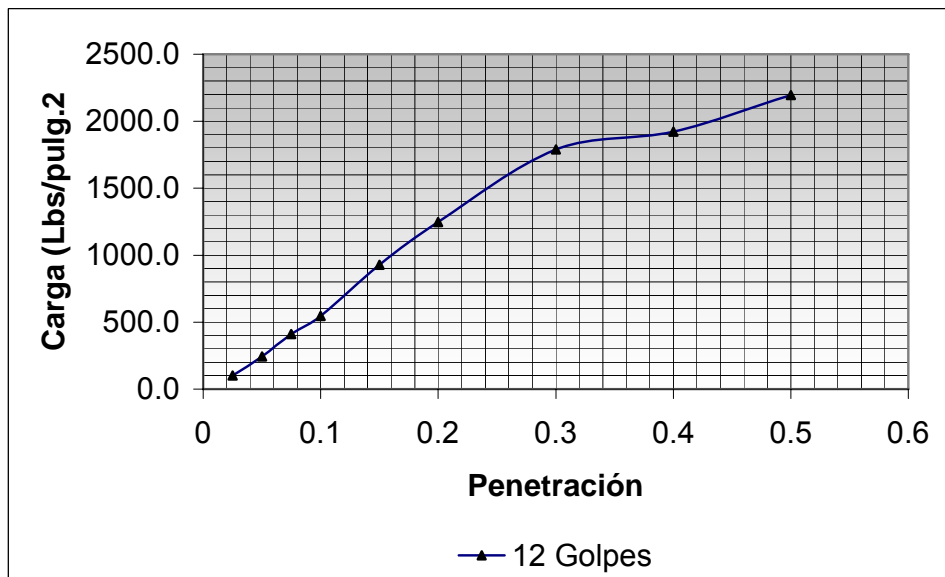
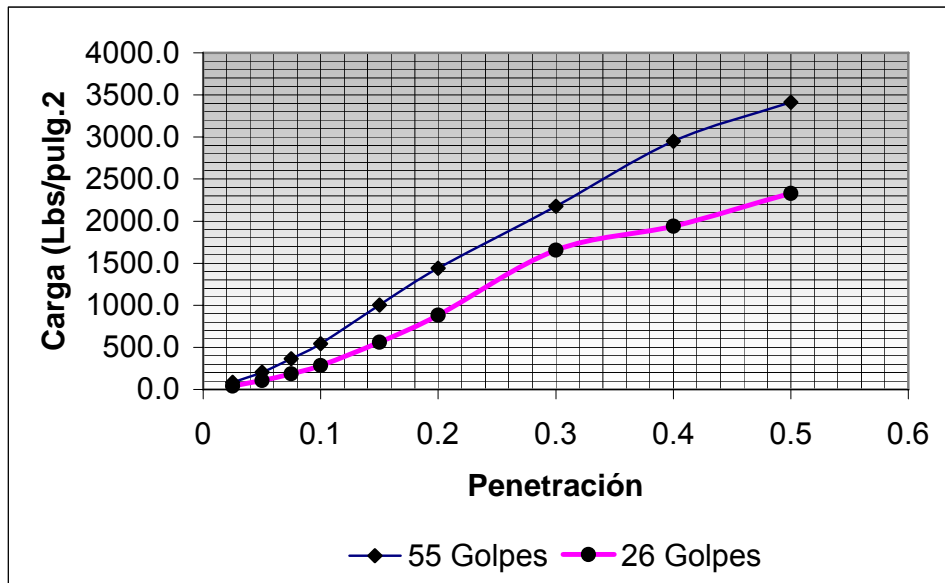
Cimaco 2 % de Cal - A los 4 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha

PENETRACION

Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	35	84.7		17	41.1		42	101.6							
1 minuto	0,050 "	85	205.6		43	104.0		100	241.9							
1 1/2 min.	0,075 "	150	362.9		77	186.3		170	411.2							
2 min.	0,100 "	225	544.4	54.4	118	285.4	28.5	225	544.4	54.4						
3 min.	0,150 "	415	1004.0		232	561.3		384	929.0							
4 min.	0,200 "	595	1439.5	95.96	365	883.1	58.87	515	1245.9	83.1						
6 min.	0,300 "	900	2177.4		685	1657.2		740	1790.3							
8 min.	0,400 "	1220	2951.6		802	1940.3		894	1923.4							
10 min.	0,500 "	1410	3411.3		963	2329.8		998	2194.4							

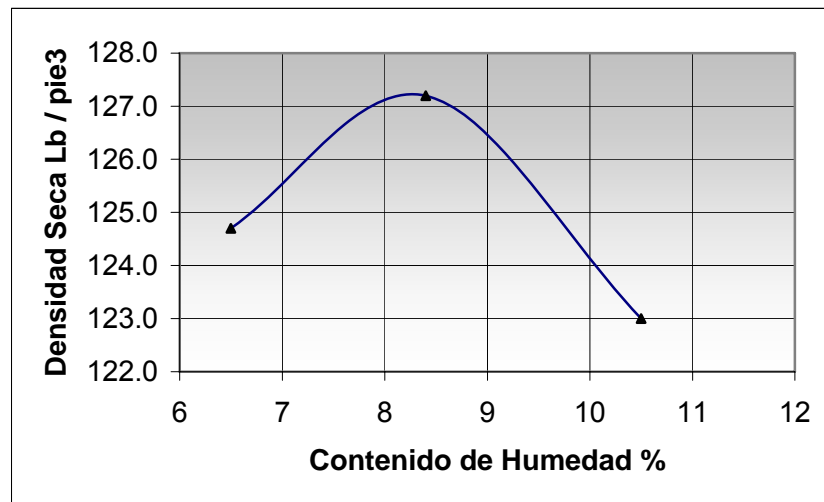
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 2 % Cal. A los 4 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



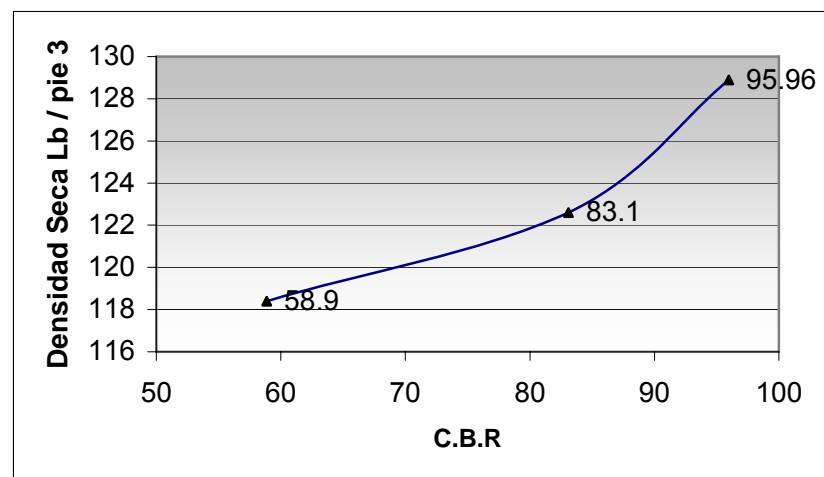


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 2 %  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>2%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 4 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		8	4	6		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9307.8	9096.8	8922.8		
Peso del molde	Grs.	4119.3	4161.3	4154.6		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5188.5	4935.5	4768.2		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4786.4	4553.0	4398.7		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2316.7	2316.7	2316.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.066	1.965	1.898		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	128.9	122.6	118.4		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

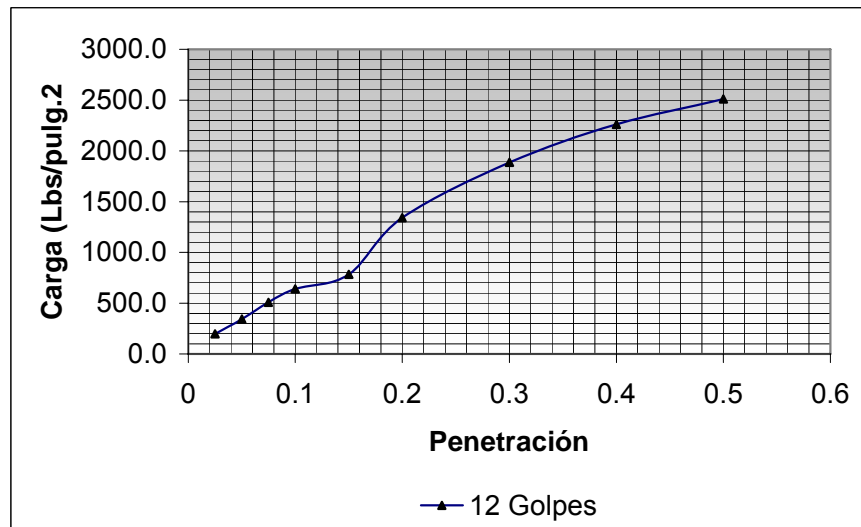
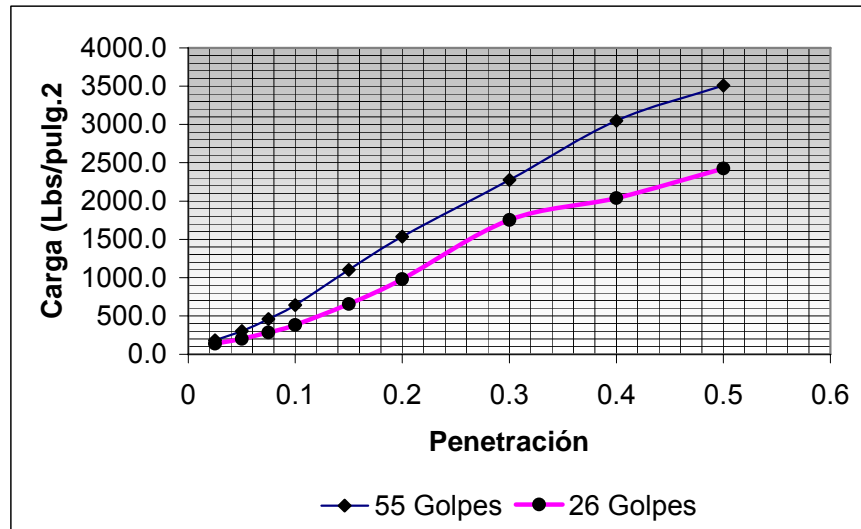
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 2 % de Cal - A los 14 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

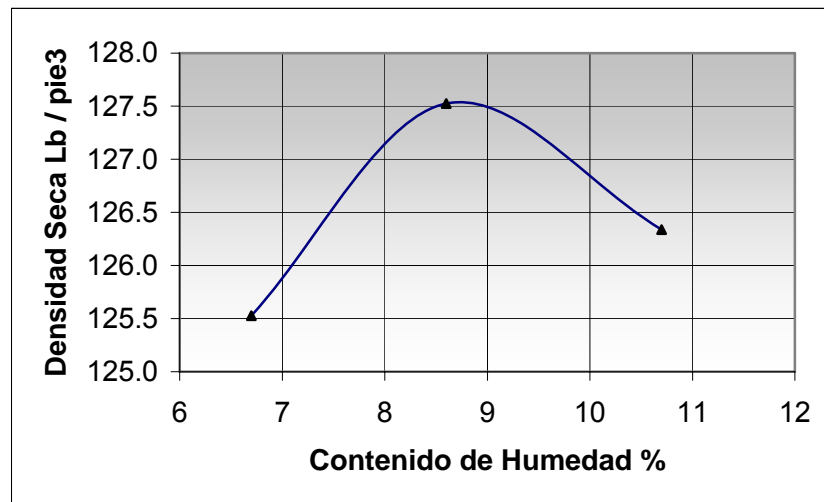
PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	75	181.5		57	137.9		82	198.4							
1 minuto	0,050 "	125	302.4		83	200.8		142	343.5							
1 1/2 min.	0,075 "	190	459.7		117	283.1		210	508.1							
2 min.	0,100 "	265	641.1	64.1	158	382.3	38.2	265	641.1	64.1						
3 min.	0,150 "	455	1100.8		272	658.1		324	783.9							
4 min.	0,200 "	635	1536.3	102.4	405	979.8	65.3	555	1342.7	89.5						
6 min.	0,300 "	940	2274.2		725	1754.0		780	1887.1							
8 min.	0,400 "	1260	3048.4		842	2037.1		934	2259.7							
10 min.	0,500 "	1450	3508.1		1003	2426.6		1038	2511.3							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 2 % Cal. A los 14 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

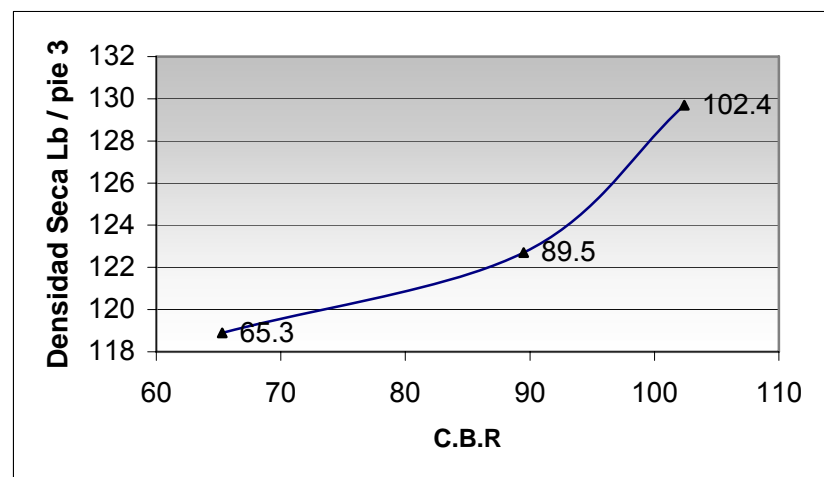


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 2 % A los 14 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>2%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL. 14 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		6	8	4		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9354.3	9107.5	8947.2		
Peso del molde	Grs.	4121.2	4158.2	4152.6		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5233.1	4949.3	4794.6		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4818.7	4557.4	4414.9		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2316.7	2316.7	2316.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.079	1.967	1.905		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	129.7	122.7	118.9		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

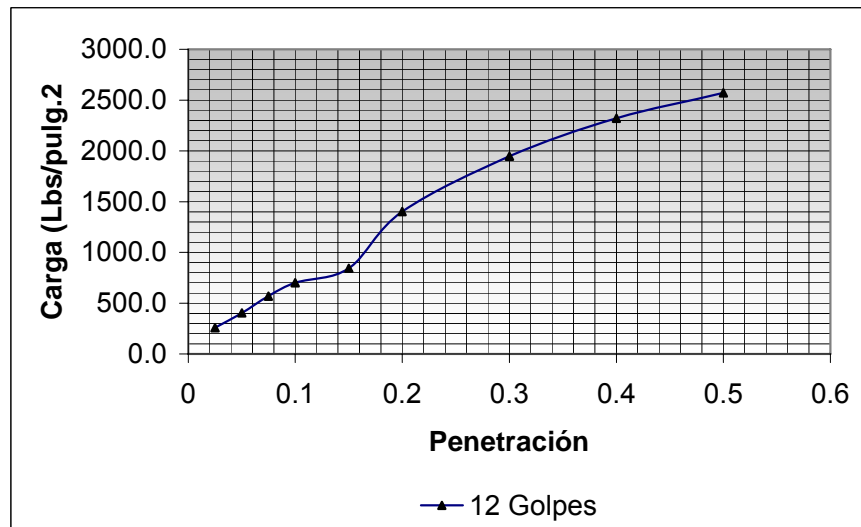
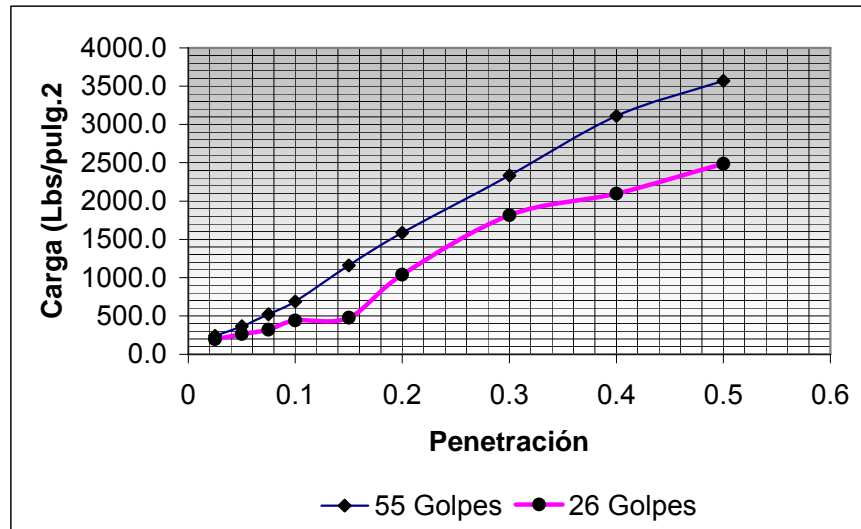
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 2 % de Cal - A los 28 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	100	241.9		82	198.4		107	258.9							
1 minuto	0,050 "	150	362.9		108	261.3		167	404.0							
1 1/2 min.	0,075 "	215	520.2		132	319.4		235	568.5							
2 min.	0,100 "	285	689.5	69.0	182	440.3	44.0	290	701.6	70.2						
3 min.	0,150 "	480	1161.3		197	476.6		349	844.4							
4 min.	0,200 "	655	1584.7	105.6	430	1040.3	69.4	580	1403.2	93.5						
6 min.	0,300 "	965	2334.7		750	1814.5		805	1947.6							
8 min.	0,400 "	1285	3108.9		867	2097.6		959	2320.2							
10 min.	0,500 "	1475	3568.5		1028	2487.1		1063	2571.8							

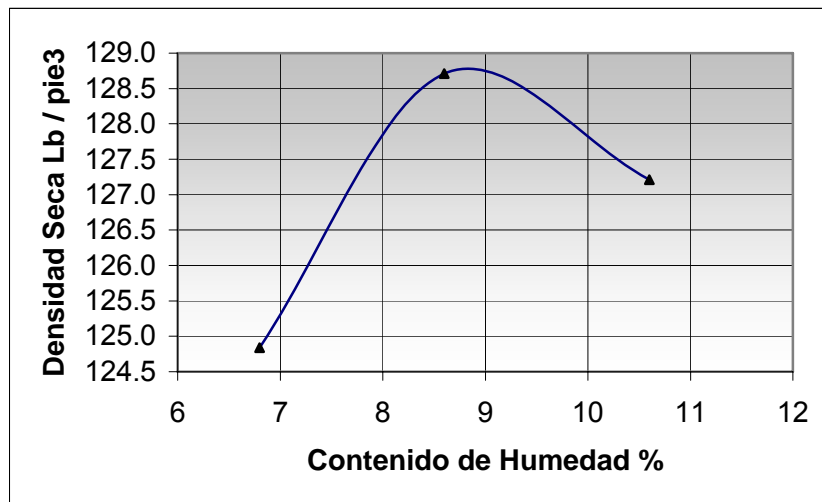
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 2 % Cal. A los 28 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



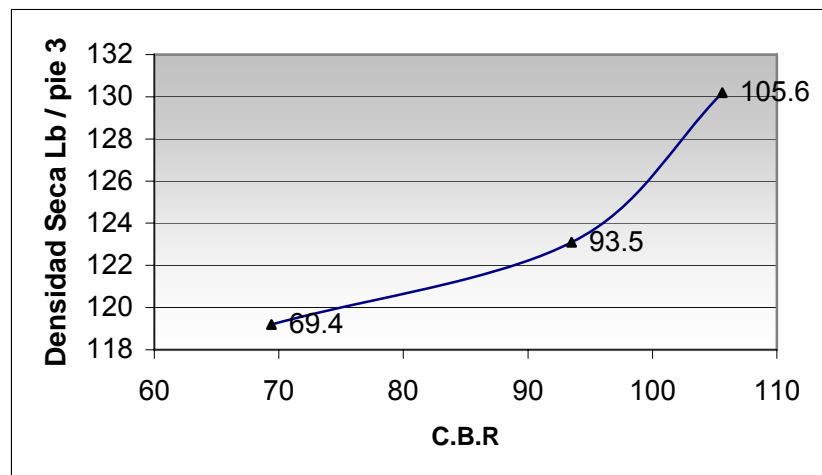


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 2 % A los 28 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>2%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL. 28 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		8	6	5		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9360.2	9123.5	8951.2		
Peso del molde	Grs.	4110.3	4160.4	4145.4		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5249.9	4963.1	4805.8		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4834.2	4570.1	4425.2		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2316.7	2316.7	2316.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.086	1.972	1.910		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	130.2	123.1	119.2		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ENSAYO DE C. B. R.

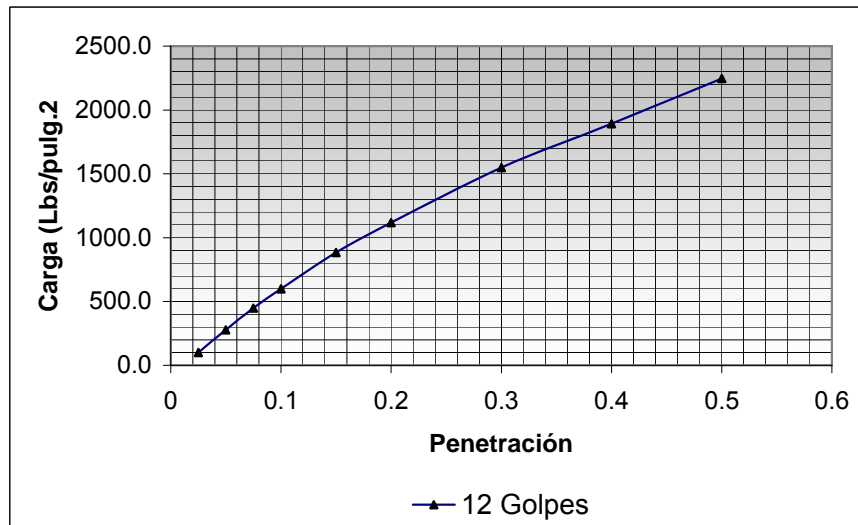
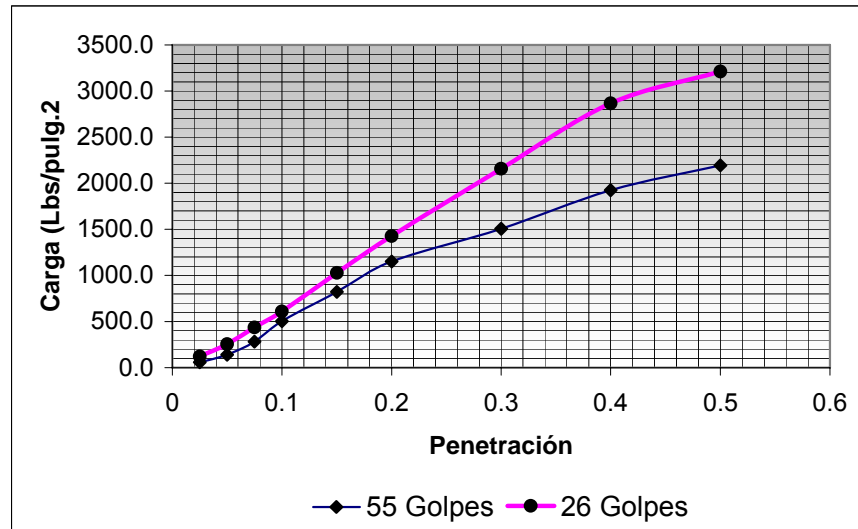
Cimaco 3 % de Cal - A los 4 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha  28/04/2006

PENETRACION  55  26  12

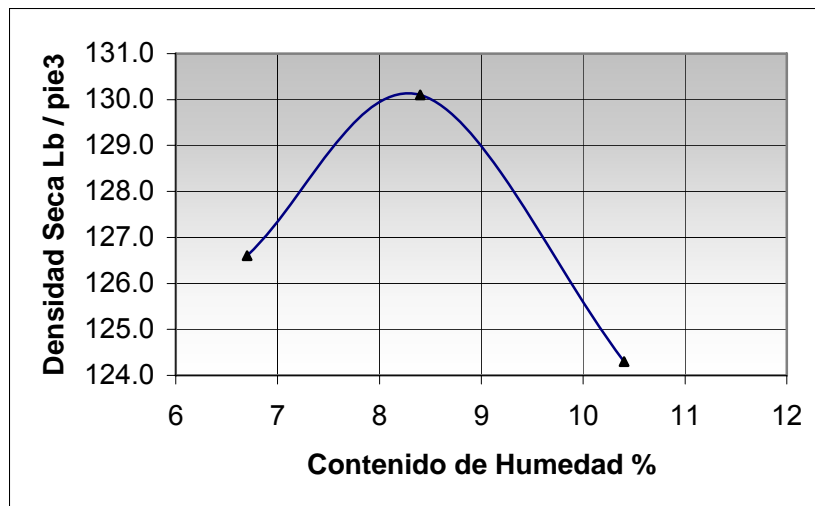
Molde N°	Tiempo	P/tracción	3			1			10								
			Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
	30 seg.	0,025 "	24	58.1		50	120.9		42	101.6							
	1 minuto	0,050 "	58	140.3		105	254.0		115	278.2							
	1 1/2 min.	0,075 "	116	280.6		180	435.5		185	447.6							
	2 min.	0,100 "	208	503.2	50.3	252	609.7	60.97	248	600.0	60.0						
	3 min.	0,150 "	340	822.6		425	1028.2		365	883.1							
	4 min.	0,200 "	476	1151.6	76.8	590	1427.4	95.16	462	1117.7	74.51						
	6 min.	0,300 "	622	1504.8		892	2158.1		640	1548.4							
	8 min.	0,400 "	795	1923.4		1185	2866.9		782	1891.9							
	10 min.	0,500 "	907	2194.4		1328	3212.9		928	2245.2							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 3 % Cal. A los 4 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

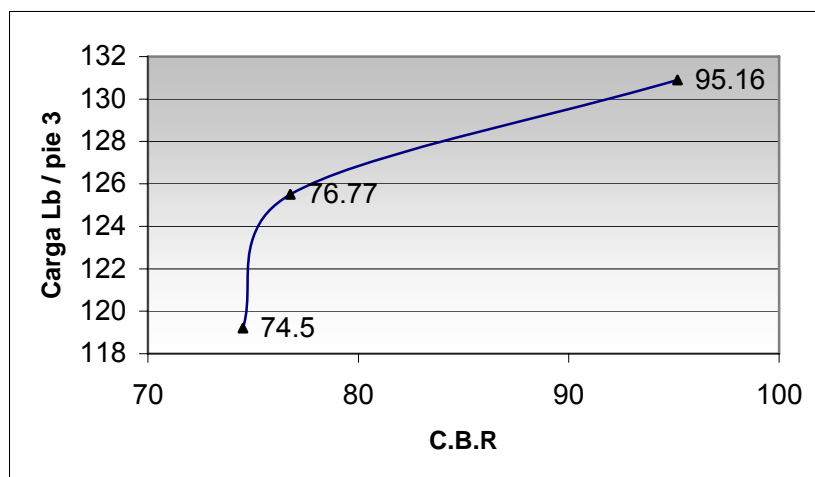


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 3 %  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>3%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 4 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		3	1	10		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9433.9	9263.4	8961.9		
Peso del molde	Grs.	4165.0	4210.5	4163.5		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5268.9	5052.9	4798.5		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4860.6	4661.3	4426.5		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2316.7	2316.7	2316.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.098	2.012	1.910		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	130.9	125.5	119.2		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

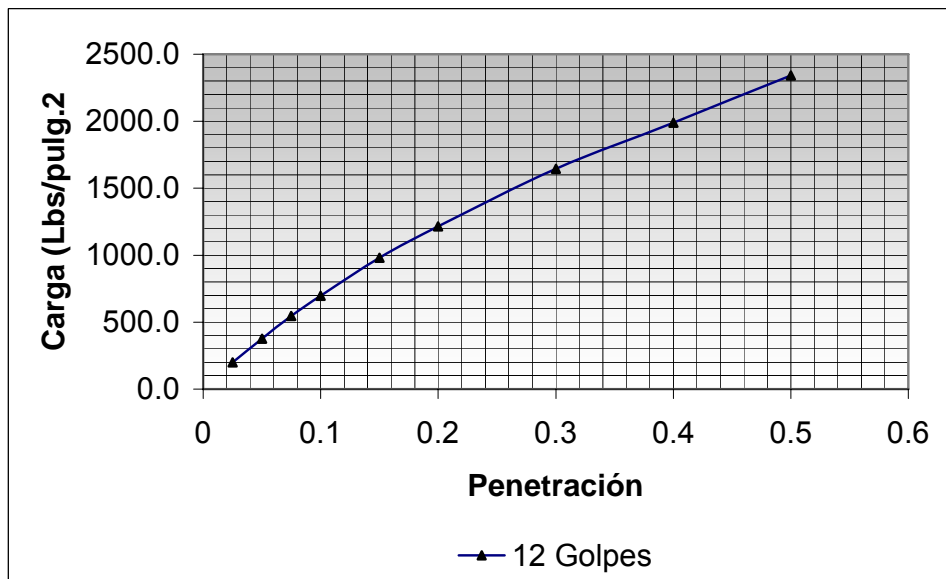
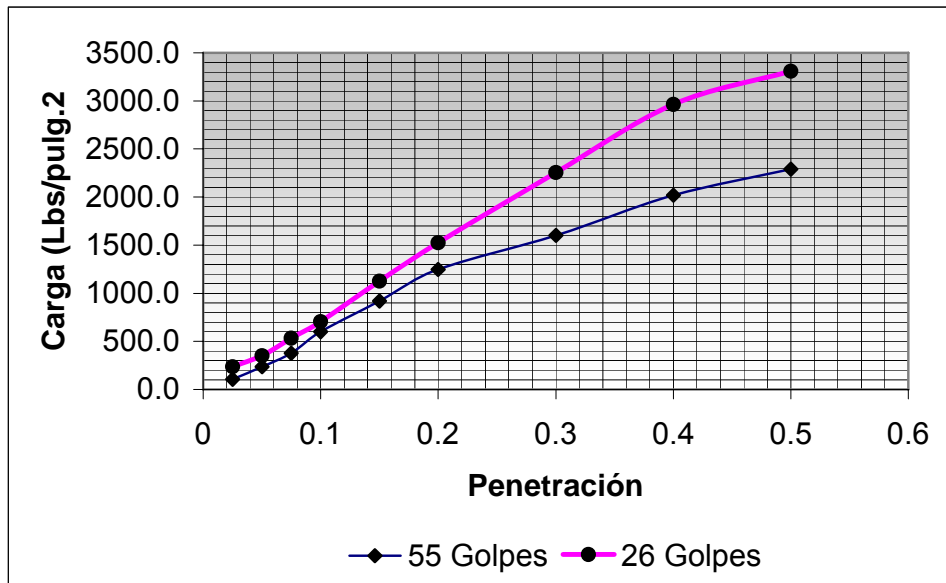
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 3 % de Cal - A los 14 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	44	106.5		97	234.7		82	198.4							
1 minuto	0,050 "	98	237.1		145	350.8		155	375.0							
1 1/2 min.	0,075 "	156	377.4		220	532.3		225	544.4							
2 min.	0,100 "	248	600.0	60.0	292	706.5	70.6	288	696.8	69.7						
3 min.	0,150 "	380	919.4		465	1125.0		405	979.8							
4 min.	0,200 "	516	1248.4	83.2	630	1524.2	101.6	502	1214.5	81.0						
6 min.	0,300 "	662	1601.6		932	2254.8		680	1645.2							
8 min.	0,400 "	835	2020.2		1225	2963.7		822	1988.7							
10 min.	0,500 "	947	2291.1		1368	3309.7		968	2341.9							

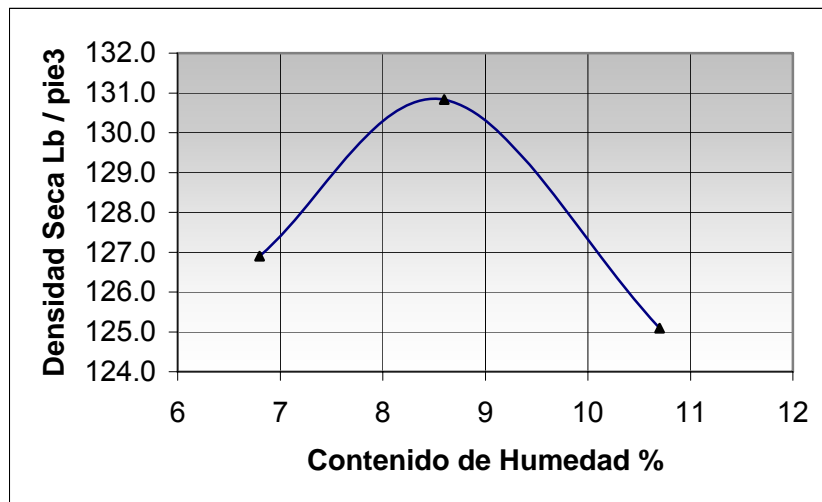
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 3 % Cal. A los 14 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



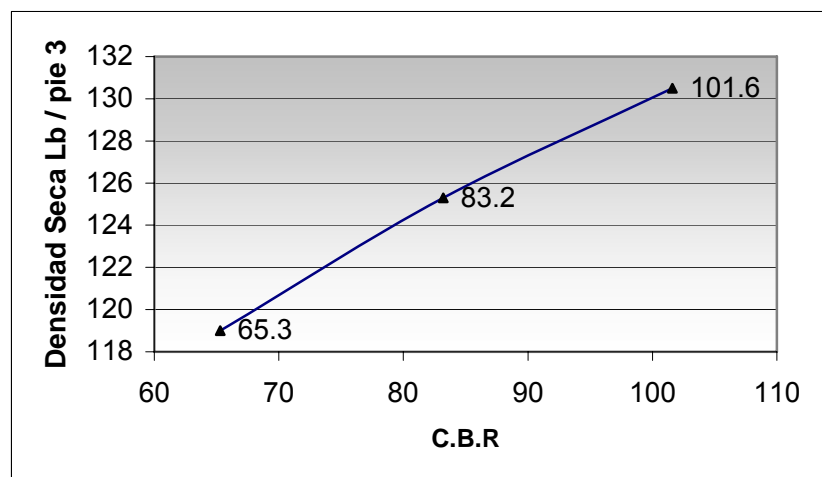


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 3 % A los 14 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>3%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL. 14 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		10	3	1		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9429.5	9275.5	8963.3		
Peso del molde	Grs.	4167.2	4221.3	4165.2		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5262.5	5053.7	4798.1		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4845.7	4653.4	4418.1		
Volumen de la muestra	Cm3.	2316.7	2316.7	2316.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm3.	2.091	2.008	1.907		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie3.	130.5	125.3	119.0		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

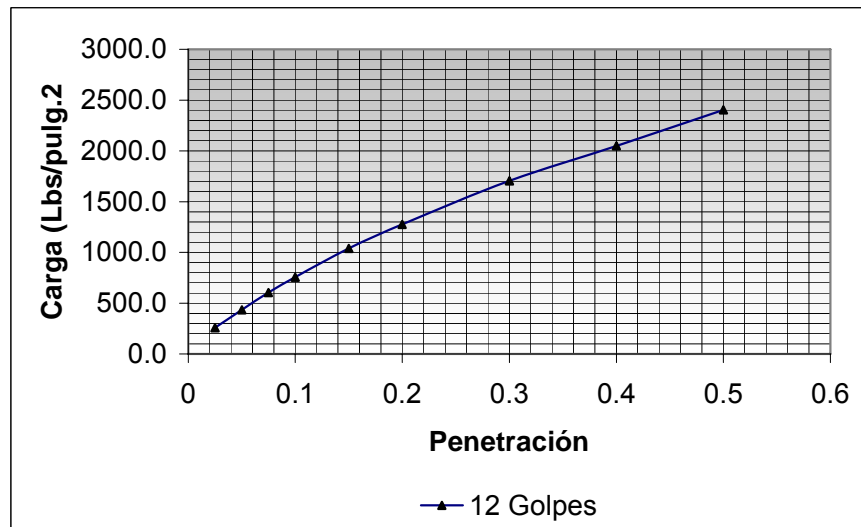
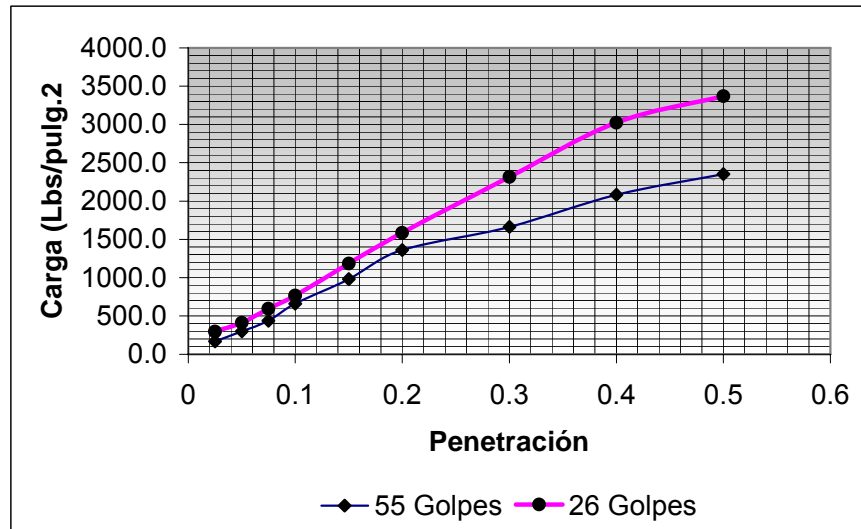
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 3 % de Cal - A los 28 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

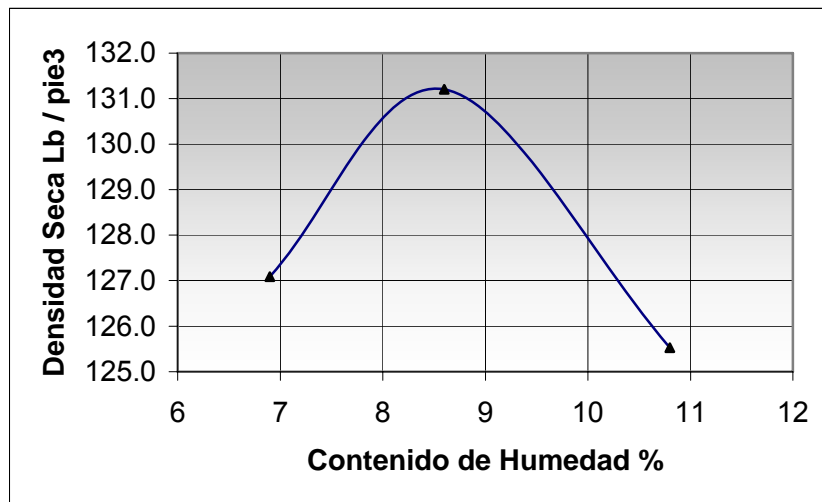
PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tración	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	69	166.9		122	295.2		107	258.9							
1 minuto	0,050 "	123	297.6		170	411.3		180	435.5							
1 1/2 min.	0,075 "	181	437.9		245	592.7		250	604.8							
2 min.	0,100 "	273	660.5	66.0	317	766.9	76.7	313	757.3	75.7						
3 min.	0,150 "	405	979.8		490	1185.5		430	1040.3							
4 min.	0,200 "	562	1359.7	90.6	655	1584.7	105.6	527	1275.0	85.0						
6 min.	0,300 "	687	1662.1		957	2315.3		705	1705.6							
8 min.	0,400 "	860	2080.6		1250	3024.2		847	2049.2							
10 min.	0,500 "	972	2351.6		1393	3370.2		993	2402.4							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 3 % Cal. A los 28 Dias  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

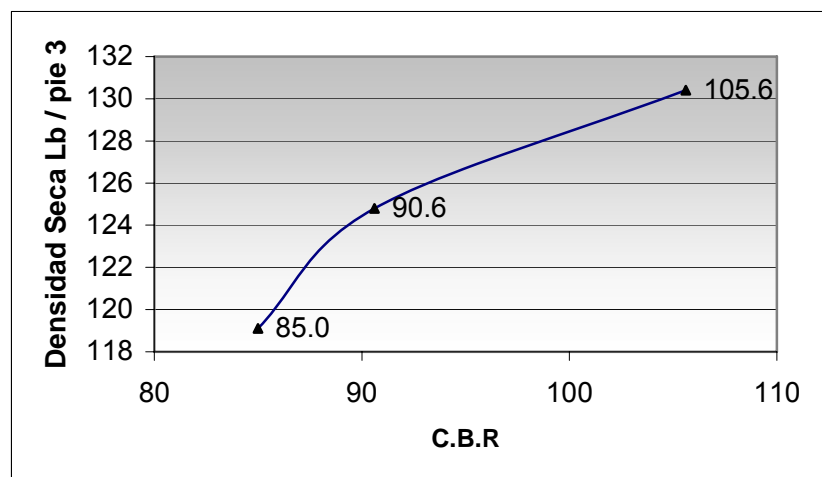


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 3 % A los 28 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>3%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL. 28 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		1	10	4		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9432.5	9283.4	8959.3		
Peso del molde	Grs.	4173.4	4251.2	4157.4		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5259.1	5032.2	4801.9		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4842.6	4633.7	4421.6		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2316.7	2316.7	2316.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.090	2.000	1.908		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	130.4	124.8	119.1		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

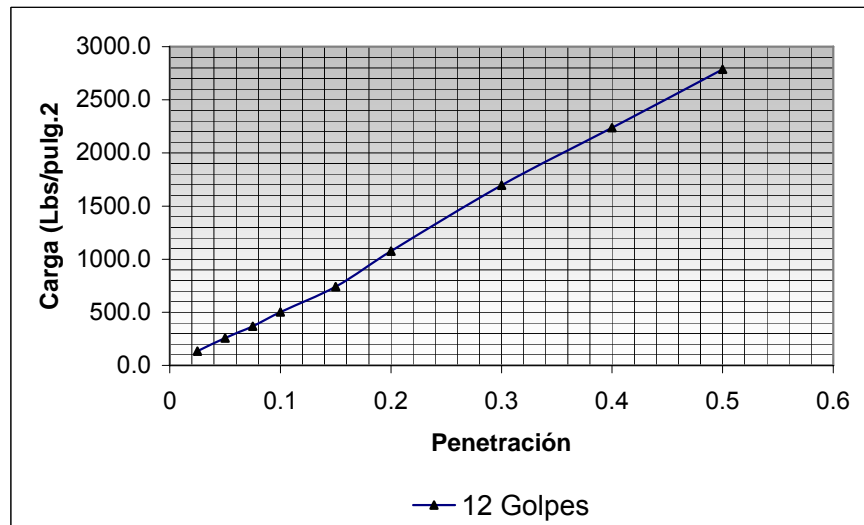
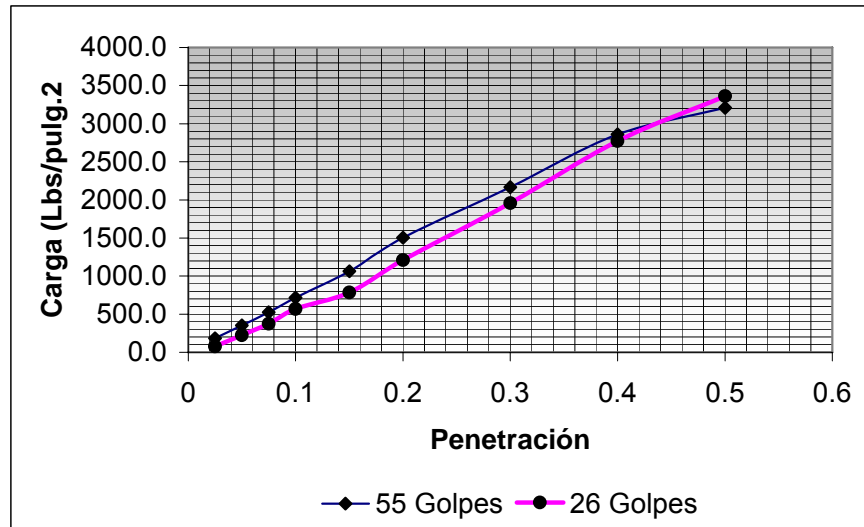
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 5 % de Cal - A los 4 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		2			9			11								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	76	183.8		32	77.4		55	133.1							
1 minuto	0,050 "	145	350.8		92	222.5		106	256.5							
1 1/2 min.	0,075 "	217	525.0		155	375.6		152	367.7							
2 min.	0,100 "	296	716.1	71.61	235	568.5	56.85	208	503.2	50.32						
3 min.	0,150 "	440	1064.5		325	786.2		307	742.7							
4 min.	0,200 "	622	1504.8	100.3	500	1209.7	80.65	445	1076.6	71.77						
6 min.	0,300 "	895	2165.3		810	1959.6		701	1695.9							
8 min.	0,400 "	1182	2859.6		1145	2770.2		925	2237.9							
10 min.	0,500 "	1326	3208.6		1390	3362.9		1152	2787.1							

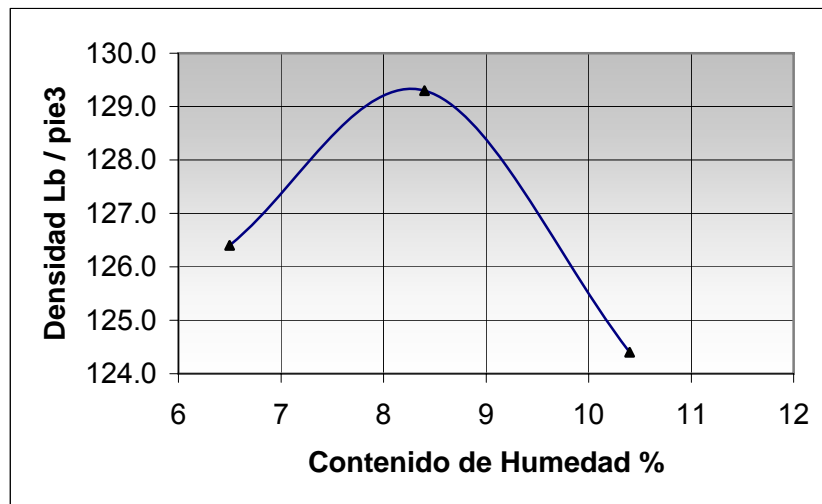
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 5 % Cal. A los 4 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



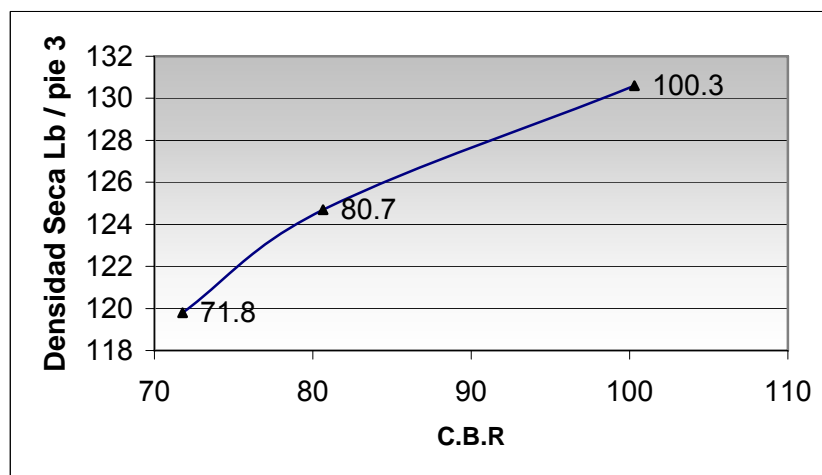


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 5 %  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>5%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 4 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		2	9	11		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9432.3	9086.7	8955.5		
Peso del molde	Grs.	4173.8	4067.7	4130.4		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5258.5	5019.0	4825.1		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4851.0	4630.0	4451.1		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2613.7	2613.7	2613.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.093	1.998	1.921		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	130.6	124.7	119.8		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

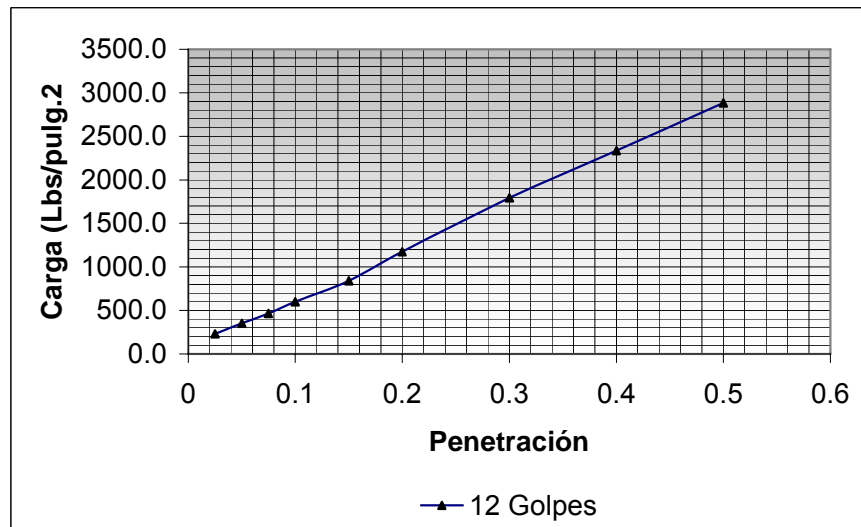
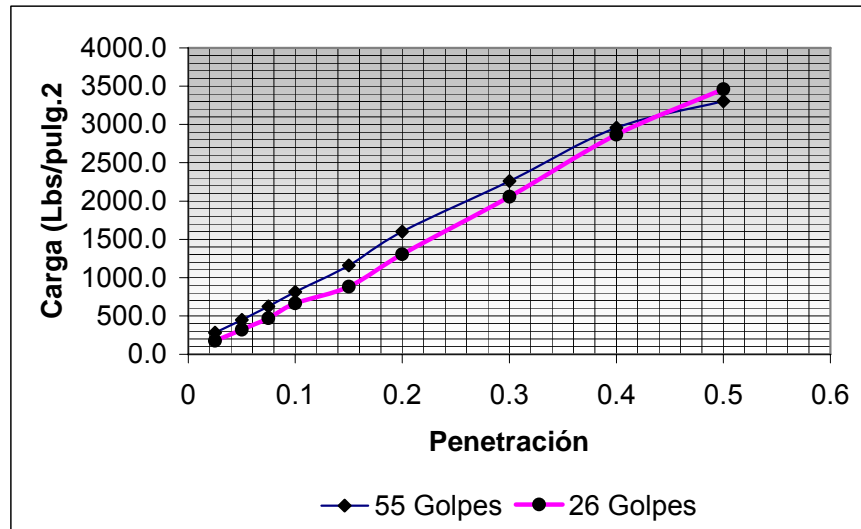
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 5 % de Cal - A los 14 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

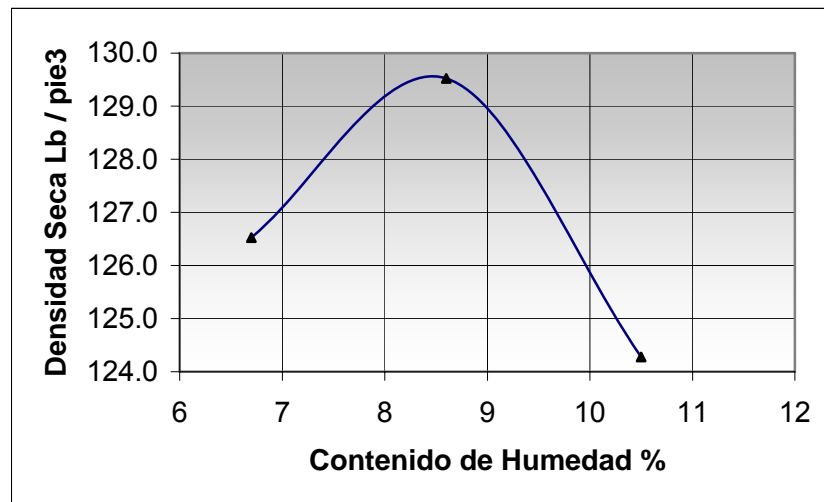
PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	116	280.6		72	174.2		95	229.8							
1 minuto	0,050 "	185	447.6		132	319.4		146	353.2							
1 1/2 min.	0,075 "	257	621.8		195	471.8		192	464.5							
2 min.	0,100 "	336	812.9	81.3	275	665.3	66.5	248	600.0	60.0						
3 min.	0,150 "	480	1161.3		365	883.1		347	839.5							
4 min.	0,200 "	662	1601.6	106.8	540	1306.5	87.1	485	1173.4	78.2						
6 min.	0,300 "	935	2262.1		850	2056.5		741	1792.7							
8 min.	0,400 "	1222	2956.5		1185	2866.9		965	2334.7							
10 min.	0,500 "	1366	3304.8		1430	3459.7		1192	2883.9							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 5 % Cal. A los 14 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

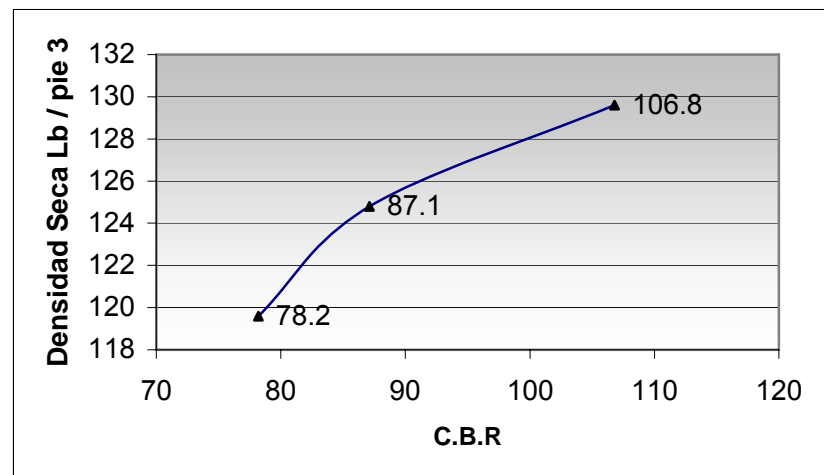


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 5 %. A los 14 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>5%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 14 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		9	2	11		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9438.5	9095.2	8950.3		
Peso del molde	Grs.	4179.3	4060.3	4125.7		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5259.2	5034.9	4824.6		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4842.7	4636.2	4442.5		
Volumen de la muestra	Cm3.	2613.7	2613.7	2613.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm3.	2.090	2.001	1.917		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie3.	129.6	124.8	119.6		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

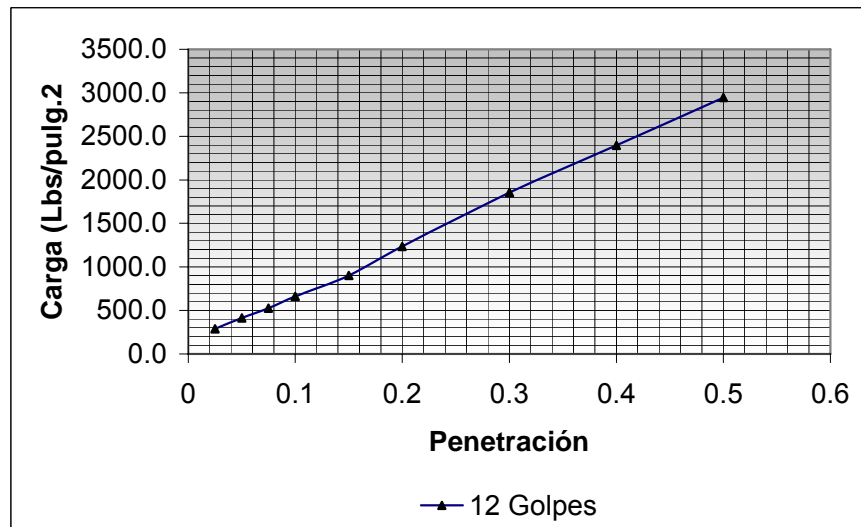
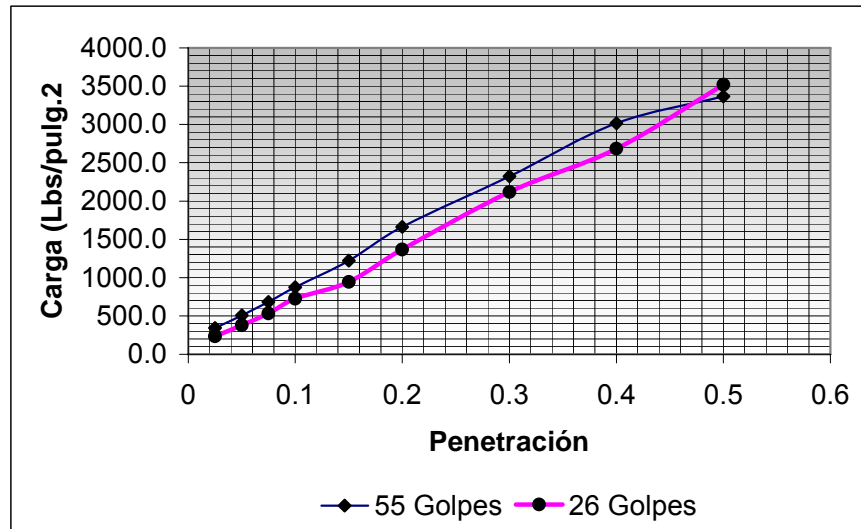
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 5 % de Cal - A los 28 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	141	341.1		97	234.7		120	290.3							
1 minuto	0,050 "	210	508.1		157	379.8		171	413.7							
1 1/2 min.	0,075 "	282	682.3		220	532.3		217	525.0							
2 min.	0,100 "	361	873.4	87.3	300	725.8	72.6	273	660.5	66.0						
3 min.	0,150 "	505	1221.8		390	943.5		372	900.0							
4 min.	0,200 "	687	1662.1	110.8	565	1366.9	91.1	510	1233.9	82.3						
6 min.	0,300 "	960	2322.6		875	2116.9		766	1853.2							
8 min.	0,400 "	1247	3016.9		1110	2685.5		990	2395.2							
10 min.	0,500 "	1391	3365.3		1455	3520.2		1217	2944.4							

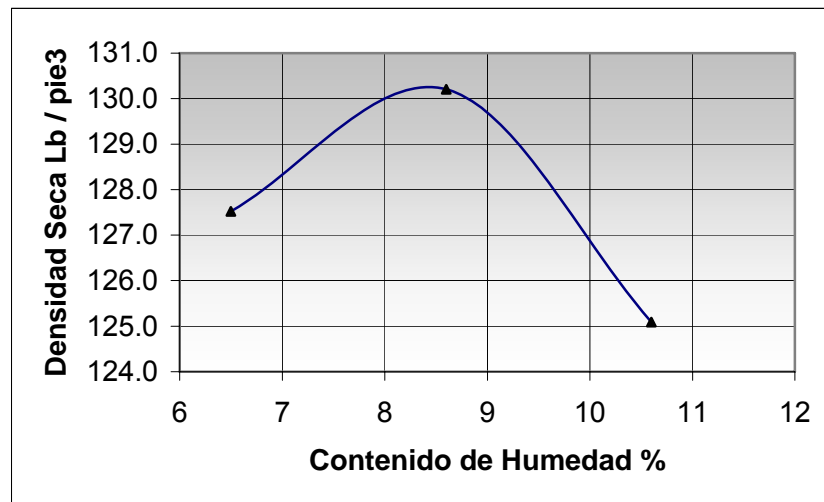
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 5 % Cal. A los 28 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



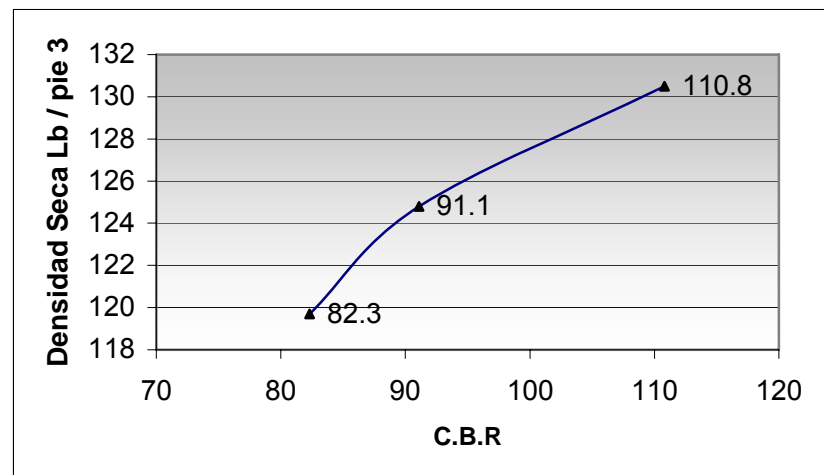


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 5 % A los 28 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>5%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 28 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		2	9	7		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9443.2	9098.5	8959.5		
Peso del molde	Grs.	4181.5	4063.3	4130.6		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5261.7	5035.2	4828.9		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4845.0	4636.5	4446.5		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2613.7	2613.7	2613.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.091	2.001	1.919		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	130.5	124.8	119.7		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

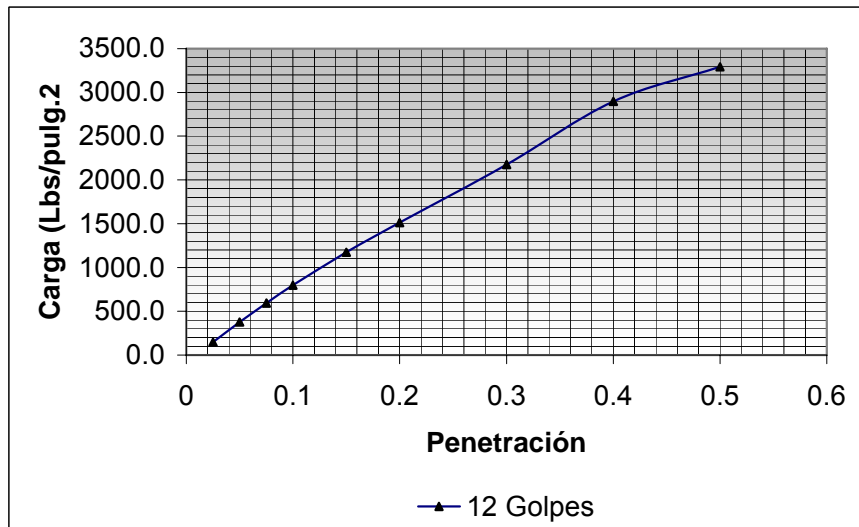
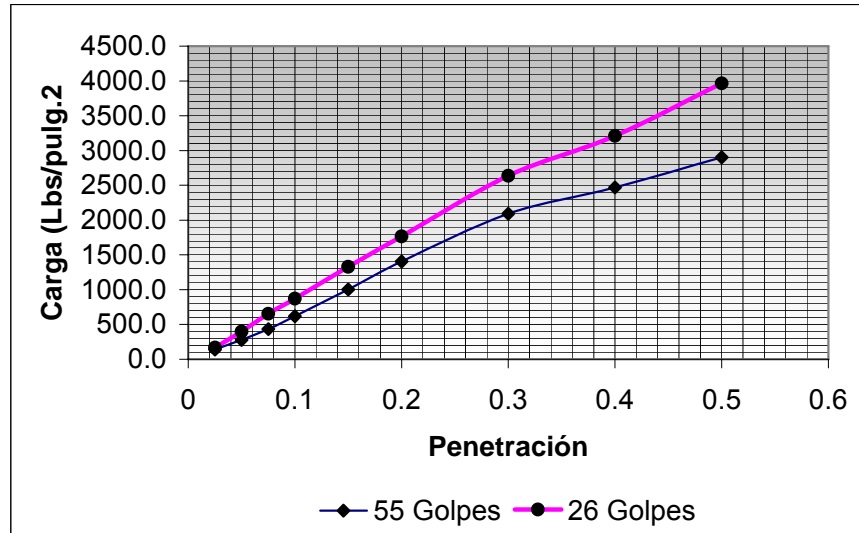
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 7 % de Cal - A los 4 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha  28/04/2006

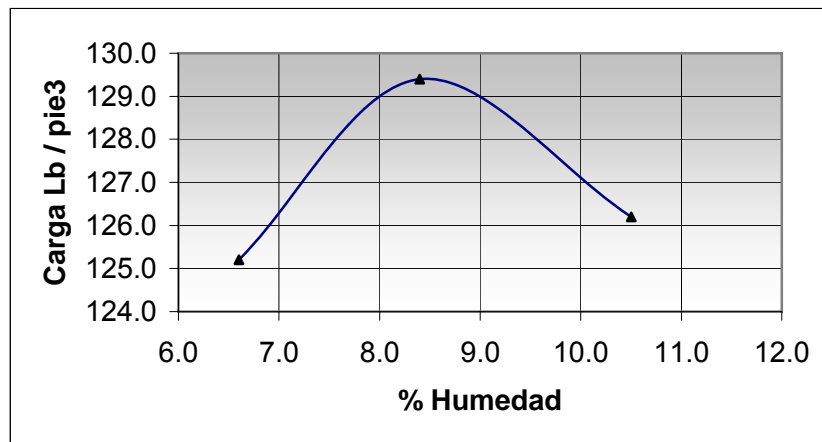
PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		12			5			7								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	58	140.3		70	169.3		60	145.2							
1 minuto	0,050 "	115	278.2		165	399.2		155	375.0							
1 1/2 min.	0,075 "	180	435.5		270	653.2		245	592.7							
2 min.	0,100 "	255	616.9	61.69	360	870.9	87.09	330	798.4	79.84						
3 min.	0,150 "	415	1004.0		550	1330.6		485	1173.4							
4 min.	0,200 "	580	1403.2	93.55	730	1766.1	117.70	625	1512.0	100.8						
6 min.	0,300 "	865	2092.7		1090	2637.0		900	2177.4							
8 min.	0,400 "	###	2470.2		1328	3212.9		1198	2898.4							
10 min.	0,500 "	###	2900.8		1640	3967.7		1361	3292.7							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 7 % Cal. A los 4 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

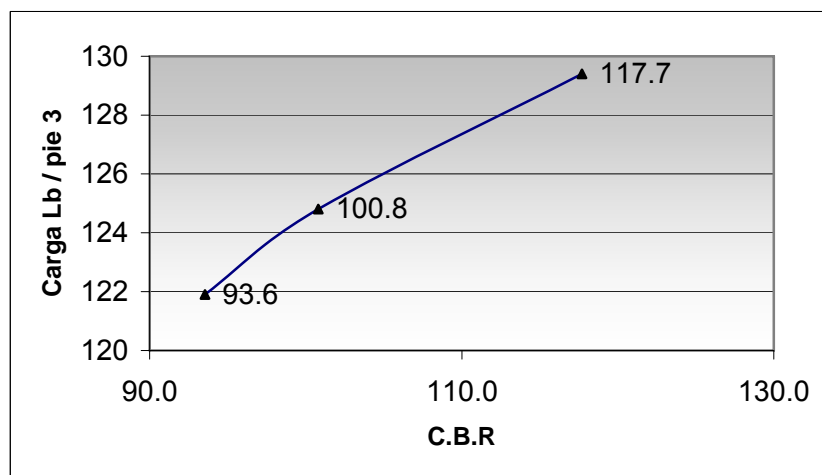


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 7 % A los 4 Días  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>7%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 4 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		12	5	7		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9375.0	9176.4	9064.8		
Peso del molde	Grs.	4166.7	4150.3	4156.4		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5208.3	5026.1	4908.4		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4804.7	4636.6	4528.0		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2613.7	2613.7	2613.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.073	2.001	1.956		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	129.4	124.8	121.9		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

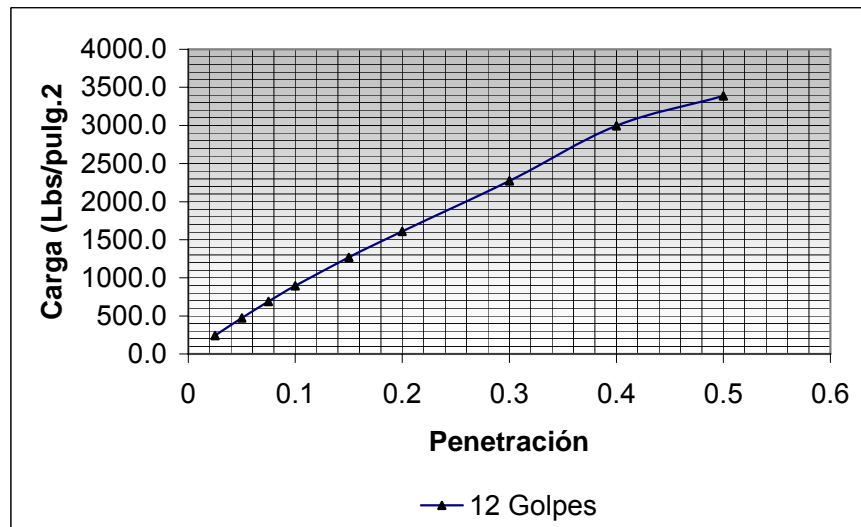
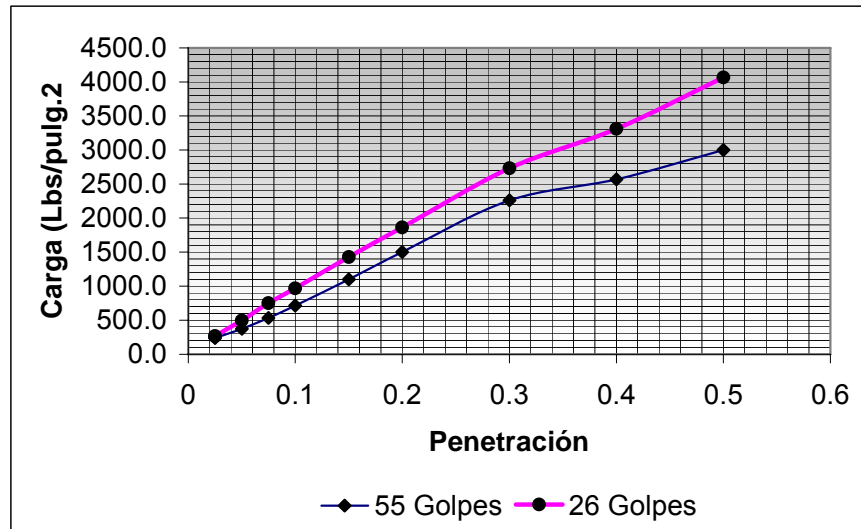
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

ENSAYO DE C. B. R.  
Cimaco 7 % de Cal - A los 14 días

Sondeo N°  Muestra N°  N° de golpes por capa  Fecha 28/04/2006

PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	98	237.1		110	266.1		100	241.9							
1 minuto	0,050 "	155	375.0		205	496.0		195	471.8							
1 1/2 min.	0,075 "	220	532.3		310	750.0		285	689.5							
2 min.	0,100 "	295	713.7	71.4	400	967.7	96.8	370	895.2	89.5						
3 min.	0,150 "	455	1100.8		590	1427.4		525	1270.2							
4 min.	0,200 "	620	1500.0	100.0	770	1862.9	124.2	665	1608.9	107.3						
6 min.	0,300 "	935	2262.1		1130	2733.9		940	2274.2							
8 min.	0,400 "	1061	2566.9		1368	3309.7		1238	2995.2							
10 min.	0,500 "	1239	2997.6		1680	4064.5		1401	3389.5							

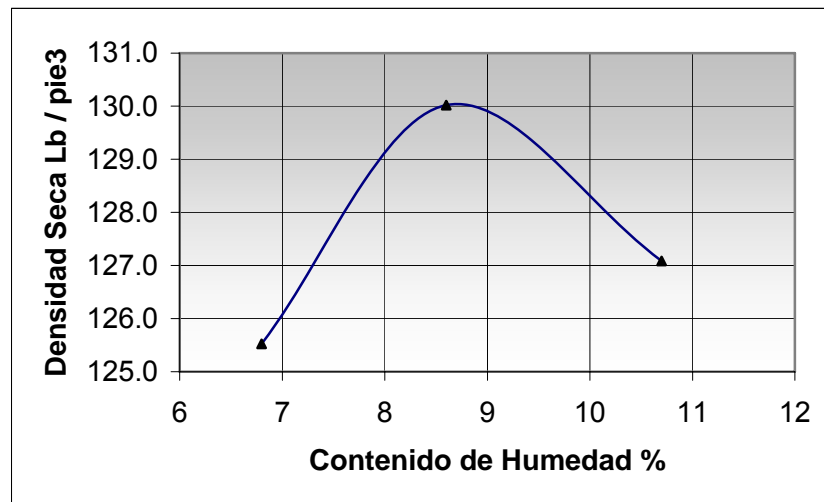
GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 7% Cal. A los 14 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28



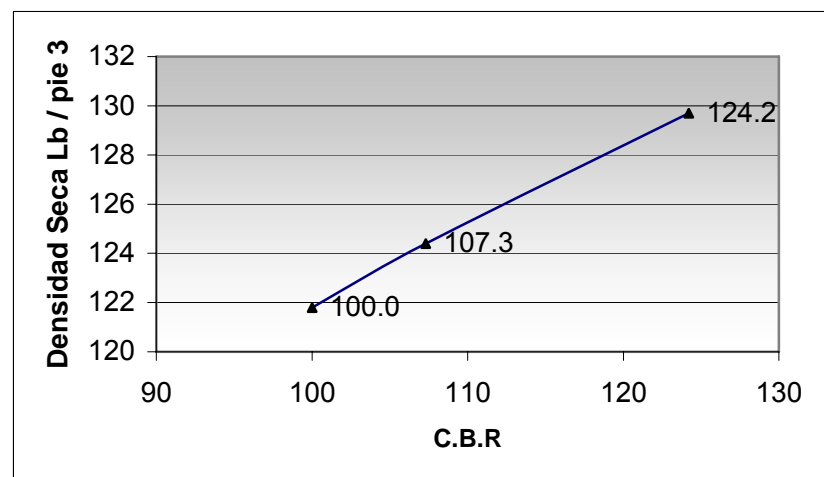


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 7 % A LOS 14 DÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>7%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 14 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		7	12	5		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9388.2	9178.5	9071.2		
Peso del molde	Grs.	4159.5	4163.2	4157.9		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5228.7	5015.3	4913.3		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4814.6	4618.1	4524.2		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2613.7	2613.7	2613.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.078	1.993	1.952		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	129.7	124.4	121.8		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

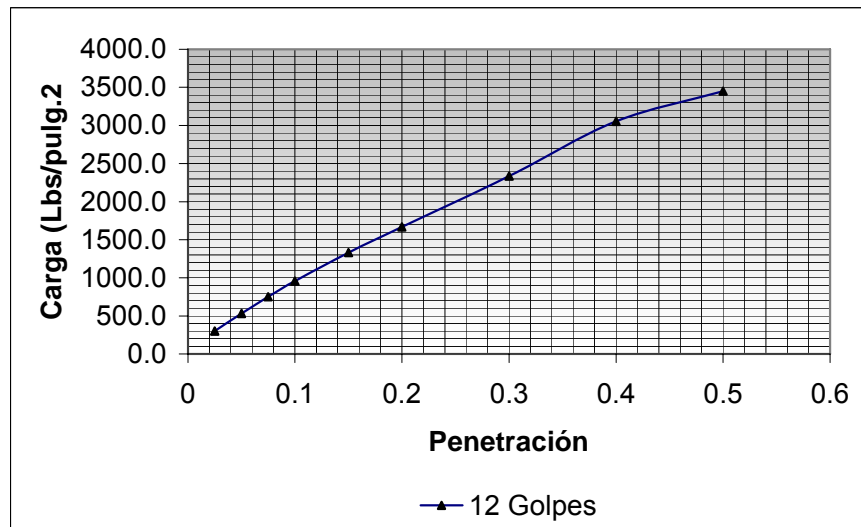
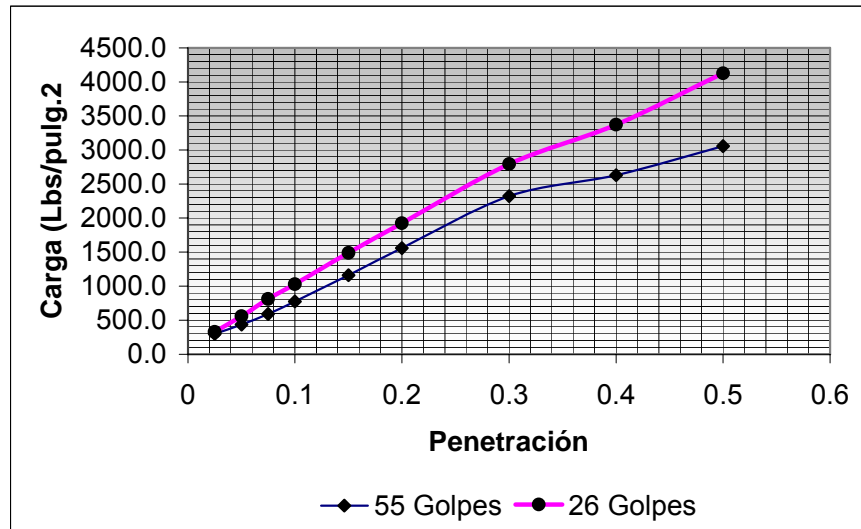
ENSAYO DE C. B. R.

Cimaco 7 % de Cal - A los 28 días

Sondeo N°		Muestra N°		N° de golpes por capa		Fecha	28/04/2006
-----------	--	------------	--	-----------------------	--	-------	------------

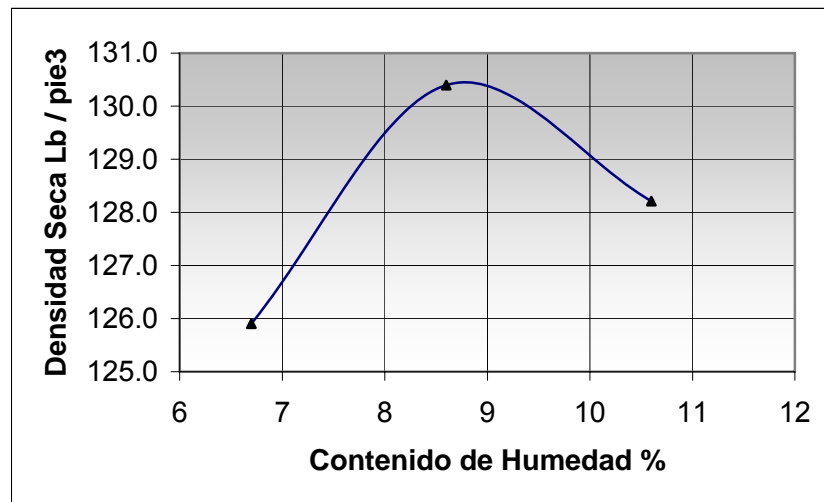
PENETRACION		55			26			12								
Molde N°		8			4			6								
Tiempo	P/tracción	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR	Lect.	Carga	CBR
30 seg.	0,025 "	123	297.6		135	326.6		125	302.4							
1 minuto	0,050 "	180	435.5		230	556.5		220	532.3							
1 1/2 min.	0,075 "	245	592.7		335	810.5		310	750.0							
2 min.	0,100 "	320	774.2	77.4	425	1028.2	102.8	395	955.6	95.6						
3 min.	0,150 "	480	1161.3		615	1487.9		550	1330.6							
4 min.	0,200 "	645	1560.5	104.0	795	1923.4	128.2	690	1669.4	111.3						
6 min.	0,300 "	960	2322.6		1155	2794.4		965	2334.7							
8 min.	0,400 "	1086	2627.4		1393	3370.2		1263	3055.6							
10 min.	0,500 "	1264	3058.1		1705	4125.0		1426	3450.0							

GRAFICAS DE PENETRACION PARA C.B.R  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
Cantera: Cimaco 7 % Cal. A los 28 Días  
Proyecto: Tesis de Grado  
Fecha: Abril 28

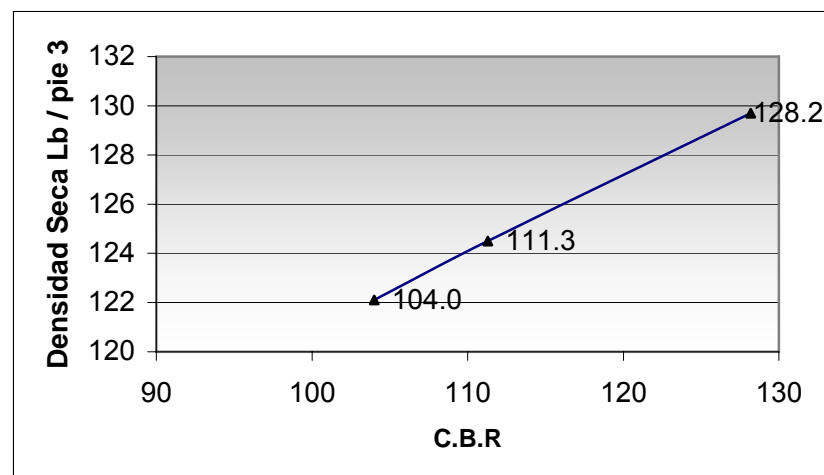


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
ENSAYO DE C.B.R. CIMACO 7 % A LOS 28 DÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

GRAFICA DENSIDAD SECA vs CONTENIDO DE HUMEDAD %



GRAFICA DENSIDAD SECA vs C.B.R



## COMPACTACION PARA CBR

Para	<b>UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR</b>								
Proyecto:	<b>TESIS DE GRADO</b>						Porcentaje Cal:	<b>7%</b>	
Localización:	<b>CARTAGENA</b>						Muestra N°:	<b>CIMACO</b>	
Descripción:	<b>ESTABILIZACION SUELO – CAL 28 Días</b>						Profundidad:		
Peso martillo		Lbs	Altura caída.		Pulg.	Diámetro molde		Pulg.	Fecha
Observación:									

### DENSIDAD

Numero de Golpes		55	26	12		
Molde N°		5	7	12		
Peso molde + suelo compactado	Grs.	9390.1	9180.3	9082.1		
Peso del molde	Grs.	4160.3	4160.4	4160.2		
Peso suelo compactado húmedo	Grs.	5230.1	5019.9	4921.9		
Peso suelo compactado seco	Grs.	4815.9	4622.3	4532.1		
Volumen de la muestra	Cm <sup>3</sup> .	2613.7	2613.7	2613.7		
Densidad del suelo seco	Gr./Cm <sup>3</sup> .	2.078	1.995	1.956		
Densidad del suelo seco	Lbs/Pie <sup>3</sup> .	129.7	124.5	122.1		
Peso del molde + suelo saturado	Grs.					
Peso del suelo saturado	Grs.					
Humedad promedio de saturación	%.					