



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS  
DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL**

**Marta Liliana Jiménez González**

Asesorado por: Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Ing. William Olivero León

Guatemala, abril de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS  
DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**MARTA LILIANA JIMÉNEZ GONZÁLEZ**

ASESORADO POR: ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ  
ING. WILLIAM OLIVERO LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Henricx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Edgar Fernando Valenzuela Villanueva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
el 9 de febrero de 2009.



---

Marta Liliana Jiménez González



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 12601

Guatemala, febrero de 2010.

Ingeniero

José Gabriel Ordoñez Morales

Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Ingeniero Ordoñez:

De la manera más atenta me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL”** realizado por la estudiante universitaria Marta Liliana Jiménez González. Considero que dicho trabajo de graduación ha sido finalizado de forma satisfactoria.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

Ingeniero Civil Omar Enrique Medrano Méndez

Colegiado 6842

Jefe de la Sección de Mecánica de Suelos

Guatemala, febrero de 2010.

Ingeniero

José Gabriel Ordoñez Morales

Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Ingeniero Ordoñez:

Me es grato dirigirme a usted para considerarle mi aprobación al trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL”** elaborado por la estudiante universitaria Marta Liliana Jiménez González y asesorado por mi persona.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,



---

Ingeniero Civil William Olivero León

Colegiado 5462

Centro Tecnológico, Cementos Progreso



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,  
4 de marzo de 2010

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

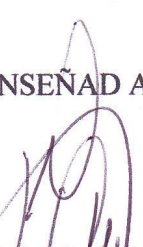
Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Marta Liliana Jiménez González, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. William Olivero León.

Considero que el trabajo realizado por la estudiante Jiménez González, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

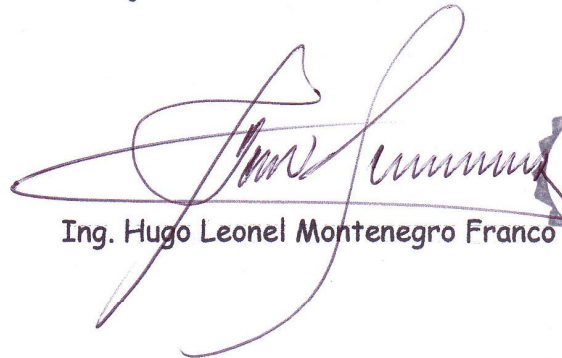
/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de los Asesores Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. William Olivero León y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Marta Liliana Jiménez González, titulado **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril de 2010

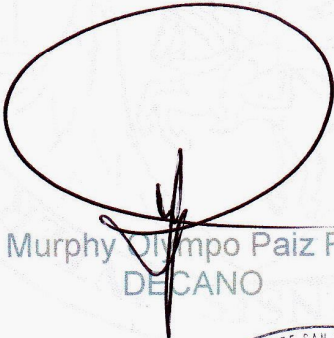
/bbdeb.





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS DE GRANO FINO ESTABILIZADOS CON CAL**, presentado por la estudiante universitaria **Marta Liliana Jiménez González**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, abril de 2010



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- DIOS** Por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles.
- LA VIRGEN MARÍA** Por ser luz en mi camino y acompañarme a lo largo de mi vida.
- MI PADRE** Alfredo Jiménez Nájera (+). Quien ha sido mi mayor inspiración y mejor ejemplo de honradez y perseverancia. Que desde el cielo puedas compartir este triunfo conmigo.
- MI MADRE** Elodia González vda. de Jiménez, por su gran amor, apoyo incondicional y compañía cada día de mi vida.
- MIS HERMANOS** María Elizabeth y Erick Alfredo. Por apoyarme y darme ánimos en todo momento.
- MIS SOBRINOS** María Fernanda, María Alejandra, Iván Alfredo y Fátima Sofía. Quienes son una bendición en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>MIS ASESORES</b>	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. William Olivero León, por su paciencia, experiencia compartida y apoyo brindado para la realización del presente trabajo de graduación
<b>ING. CIVIL SERGIO SALAZAR</b>	Por compartir su amplio conocimiento en la materia para enriquecer el presente trabajo.
<b>CII, FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	En especial a la sección de Mecánica de Suelos y su personal, por la colaboración brindada durante la realización de los ensayos de laboratorio.
<b>CETEC, CEMENTOS PROGRESO</b>	Especialmente al laboratorio de suelos, por su disposición para realizar los ensayos de laboratorio.
<b>HORCALSA</b>	Por facilitar el producto de calidad para la estabilización de las muestras de suelo.
<b>MI CASA DE ESTUDIOS</b>	Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por permitir mi formación académica en el campo de la ingeniería.
<b>MIS AMIGOS</b>	Por los inolvidables momentos compartidos en las aulas y fuera de ellas.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>III</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Conceptos básicos sobre la cal .....	1
1.1.1. Definición de cal .....	1
1.1.2. Historia de la cal .....	1
1.1.3. Usos de la cal .....	2
1.1.4. La cal como agente estabilizador .....	3
1.1.5. Características de la cal hidratada .....	4
1.2. Tipos de suelos.....	5
1.2.1. Definición de suelo .....	5
1.2.2. Principales tipos de suelos .....	8
1.2.3. Clasificación de suelos .....	10
1.2.4. Características de los suelos.....	12
1.3. Localización de bancos de material.....	14
<b>2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE GRANO FINO CON CAL .....</b>	<b>17</b>
2.1. Suelos de grano fino.....	17
2.1.1. Tipos de suelos de grano fino.....	17
2.1.2. Características de los suelos de grano fino .....	18

2.2.	Estabilización de suelos .....	19
2.2.1.	Definición de estabilización .....	19
2.2.2.	Estabilización de suelos con cal.....	20
2.2.3.	Ventajas y desventajas del uso de la cal en estabilizaciones .....	21
2.2.4.	Factores a considerar para su utilización .....	23
<b>3.</b>	<b>ENSAYOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>25</b>
3.1.	Preparación de las muestras de suelo .....	25
3.2.	Análisis granulométrico .....	26
3.3.	Límites de Atterberg .....	27
3.4.	Determinación de pH (Ensayo de Eades & Grim) .....	28
3.5.	Ensayo de compactación (Próctor modificado) .....	30
3.6.	Determinación del valor soporte (CBR).....	31
3.7.	Compresión no confinada .....	32
3.8.	Resistencia a tracción indirecta.....	33
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS .....</b>	<b>35</b>
4.1.	Evaluación de las propiedades de los suelos naturales .....	35
4.2.	Evaluación de las propiedades de los suelos tratados con cal.....	41
4.3.	Análisis y comparación de resultados .....	51
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Diagrama triangular de clasificación de suelos	11
2	Tipos de suelos	13
3	Mapa de localización M1	15
4	Mapa de localización M2	15
5	Mapa de localización M3	16
6	Curva granulométrica	26
7	Carta de plasticidad	28
8	Configuración de carga (a) y rotura del ensayo de compresión no confinada (b).	32
9	Configuración de carga (a) y rotura del ensayo de tracción indirecta (b).	33
10	Límites de consistencia M1	51
11	Límites de consistencia M2	52
12	Límites de consistencia M3	52
13	Nivel de pH M1	53
14	Nivel de pH M2	53
15	Nivel de pH M3	54
16	Ensayo de compactación M1	54

17	Ensayo de compactación M2	55
18	Ensayo de compactación M3	55
19	Valor soporte California M1	56
20	Valor soporte California M2	56
21	Valor soporte California M3	57
22	Resistencia a compresión no confinada M1	57
23	Resistencia a compresión no confinada M2	58
24	Resistencia a compresión no confinada M3	58
25	Resistencia a tracción indirecta M1	59
26	Resistencia a tracción indirecta M2	59
27	Resistencia a tracción indirecta M3	60
28	Cuadro de clasificación de suelos AASHTO	75
29	Cuadro de clasificación de suelos S.U.C.S.	76

## TABLAS

I	Muestras de suelo	16
II	Límites de consistencia	27
III	Clasificación de los suelos según su pH	29
IV	Relaciones suelo-agua más utilizadas	29
V	Resultados de ensayos M1	36
VI	Resultados de ensayos M2	38
VII	Resultados de ensayos M3	40
VIII	Límites de consistencia M1 con cal	42
IX	Nivel de pH M1 con cal	42
X	Ensayo de compactación M1 con cal	43
XI	Valor soporte California M1 con cal	43
XII	Compresión simple M1 con cal	44
XIII	Tracción indirecta M1 con cal	44
XIV	Límites de consistencia M2 con cal	45
XV	Nivel de pH M2 con cal	45
XVI	Ensayo de compactación M2 con cal	46
XVII	Valor soporte California M2 con cal	46
XVIII	Compresión simple M2 con cal	47
XIX	Tracción indirecta M2 con cal	47
XX	Límites de consistencia M3 con cal	48



XXI	Nivel de pH M3 con cal	48
XXII	Ensayo de compactación M3 con cal	49
XXIII	Valor soporte California M3 con cal	49
XXIV	Compresión simple M3 con cal	50
XXV	Tracción indirecta M3 con cal	50
XXVI	Resumen resultados obtenidos para M1	60
XXVII	Resumen resultados obtenidos para M2	61
XXVIII	Resumen resultados obtenidos para M3	62

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	(American Association of State High-way and Transportation Officials) Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes.
<b>ASTM</b>	(American Standard for Testing Materials) Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales.
<b>Banco de material</b>	Área donde se encuentra determinado tipo de suelo en gran cantidad que puede ser utilizado para construcción.
<b>CBR</b>	Valor soporte California. Porcentaje de resistencia de un suelo con relación a un patrón dado.
<b>Compresión no confinada</b>	Ensayo en el que se determina la resistencia a la compresión, donde el testigo es sometido únicamente a cargas axiales.
<b>Consistencia</b>	Grado de cohesión que poseen las partículas de los suelos arcillosos.
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

<b>Estabilizar</b>	Someter un suelo natural a determinado procedimiento para poder mejorar sus características y propiedades.
<b>Grano fino</b>	Partículas de suelo que poseen diámetros menores a 2 mm.
<b>Grumos</b>	Partículas de suelo unidas debido a la humedad y que al secarse se consolidan formando porciones más grandes.
<b>IP</b>	Índice de plasticidad. Valor que representa la variación de humedad que puede tener un suelo arcilloso que se conserva en estado plástico.
<b>Lechada de cal</b>	Suspensión de cal hidratada en agua para ser agregada al suelo como medio estabilizante.
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno. Valor que determina la acidez, alcalinidad o neutralidad de un suelo.
<b>Plasticidad</b>	Propiedad que poseen algunos suelos de deformarse sin agrietarse ni producir rebote elástico.
<b>Suelo natural</b>	Suelo que no ha recibido ningún tipo de tratamiento para modificar sus propiedades.

## RESUMEN

En los proyectos constructivos, generalmente cuando se trata de carreteras es usual encontrar inconvenientes relacionados con la poca capacidad de los suelos, por lo que se requiere encontrar soluciones eficientes. El acarreo de material de distintos bancos para su utilización en el proyecto es uno de los más utilizados, pero cuando los costos resultan demasiado elevados se necesita otro tipo de métodos.

La estabilización de suelos con cal, además de ser un método ampliamente utilizado en muchos países, es uno de los más económicos y proporciona resultados satisfactorios a largo plazo. La cal hidratada o hidróxido de calcio es beneficiosa cuando se requiere estabilizar suelos arcillosos, siempre que estos cumplan con determinados requerimientos. En general se dice que un suelo arcilloso es apto para su estabilización con cal si tiene un pasante del 25% del tamiz 200 y un I.P. (índice de plasticidad) de 10 como mínimo.

En el presente trabajo se analizan tres tipos diferentes de suelos arcillosos, extraídos de tres ubicaciones distintas. El primero procedente de Villa Nueva, denominado M1; es un suelo arcilloso con presencia de pómez, posee un I.P. de 19, es muy alcalino con un bajo porcentaje de CBR (valor soporte California). El segundo, procedente de Coatepeque, Quetzaltenango, denominado M2; es un suelo arcilloso color café claro, con un I.P. de 17 y un nivel de pH de 7.45 por lo que se considera un suelo neutro. El tercer suelo proviene del sector sur de la ciudad capital, denominado M3. Es un tipo de suelo limo arcilloso color café, con un I.P. de 12 y un nivel de pH igual a 8.86, considerándose como un suelo muy alcalino.

Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo evalúan los cambios positivos que la cal ejerce sobre los suelos arcillosos y determinan, de acuerdo con las características propias de cada uno de ellos, el mejoramiento alcanzado. Se realizaron análisis granulométricos, nivel de pH, límites de consistencia, ensayo de compactación, CBR (valor soporte California), resistencia a compresión no confinada y resistencia a tracción indirecta. En todos los casos, salvo el análisis granulométrico, se hicieron pruebas en el suelo natural y en mezclas con 2%, 4% y 6% de cal en relación a su peso seco.

Las muestras analizadas observaron resultados positivos en su mejoramiento, disminuyendo su plasticidad y aumentando su resistencia. Para el caso de la muestra uno, su nivel de pH alcanzó el valor requerido según la norma experimental ASTM D6276 con 4% de cal y su plasticidad continuó disminuyendo con 6% de cal agregada, el porcentaje de CBR aumentó de 2.5 a 64 con 6% de cal. Los resultados obtenidos de la muestra dos presentan un suelo mejorado notablemente, el nivel de pH aumentó de 7 a 12.45 con 4% de cal, mientras que su plasticidad disminuyó a 3, el porcentaje de CBR aumentó de 27 a 100 con 6%. En la tercera muestra, aunque no se obtuvo el nivel de pH requerido en la norma experimental, sí se redujo su plasticidad a tal grado que con 6% de cal ya no presentaba características arcillosas sino su textura era más de un suelo arenoso. El porcentaje de compactación aumentó de 6 a 100, un excelente resultado; mientras que sus resistencias a compresión no confinada y a tracción indirecta aumentaron considerablemente. Las resistencias a compresión y a tracción indirecta tuvieron un aumento de más de 200% en las tres muestras de suelo con respecto a sus valores originales.

Finalmente se desarrolla el análisis para la determinación de la utilización de los suelos estabilizados, como sub-base o base en carreteras, con sus respectivas consideraciones y recomendaciones.

# OBJETIVOS

## GENERAL:

- Determinar en forma objetiva y en base a resultados concretos, el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos de grano fino al ser estabilizados con cal, para su utilización como sub-rasantes, sub-bases y bases en carreteras.

## ESPECÍFICOS:

1. Realizar los ensayos de laboratorio necesarios para la determinación de las propiedades mecánicas de los suelos.
2. Evaluar las propiedades mecánicas de los suelos de grano fino, antes y después de ser tratados con cal.
3. Comparar los resultados obtenidos para determinar el mejoramiento en la calidad de los suelos estabilizados en relación al suelo natural.



## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de suelos es una alternativa que se ha vuelto cada día más rentable en la construcción de terraplenes para carreteras o edificaciones, debido a que en muchas ocasiones resulta más factible realizar procesos de estabilización en los suelos existentes, en lugar de transportar material adecuado que cumpla con las características necesarias para el proyecto en particular. Dentro de la variedad de tratamientos que se pueden utilizar para estabilizar un suelo se encuentra el uso de cal hidratada o hidróxido de calcio, un conglomerante que a través de una reacción química mejora las propiedades mecánicas de los suelos de grano fino, específicamente de los suelos arcillosos utilizados en carreteras como sub-rasantes, sub-bases o bases.

Aunque la utilización de cal en la construcción data de tiempos muy antiguos, generalmente su uso ha sido de forma empírica y con muy poca investigación sobre las propiedades que se ven afectadas de manera positiva mediante este procedimiento. En países como Argentina y Estados Unidos ya se vienen realizando estudios sobre las propiedades de los suelos arcillosos y su relación con la estabilización con cal, desde aproximadamente los años cuarenta.



Sin embargo, en nuestro país estos procedimientos se han venido realizando con poca investigación científica, hasta hace poco tiempo, lo que genera que no se cuente con datos basados en estudios que puedan dar nociones claras y realistas sobre el grado de mejoramiento de los suelos y de este modo utilizar las proporciones más adecuadas para las diferentes necesidades y suelos.

Para determinar los cambios en las propiedades de los suelos es necesario realizar diferentes tipos de ensayos de laboratorio; entre los más comunes está el análisis granulométrico, la determinación de límites de consistencia, ensayos de compactación, etc. Además el ensayo de pH que determina la aptitud de un suelo para ser estabilizado con cal, la resistencia a corte directo, la resistencia a compresión, entre otros. Todos estos ensayos proporcionan datos específicos con respecto al estado natural de los suelos a tratar y los cambios observados al agregar cal, para poder determinar en forma cuantitativa los beneficios obtenidos.

# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Conceptos básicos sobre la cal**

### **1.1.1. Definición de cal**

El término cal es usado generalmente para referirse a las formas manufacturadas del carbonato de calcio o piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ), materia base para la fabricación de la misma. Estas formas manufacturadas son conocidas como el óxido de calcio o cal viva ( $\text{CaO}$ ), producida de la calcinación de la piedra caliza; y el hidróxido de calcio o cal hidratada ( $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ) que es un polvo seco fabricado tratando la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química, convirtiendo los óxidos a hidróxidos.

### **1.1.2. Historia de la cal**

Desde la antigüedad, el hombre con su ingenio ha logrado obtener beneficios de la naturaleza, transformando los elementos que ésta le presenta en herramientas que le permitan mejorar su calidad de vida; tal es el caso de la utilización de la cal en diferentes aspectos de la evolución humana.

En el campo artístico ha sido utilizada bajo la forma de frescos antiguos como por ejemplo los frescos de la gran bóveda de la Capilla Sixtina, creados por Miguel Ángel.

Otra prueba de su utilización es que aún existen monumentos históricos que han desafiado el tiempo como la Gran Muralla China, el Coliseo y el Panteón de Adriano en Roma, testigos de la durabilidad de la cal como material de construcción. También se ha utilizado como correctivo en el campo agrícola y en la preparación de alimentos, por lo que es importante considerarla como un elemento de gran utilidad para el desarrollo de la humanidad a lo largo de la historia.

### **1.1.3. Usos de la cal**

Actualmente existen muchas y variadas aplicaciones que se le dan a la cal. Es útil en la agricultura como agente para el tratamiento de abonos, en el tratamiento de agua potable y de aguas residuales, en la producción de acero, vidrio, papel, productos químicos, petróleo y gas. También puede utilizarse en mezclas para acabados, para recubrir o pintar muros de una forma económica, para levantado de muros, en algunos casos para cimentaciones y es muy utilizada en estabilizaciones.

#### **1.1.4. La cal como agente estabilizador**

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos con el fin de mejorar sus características. Para ello se puede utilizar cal viva, cal hidratada o lechada de cal, dependiendo de las necesidades particulares de cada proyecto.

“Los antecedentes más conocidos sobre la utilización de suelos estabilizados con cal en obras de ingeniería de gran magnitud se remontan a la época de construcción de la Gran Muralla China, así como también a la construcción de caminos y acueductos del Imperio Romano.” (Fernández Loaiza, 1982).

Desde entonces se han ido desarrollando diversas etapas evolutivas acerca del conocimiento sobre la utilización de este método de estabilización. Inicialmente los proyectos de estabilización con el método suelo-cal fueron desarrollados mediante la observación del comportamiento de las obras construidas.

En ciertos países de América Latina, como es el caso de Argentina, también empezaron a desarrollarse estudios sobre este método, observando la disminución de plasticidad y el aumento del valor soporte de suelos arcillosos durante la década de los años 30, recomendándose la adición de cal para sub-rasantes así como la realización de ensayos comparativos.

A finales de la década de los 40 en el Estado de Texas, Estados Unidos se habían construido más de 120 kilómetros de calzadas tratadas con cal. Durante los años siguientes se continuaron realizando pruebas en relación con las propiedades de la cal y la búsqueda de relaciones entre parámetros físicos y

mecánicos como el pasante tamiz 200 y el Índice de Plasticidad de los suelos con la presencia de minerales arcillosos para determinar la reactividad del suelo con la cal, concluyendo que los suelos con IP menor de 3 no son aptos para su estabilización con cal, concepto que hasta la fecha se ha mantenido vigente.<sup>1</sup>

Aunque en nuestro país la utilización de cal como tratamiento para suelos es relativamente nueva, ya se muestra interés sobre su aporte en el mejoramiento de suelos, con base en las referencias que se tienen de otros países que la utilizan ampliamente y adecuándose a las necesidades y características propias.

#### **1.1.5. Características de la cal hidratada**

La cal hidratada ha sido ampliamente utilizada en la construcción a lo largo de la historia de la humanidad y en la actualidad tiene muchas aplicaciones, en este campo ya que puede utilizarse desde material para recubrimiento, hasta para crear morteros.

---

<sup>1</sup> Quintana Crespo, Enrique. Ingeniero Geólogo. **Relación entre las Propiedades Geotécnicas y los Componentes Puzolánicos de los Sedimentos Pampeanos**. Tesis Doctoral 2005. pp. 104-109

La cal hidratada posee características que la hacen un material de amplios usos. Entre las principales se encuentran:

- Al fabricarse con piedra caliza alta en carbonato de calcio, puede obtenerse una cal de alta pureza en calcio.
- El calcio, al reaccionar con el aluminio y sílice de las arcillas, forma materiales cementantes que contribuyen a ganar resistencia en las capas estabilizadas con cal hidratada.
- Una cal hidratada cuando está bien producida cumple con las normas nacionales e internacionales de fineza (arriba de 99% en tamiz 30 y de 85% en tamiz 200).

## **1.2. Tipos de suelos**

### **1.2.1. Definición de suelo**

En el campo de la ingeniería, el término suelo puede definirse como cualquier material compuesto de distintas partículas sólidas, con gases o líquidos incluidos. En una forma más amplia puede concluirse que: "Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que es proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos

provenientes de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan” (Crespo Villalaz, 1995).

De la definición anterior se desprenden varios conceptos que son de importancia para determinar el origen de un suelo. Cuando las rocas son alteradas por medios físicos, los suelos producidos poseen las mismas características que la roca madre. Entre los agentes físicos que producen cambios en las rocas se pueden mencionar los siguientes:

- **El sol:** al calentar más el exterior que el interior de las rocas provoca diferencias de expansión que generan fuertes esfuerzos, dando como resultado un rompimiento en la capa superficial y el desprendimiento de ésta. A este proceso se le conoce como exfoliación.
- **El agua:** en movimiento es un elemento de erosión, al arrastrar fragmentos angulosos de rocas, provocando fricción entre ellos. El agua en forma de lluvia, cae en las superficies pétreas llenando sus cavidades y abriendo grietas, llenando los espacios vacíos de las rocas; al congelarse ejerce fracturación en la roca y produce la desintegración en relativo corto tiempo.
- **El viento:** también contribuye a la erosión del suelo, al arrastrar arenas como el caso de los médanos y los loess.
- **Los glaciares:** son depósitos de hielos en las altas montañas que ejercen una gran acción abrasiva y de transporte de los materiales de la superficie de la tierra.

Cuando el proceso de producción de un suelo se lleva a cabo a través de medios químicos, su constitución mineralógica es diferente a la que poseía la roca madre. Los principales agentes químicos son:

- **La oxidación:** es la reacción química que ocurre en las rocas al recibir el agua de lluvia, cuando el oxígeno del aire en presencia de humedad reacciona químicamente, principalmente si las rocas contienen hierro.
- **La carbonatación:** es el ataque que el ácido carbónico efectúa sobre las rocas que contienen hierro, calcio, magnesio, sodio o potasio. Las rocas ígneas pueden ser descompuestas de esta manera.
- **La hidratación:** es la acción y efecto de combinar un cuerpo con agua para formar hidratos o sea compuestos químicos que contienen agua en combinación, para formar nuevos minerales.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito es evidente que los suelos pueden contener una gran variedad de materiales, entre los cuales se puede mencionar la grava, arenas y mezclas arcillosas depositadas por glaciares, arenas aluviales, limos y arcillas de depósitos aluviales de los ríos, arcillas marinas blandas y arenas de playas costeras, rocas meteorizadas de los trópicos, e incluso escorias volcánicas.

En conclusión puede decirse que los suelos pueden ser mezclas bien definidas de materiales específicos, o bien mezclas heterogéneas de materiales no definidos.



### 1.2.2. Principales tipos de suelos

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, es decir los suelos inorgánicos y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Los suelos inorgánicos pueden ser residuales cuando el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, o transportados en caso contrario sin importar el agente transportador. Los suelos orgánicos generalmente se forman in situ, cuando la cantidad de materia inorgánica en forma de humus o materia no descompuesta es mucho más alta en relación a la cantidad de suelo inorgánico.

La siguiente es una descripción de los suelos más comunes, con los nombres utilizados generalmente dentro del campo de la ingeniería:

- **Gravas:** Son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro.
- **Arenas:** Son materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro. No se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que la arcilla y al aplicárseles carga en la superficie se comprimen casi instantáneamente.

- **Limos:** Son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, cuyas partículas están comprendidas entre 0.05 mm y 0.005 mm de diámetro. Pueden ser orgánicos, procedentes de los ríos o inorgánicos, producidos en canteras. Su permeabilidad suele ser baja y su compresibilidad muy alta; su color varía desde gris claro a muy oscuro.
- **Arcillas:** Son partículas sólidas cuyo diámetro es menor a 0.005 mm, con la propiedad de volverse plástica al mezclarse con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado aunque puede contener silicatos de hierro o de magnesio hidratados.
- **Caliche:** Son estratos de suelo cuyos granos están cementados por carbonatos calcáreos.
- **Loess:** Son sedimentos eólicos uniformes y cohesivos. Sus partículas están comprendidas entre 0.01 y 0.05 mm.
- **Diatomitas:** Son depósitos de polvo silícico, compuesto total o parcialmente por residuos de diatomeas.

### **1.2.3. Clasificación de suelos**

En general, los suelos se clasifican en gravas, arenas, limos y arcillas; dependiendo del tamaño de sus partículas.

Aunque existen varios métodos de clasificación de los suelos, el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) es el que mejor satisface los distintos campos de aplicación de la mecánica de suelos, por lo que es ampliamente aceptado.

Este sistema clasifica los suelos según el tamaño de sus partículas mediante la prueba de granulometría por sedimentación, obteniéndose así la siguiente clasificación:

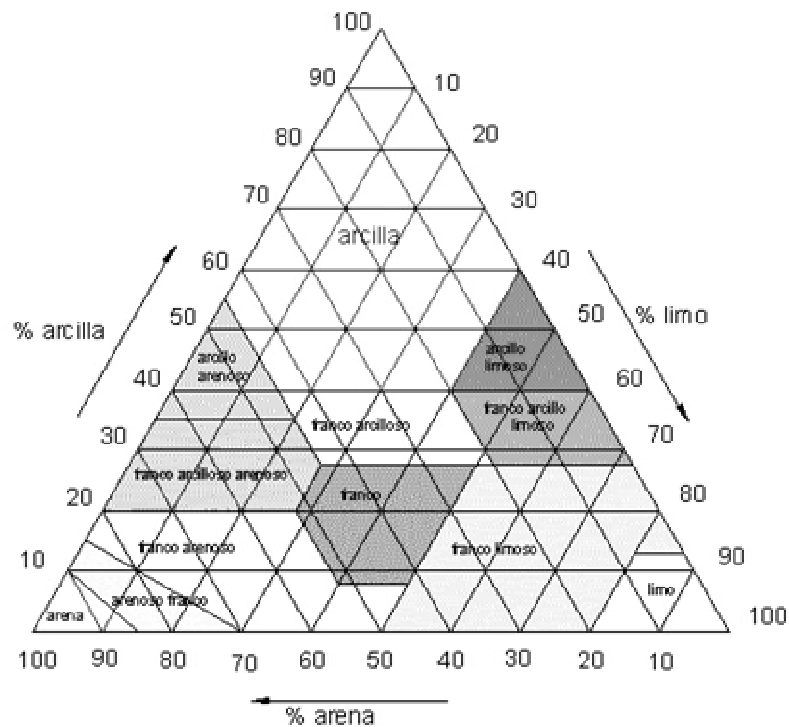
- Arena
- Arena limosa
- Limo arenoso
- Limo
- Arena arcillosa
- Limo arcilloso
- Arcilla arenosa
- Arcilla limosa
- Arcilla

De acuerdo con los porcentajes de arena, limo y arcilla que el suelo contenga, así será la clasificación que se le dé.

Este método de clasificación es uno de los más simples, aunque tiene el inconveniente de que su relación con las principales características físicas del suelo es indirecta, debido a que el tamaño de los granos es solamente uno de los factores que determinan las propiedades de los suelos.

Esta clasificación se representa por medio de un diagrama triangular dividido y marcado por áreas en el que, dependiendo de la proporción de arenas, limos y arcillas presentes, puede determinarse la clasificación. Dicho diagrama se presenta a continuación:

**Figura 1. Diagrama triangular de clasificación de suelos.**



**Fuente.** Escuela de Ingeniería de Antioquia. Laboratorio de suelos. Sitio web: [www.suelos.eia.edu.co](http://www.suelos.eia.edu.co). Colombia 2009.

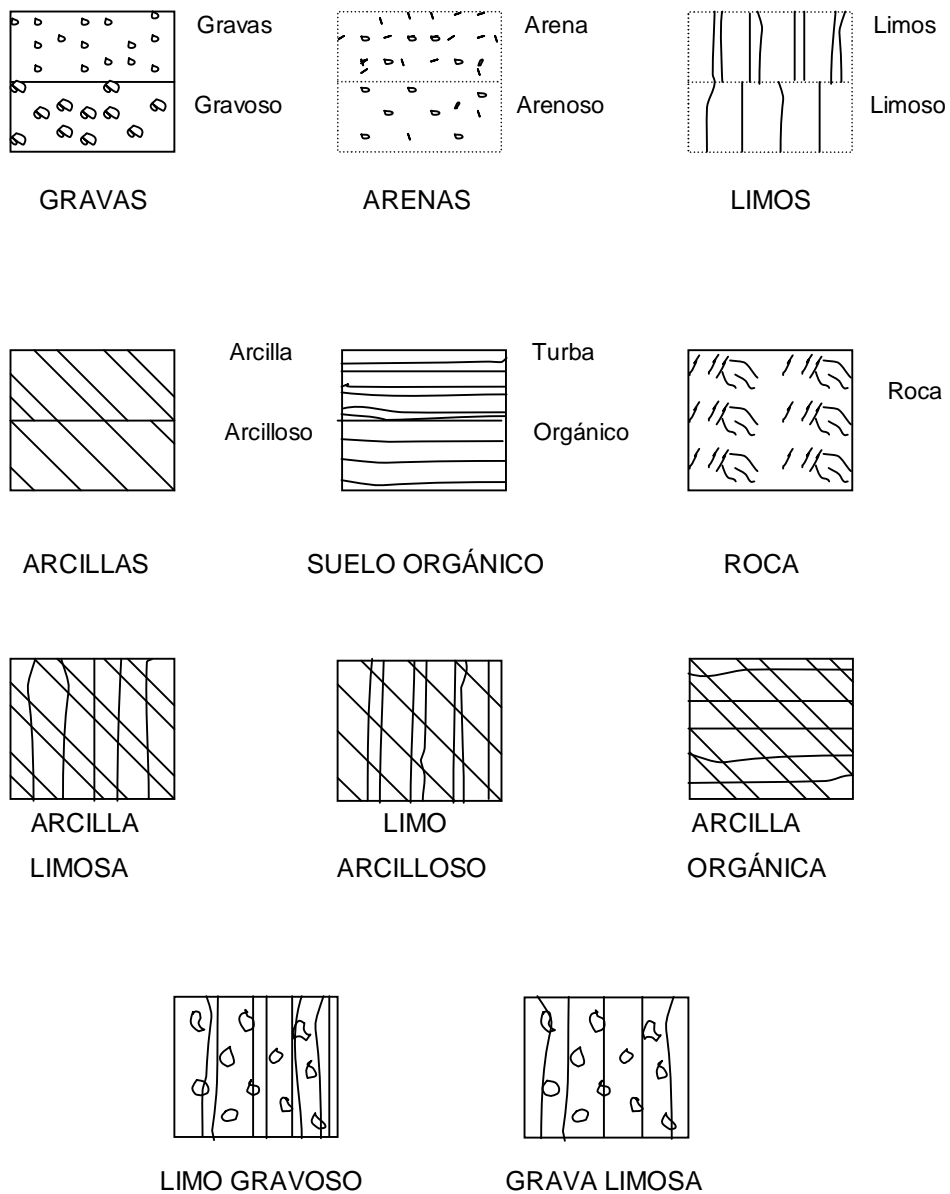
#### 1.2.4. Características de los suelos

De acuerdo con su origen, composición y forma de agruparse, los suelos presentan diversas características que los definen, a continuación se detallan las principales:

- **Textura:** Es el grueso o finura de los granos de un suelo.
- **Estructura:** Es el ordenamiento físico-natural de las partículas de un suelo en estado inalterado, que indicará la disposición, forma general y tamaño.
- **Consistencia:** Representa los cambios de volúmenes, movimiento de agua en el interior del suelo, elasticidad y capacidad de carga del suelo, variando todo lo anterior en función del contenido de humedad del suelo.
- **Cohesión:** Es la atracción intermolecular, es decir, la característica de algunas partículas del suelo de atraer y adherirse a partículas semejantes. Esta determina si los suelos pueden cementarse como en el caso de las arcillas, consideradas como suelos cohesivos.
- **Color:** Los suelos pueden presentar colores variados, dependiendo de los minerales que los componen.

Dichas características son parámetros relevantes para el análisis de los suelos, ya que con el conocimiento de ellas se puede determinar el uso óptimo de los mismos, así como también el mejor método de estabilización que se les puede aplicar.

**Figura 2. Tipos de suelos.**



**Fuente.** Basado en: Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa, México 1995. Pág 27.

### **1.3. Localización de bancos de material**

Hoy en día es cada vez más difícil encontrar bancos con materiales que posean las características requeridas para determinado proyecto. Esto puede obedecer a diferentes motivos, uno de ellos puede ser debido a la agresión que sufre el medio ambiente a causa de los constantes cambios en la naturaleza y otro podría deberse al agotamiento de los bancos de materiales adecuados por la acción del ser humano.

Tomando en cuenta estos aspectos, la determinación de los bancos de material utilizados para la realización del presente trabajo está basada en aspectos prácticos como su localización geográfica, la facilidad de extracción y transporte de las muestras, además de poseer las características de cohesión y ser materiales de grano fino, con variación en los contenidos de arcilla para cada uno de ellos.

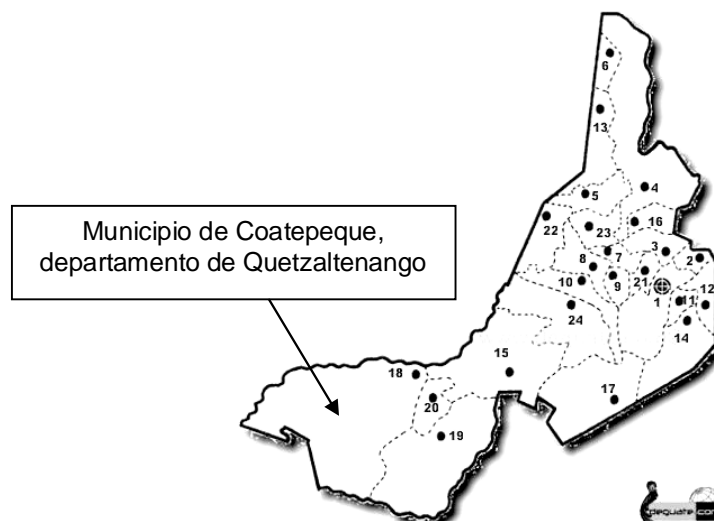
Las muestras de suelo utilizadas para la realización del presente estudio fueron extraídas de tres diferentes localidades del país. La denominada muestra uno (M1), se extrajo del municipio de Villa Nueva. La muestra dos (M2), proviene del departamento de Quetzaltenango y la muestra tres (M3), de la parte sur de la ciudad capital, en la zona 12.

**Figura 3. Mapa de localización M1.**



**Fuente.** Sitio web: [www.tucasaenguate.com](http://www.tucasaenguate.com). Bienes raíces. 2009.

**Figura 4. Mapa de localización M2.**



**Fuente.** Sitio web: [www.deguate.com](http://www.deguate.com). Mapas de Guatemala. 2009.



**Figura 5. Mapa de localización M3.**



**Fuente.** Sitio web: [www.tucasaenguate.com](http://www.tucasaenguate.com). Bienes raíces. 2009.

A continuación se describe cada una de las muestras de suelo, en la tabla resumen:

**Tabla I. Muestras de suelo.**

MUESTRA	PROCEDENCIA	DESCRIPCIÓN
1	Prados de Castilla, Municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala.	Arcilla con presencia de pómez, color café
2	Municipio de Coatepeque, departamento de Quetzaltenango.	Arcilla con presencia de pómez, color café claro
3	Ciudad Universitaria, zona 12, Ciudad de Guatemala.	Arcilla limosa con presencia de pómez, color café oscuro

**Fuente.** Elaboración propia.

## **2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE GRANO FINO CON CAL**

### **2.1. Suelos de grano fino**

#### **2.1.1. Tipos de suelos de grano fino**

Los suelos de grano fino, como se ha descrito anteriormente, son clasificados como los menores a 2 mm de diámetro, de modo que en esta descripción se incluyen las arcillas, limos y combinaciones de éstos.

Otro tipo de suelos de grano fino lo constituyen las arenas y combinaciones de ésta, aunque no son objeto de este estudio debido a que se clasifican entre los suelos no cohesivos, por lo que no se recomienda trabajar las estabilizaciones con cal con este tipo de suelos.

### 2.1.2. Características de los suelos de grano fino

A continuación se detallan algunas de las características que definen estos suelos, con énfasis en los limos, arcillas o combinaciones de éstos:

- **Textura:** La textura de este tipo de suelos es muy fina, como polvo de cal o cemento si se trata de arcillas puras y textura fina si se trata de limos o combinaciones con arcilla.
- **Estructura:** Generalmente su estructura es cristalina, en especial cuando se trata de suelos arcillosos.
- **Consistencia:** Tienen una consistencia plástica cuando son suelos arcillosos. Este tipo de suelos posee la característica de ser muy expansivo, absorbe bastante agua y por esta razón su capacidad de carga es relativamente baja. En el caso de limos y sus combinaciones, estos suelos tienden a ser poco o nada plásticos y no se consideran expansivos.
- **Cohesión:** Si se trata de un suelo arcilloso, este es altamente cohesivo. En un suelo limoso la cohesión es muy baja o puede ser inexistente.
- **Color:** Los suelos limosos varían de gris claro a muy oscuro, mientras que las arcillas varían de beige claro a café muy oscuro.

## **2.2. Estabilización de suelos**

### **2.2.1. Definición de estabilización**

La estabilización puede definirse como el proceso mediante el cual los suelos naturales son sometidos a determinados tratamientos de manera que sus características puedan modificarse para satisfacer de forma adecuada las necesidades del proyecto que se va a realizar.

Dentro de los tipos de estabilización existentes podemos mencionar desde los más simples hasta los métodos más sofisticados, por ejemplo:

- Estabilización Física, que puede realizarse mezclando distintos tipos de suelo para obtener mejoramiento de resistencia, sin embargo debe ir acompañada de una buena compactación para dar buenos resultados.
- Estabilización con agentes químicos: La utilización de sales es método moderno para estabilización de suelos, aunque representa un costo elevado en su aplicación. El cemento también brinda buenos resultados, especialmente para suelos no cohesivos. Otro elemento importante lo constituye la cal hidratada que además de proporcionar excelentes resultados en su aplicación a suelos cohesivos, es un método económico y de amplia utilización considerándose en muchas ocasiones más eficiente en costos que el convencional método de reposición de material de banco.

### **2.2.2. Estabilización de suelos con cal**

“La estabilización con cal es sólo efectiva en los suelos que contienen arcillas. Manuel Mateos y Donald T. Davison hicieron definitivas pruebas de laboratorio en las que comprobaron la imposibilidad de estabilizar con cal la arena.” (Moreau 1964).

Cuando se tienen suelos arcillosos o arcillas muy plásticas, se puede disminuir su plasticidad y en consecuencia los cambios volumétricos del suelo, asociados a la variación en los contenidos de humedad al agregarle determinada proporción de cal. Además, al tratar el suelo con cal pueden formarse silicatos de calcio y aluminio, los cuales tienen una gran capacidad cementante que implica un considerable aumento en la resistencia del suelo, que puede aumentar significativamente con el paso del tiempo si se ha utilizado la proporción óptima de cal requerida para cada suelo.

Es importante aclarar que cuando se trabaja con sub-bases y bases la cal utilizada para el proceso de estabilización debe cumplir con los requisitos establecidos por las normas AASHTO M-216, ASTM C-977, NGO 41018, ASTM C-206 y ASTM C-207; estas disposiciones se encuentran en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Libro Azul de Caminos, división 300, sección 307.

### **2.2.3. Ventajas y desventajas del uso de la cal en estabilizaciones**

Como se dijo anteriormente, la cal puede ser aplicada en varias formas. Cuando se utiliza específicamente cal hidratada, ésta puede ser aplicada en seco o como lechada de cal; ambos métodos poseen características que implican ventajas y desventajas, sin embargo éstas dependen de varios factores como tipo de proyecto, la época del año en que se lleve a cabo, el lugar en donde se realice el proyecto, los costos, el tipo de suelo, etc. Para el presente trabajo se utilizaron mezclas en seco por lo que sólo se enumeran las ventajas y desventajas de este tipo de aplicación.

Existen muchas ventajas para justificar la utilización de cal en estabilizaciones de suelos, entre ellas se puede mencionar:

- El costo de la cal con relación a otros agentes estabilizadores es muy bajo y es un producto que se encuentra con facilidad en el mercado.
- El tiempo de aplicación de la cal en el suelo es relativamente corto en comparación con otros métodos.
- Al ser utilizada en la estabilización de sub-rasantes, sub-bases y bases, la estructura consolidada mejora con el paso del tiempo.
- Se produce un suelo impermeable con resistencia y estabilidad a largo plazo y de forma permanente.

- El incremento en la resistencia del suelo afecta directamente y de manera positiva en la reducción del espesor de la carpeta de rodadura.
- Se reducen costos de movimientos de tierra al utilizarse el mismo suelo tratado con cal y se elimina la necesidad de transportar material de otros bancos lejanos.
- El proceso de estabilización de suelos puede llevarse a cabo en época lluviosa debido a que el mismo requiere suficiente humedad.

Como en todo proceso constructivo, la estabilización de suelos con cal hidratada, además de ventajas también puede presentar desventajas que pueden mermar o hacer incómoda su utilización. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- El uso de cal hidratada en polvo generalmente es inadecuado en áreas muy pobladas debido a las partículas que se suspenden en el aire durante su aplicación, lo que puede afectar la salud.
- Cuando la cal empieza a mostrarse grumosa sus propiedades podrían verse afectadas por lo que es necesario tener cuidado en la utilización de cal que no haya sido conservada adecuadamente.
- Se debe tener mucho cuidado al mezclar la cal con el suelo arcilloso porque pueden presentarse la formación de grumos los cuales, si el suelo está muy seco son duros y difíciles de romper provocando una variación en la humedad y por lo tanto restándole homogeneidad a la mezcla.

#### **2.2.4. Factores a considerar para su utilización**

Cuando se trabajan estabilizaciones deben considerarse ciertos factores que pueden ser indicadores de la factibilidad del método de estabilización, específicamente se debe determinar si es viable la utilización de cal en el proyecto que se vaya a realizar.

Estos factores pueden ser evaluados al tomar en cuenta principalmente el tipo de suelo del que se dispone, así como sus características propias. También es importante considerar la ubicación del proyecto, el tiempo previsto para su ejecución, los costos estimados para la realización del proyecto, entre otros aspectos.

Por lo tanto, antes de la aplicación del método de estabilización con cal, es importante considerar:

- Tomando en cuenta las recomendaciones hechas en especificaciones vigentes en Estados Unidos, puede determinarse la aptitud de un suelo para poder ser estabilizado con cal. De acuerdo con el análisis granulométrico y los límites de consistencia, el estado de Illinois recomienda que un suelo puede ser estabilizado con cal si los suelos contienen más del 7% de partículas de arcilla y un I.P. mayor de 8. La National Lime Association indica que un suelo es apto si tiene un I.P. mayor de 10.



El manual para la estabilización de suelos para pavimentos, desarrollado por la Armada y Fuerza Aérea de los Estados Unidos, recomienda el uso de cal para los grupos de suelos SW-SP, SM-SC, GW-GP, GM-GC, CH-CL, MH-ML, siempre y cuando posean un I.P. mayor de 12. El protocolo de ensayos para estabilización de suelos con cal realizado por Little cita al Sistema de Estabilización de suelos de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, donde establece que un suelo será candidato a estabilización con cal si tiene un pasante del 25% del Tamiz 200 y un I.P. de 10 como mínimo.

- La ubicación de proyecto para determinar si es factible el transporte del material o en dado caso utilizar otro método para la estabilización.
- El tiempo en que se va a llevar a cabo la ejecución del proyecto y el tiempo que se emplearía utilizando el método de estabilización propuesto, para determinar los beneficios que se pueden obtener.
- La forma más económica para la realización del proyecto en función de los costos de material, transporte y acarreo de suelo, movimiento de tierras y mano de obra, entre otros.

### **3. ENSAYOS DE LABORATORIO**

#### **3.1. Preparación de las muestras de suelo**

Las muestras de suelo utilizadas para la realización de los ensayos de laboratorio debieron ser preparadas con anticipación para que pudieran ser trabajadas de manera adecuada y con apego a cada una de las normas específicas para cada procedimiento.

El primer paso consistió en el secado del suelo y debido a que las muestras de suelo se encontraban bastante húmedas fue necesaria la utilización tanto del procedimiento de secado al horno como de secado al sol.

El siguiente paso consistió en la trituración del material seco, debido a que se encontraba demasiado grumoso, con terrones de gran tamaño; hasta llevarlo a una condición fina, normal en estos tipos de suelo. Posteriormente cada una de las muestras fue tamizada para su utilización.

Este proceso fue necesario para la realización de los ensayos, exceptuando el análisis granulométrico, para el cual se tomó una muestra representativa de cada material en el estado en que fue extraído. Teniendo el material seco, triturado y tamizado se procedió a la realización de los ensayos de laboratorio en muestras de suelo sin adición de cal y en muestras mezcladas con cal, en proporciones determinadas como porcentajes del 2%, 4% y 6% del peso seco de la muestra.

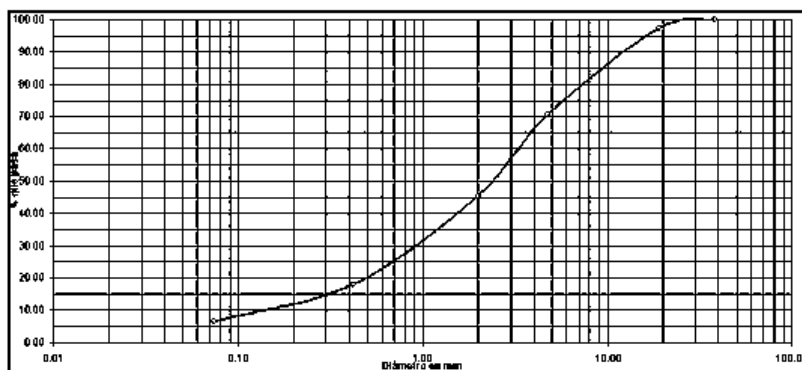
### 3.2. Análisis granulométrico

#### Norma AASHTO T-27

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. Los resultados son representados en forma gráfica por medio de una curva de distribución granulométrica, determinando de este modo la cantidad en porcentaje de gravas, arenas y finos presentes en la muestra de suelo.

Para el presente estudio las muestras de suelo se sometieron durante 24 horas al horno para obtener su condición seca; a lavado previo al tamizado para eliminar los finos, y secado antes de tamizar. Además, se determinaron únicamente los análisis granulométricos de las muestras de suelo natural, por lo que sólo se presentan los resultados de las muestras sin adición de cal.

Figura 6. Curva granulométrica.



Fuente. Sitio web: [www.wikipedia.org.com](http://www.wikipedia.org.com). Curva granulométrica. 2009.

### 3.3. Límites de Atterberg

#### Normas AASHTO T-146, ASTM D-4318, AASHTO T-89, T-90

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. De este modo un suelo se puede encontrar en estado sólido, semi-sólido, plástico, semi-líquido y líquido; cambiando gradualmente al agregarle agua. De acuerdo con lo anterior se consideran tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción (LC), que es la frontera convencional entre los estados sólido y semi-sólido; el límite plástico (LP), que es la frontera entre los estados semi-sólido y plástico; y el límite líquido (LL), que es la frontera entre los estados plástico y semi-líquido.

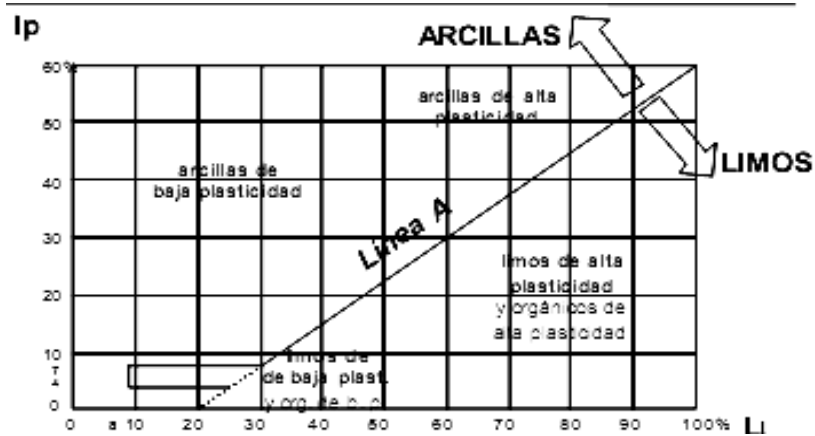
**Tabla II. Límites de consistencia.**

Sólido	Semi-Sólido	Plástico	Semi-Líquido	Líquido
LC		LP	LL	

**Fuente.** Hernández Canales, Juan Carlos. Ingeniero Civil. Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. Trabajo de graduación 2008.

Para el presente estudio se consideraron los límites plástico y líquido, con los cuales se determinó el índice de plasticidad (IP), para cada muestra de suelo natural y con adición de cal en los porcentajes especificados anteriormente.

Figura 7. Carta de plasticidad.



Fuente. Sitio web: [www.wikipedia.org.com](http://www.wikipedia.org.com). Carta de plasticidad. 2009.

### 3.4. Determinación de pH (Ensayo de Eades & Grim)

#### Norma ASTM D6276

El pH es una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementan, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo de 7.0 son ácidos, los valores superiores a 7.0 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutrales. Por cada unidad de cambio en pH hay un cambio 10 veces en magnitud en la acidez o alcalinidad ( por ejemplo: un pH 6.0 es diez veces más ácido que uno de pH 7.0, mientras que un pH 5.0 es 100 veces más ácido que el de 7.0).

En la siguiente tabla se clasifican los suelos según su nivel de pH.

**Tabla III. Clasificación de los suelos según su pH.**

Nivel de pH	Clasificación de suelo
0 < 5.5	Muy ácido
5.5 < 6.5	Ácido
6.5 < 7.5	Neutro
7.6 < 8.5	Básico o ligeramente alcalino
8.6 y mayores	Muy alcalino

**Fuente.** Quintana Crespo, Enrique. Ingeniero Geólogo. Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos. Tesis doctoral 2005.

Esta prueba es utilizada para estimar la proporción requerida de cal para la estabilización de un suelo, entendiendo como tal a la cantidad de cal mínima que satisface la capacidad de absorción de cal por intercambio iónico. El pH representa la concentración de iones  $H^+$ , que es dependiente de la relación suelo-agua.

**Tabla IV. Relaciones suelo-agua más utilizadas.**

Proporción	Cantidad de suelo
1:5	20 gr. de suelo seco en 100 cc de agua destilada
2:5	40 gr. de suelo seco en 100 cc de agua destilada
1:3	50 gr. de suelo seco en 150 cc de agua destilada

**Fuente.** Quintana Crespo, Enrique. Ingeniero Geólogo Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos. Tesis doctoral 2005.

El objeto de esta prueba es encontrar la proporción mínima de cal requerida para elevar el nivel de pH en suelos arcillosos a un valor mínimo de 12.4 y que además lo mantenga constante con la adición de cal.

### **3.5. Ensayo de compactación (Próctor modificado)**

#### **Norma AASHTO T-180**

Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular. Con la compactación de un suelo se persigue incrementar la resistencia del mismo, mejorando su estabilidad y capacidad de carga para ser utilizado en cimentaciones y pavimentos; disminuir la compresibilidad y permeabilidad, además se reduce el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento del suelo.

Para cada material existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico conocido como Densidad Máxima o Peso Unitario Seco Máximo (PUS), y dicha cantidad de agua necesaria se denomina Humedad Óptima. Cuando se agrega cal a la muestra de suelo el contenido de humedad aumenta debido a que la cal absorbe el agua, por lo que al aumentar la proporción de cal fue necesario también aumentar la cantidad de agua para mezclar en cada una de las muestras analizadas.

### **3.6. Determinación del valor soporte (CBR)**

#### **Norma AASHTO T-193**

El CBR o razón Soporte de California (California Bearing Ratio) es un método de evaluación de suelos para ser utilizados como sub-bases o bases, ampliamente utilizado para el diseño de pavimentos.

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad soporte de suelos compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El CBR es una medida comparativa de la resistencia del suelo en condiciones controladas de densidad y humedad, simulando las condiciones extremas a las que se podría exponer el suelo.

Para las finalidades del presente trabajo, se realizaron los ensayos correspondientes a los distintos porcentajes de cal para determinar el incremento en el valor CBR, así como también la disminución en la expansión del suelo pues los suelos arcillosos son altamente expansivos y por tal razón son inestables.



### 3.7. Compresión no confinada

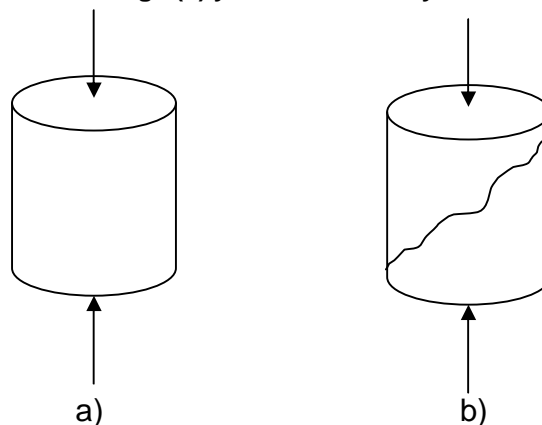
#### Norma ASTM C-1632 y ASTM D-1663

La compresión no confinada o compresión simple, como también se le llama, se refiere a la aplicación de carga axial con una velocidad controlada sobre una probeta sin soporte lateral y en condiciones no drenadas; por lo que se considera un ensayo uniaxial.

Este ensayo tiene por finalidad determinar la resistencia a la compresión no confinada de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo y es ampliamente utilizado debido a que es un método rápido y económico.

Las probetas utilizadas se ensayaron a una edad de siete días.

Figura 8. Configuración de carga (a) y rotura del ensayo de compresión no confinada (b).



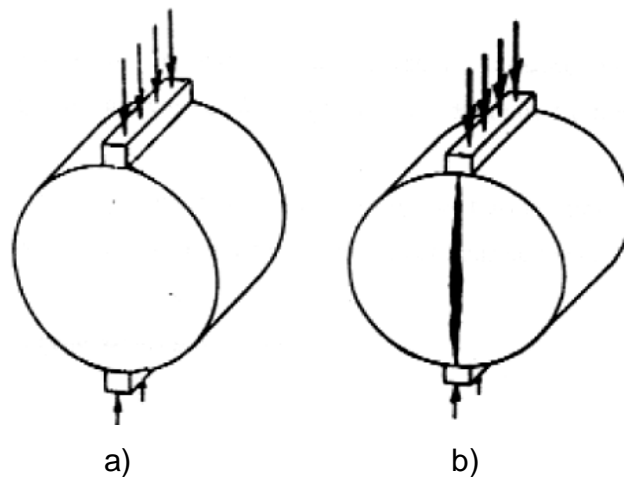
Fuente. Elaboración propia.

### 3.8. Resistencia a tracción indirecta

#### Norma ASTM C-1632 y ASTM D-1633

El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la zona de tracción y es un método práctico y sencillo para evaluar el fallo provocado por tensiones de tracción. Este ensayo consiste en cargar una probeta cilíndrica con una carga de compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas, la cual provoca un esfuerzo de tracción uniforme en el diámetro del plano de carga vertical agotando la probeta y desencadenando la rotura en el plano diametral. Las probetas se ensayaron a una edad de siete días.

Figura 9. Configuración de carga (a) y rotura del ensayo de tracción indirecta (b).



**Fuente.** Ingeniería civil. Uso de la resistencia a tracción indirecta. Sitio web: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com). Enero 2005.



## **4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

### **4.1. Evaluación de las propiedades de los suelos naturales**

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a cada una de las muestras de suelo antes de ser tratados con cal.

Las muestras de suelo utilizadas se han clasificado según el lugar de donde fueron extraídas como M1, M2 y M3; siendo las muestras provenientes de Villa Nueva, Guatemala; Coatepeque, Quetzaltenango; y zona 12, ciudad de Guatemala, Guatemala, respectivamente.

Para la muestra procedente de Villa Nueva, Guatemala los ensayos realizados muestran algunas particularidades. El análisis granulométrico indica un alto contenido de material fino, se trata de una muestra de suelo arcilloso con ligera presencia de pómez por lo que el porcentaje de grava o material grueso es bastante bajo. Al determinarse los límites de consistencia y de acuerdo con el I.P. obtenido se determinó, según el sistema unificado y el sistema P.R.A. como un suelo CL y A-7-6 respectivamente. Al realizar la determinación de pH se obtuvo un valor de 8.71 por lo que se considera un suelo muy alcalino. También se puede observar que debido a su condición de suelo arcilloso su porcentaje de CBR es bastante bajo, uno de los parámetros que se desea mejorar al estabilizarlo con cal.

En la siguiente tabla se resumen los análisis realizados a la muestra 1.

**Tabla V. Resultados de ensayos muestra 1 -M1-.**

<b>RESULTADOS ENSAYOS MUESTRA 1</b>			
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
Grava	0.30 %		
Arena	14.85 %		
Finos	84.86 %		
Clasificación:			
Sistema Unificado SCU	CL		
Sistema P.R.A.	A - 7 - 6		
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>			
Límite Líquido	48.38		
Límite Plástico	30.12		
Índice de Plasticidad	19.26		
<b>pH</b>			
Nivel de pH	8.71		
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
	kg/m <sup>3</sup>	lb/p <sup>3</sup>	
Densidad seca óptima (PUS)	1555.0	96.95	
Humedad óptima	17.6 %		
<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA</b>			
Golpes	% C	% Expansión	% CBR
10	79.0	6	0.5
30	90.0	5	0.7
65	99.0	3	2.5

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla V. Resultados de ensayos muestra 1 -M1-.**

<b>COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>		
Edad (días)	Resistencia	
	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
7	17.23	244.5

<b>RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
Edad (días)	Resistencia	
	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
7	0.85	12

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

La segunda muestra analizada fue la procedente de Coatepeque, Quetzaltenango. Al igual que la muestra 1, ésta también posee un alto porcentaje de finos aunque un poco más bajo que la primera. Este suelo se clasificó como un suelo arcilloso con presencia de pómez y debido a los resultados obtenidos de los límites, se puede clasificar como un suelo altamente plástico y para los sistemas Unificado y P.R.A. la clasificación fue CH y A-7-6.

El nivel de pH obtenido fue de 7.45 por lo que se define como un suelo neutro. Los porcentajes de CBR obtenidos en esta muestra son bajos pero con una diferencia significativa con relación a la muestra 1, estando en el orden del 27%, lo cual puede deberse al porcentaje de arena que contiene. Sin embargo la resistencia a compresión simple y a tracción indirecta es relativamente más baja con relación a los valores obtenidos en la muestra 1.

A continuación, el resumen de los ensayos realizados en la muestra 2.

**Tabla VI. Resultados ensayos muestra 2 –M2-.**

<b>RESULTADOS ENSAYOS MUESTRA 2</b>			
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
Grava	0.64 %		
Arena	24.79 %		
Finos	74.57 %		
Clasificación:			
Sistema Unificado SCU	CH		
Sistema P.R.A.	A – 7 - 6		
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>			
Límite Líquido	53.3		
Límite Plástico	35.34		
Índice de Plasticidad	17.96		
<b>pH</b>			
Nivel de pH	7.45		
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
	kg/m <sup>3</sup>	lb/p <sup>3</sup>	
Densidad seca óptima (PUS)	1481.7	92.38	
Humedad óptima	21.5 %		
<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA</b>			
Golpes	% C	% Expansión	% CBR
10	89.0	0.8	5
30	95.0	0.7	17
65	100.0	0.5	27

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla VI. Resultados ensayos muestra 2 –M2-.**

<b>COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>		
Edad (días)	Resistencia	
	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
7	7.15	101.5

<b>RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
Edad (días)	Resistencia	
	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
7	0.00	0.00

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Finalmente se realizaron los ensayos a la muestra de suelo procedente de zona 12, Guatemala y en la que se determinó de acuerdo al análisis granulométrico un alto porcentaje en el contenido de finos, aunque ligeramente mayor al 50% del total, además en este caso el porcentaje de grava fue mayor en relación con las muestra anteriores, este suelo muestra presencia de partículas de pómez y se caracterizó como un limo arcilloso. De acuerdo con los límites de consistencia el I.P. es bajo, sin embargo según la AASHTO es un valor aceptable para que un suelo pueda ser estabilizado con cal. El nivel de pH de este suelo es de 8.86 por lo que es considerado como un suelo muy alcalino.

Los porcentajes de CBR para este suelo son bajos, sin embargo esta baja resistencia a la penetración se tratará de modificar con la adición de cal. Aunque los porcentajes son bajos, superan a los determinados en la muestra 1 pero siguen siendo más bajos que los de la muestra 3.



La siguiente tabla muestra los resultados de los ensayos de la muestra 3.

**Tabla VII. Resultados ensayos muestra 3 -M3-.**

<b>RESULTADOS ENSAYOS MUESTRA 3</b>			
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
Grava		3.79 %	
Arena		42.37 %	
Finos		53.84 %	
Clasificación:			
Sistema Unificado SCU		ML	
Sistema P.R.A.		A - 5	
<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>			
Límite Líquido		46.42	
Límite Plástico		34.08	
Índice de Plasticidad		12.34	
<b>pH</b>			
Nivel de pH		8.86	
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
		kg/m <sup>3</sup>	lb/p <sup>3</sup>
Densidad seca óptima (PUS)		1529.8	95.38
Humedad óptima		19.0 %	
<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA</b>			
Golpes	% C	% Expansión	% CBR
10	87.0	4	2.0
30	95.0	3	4.0
65	100.0	2	6.0

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla VII. Resultados ensayos muestra 3 -M3-.**

<b>COMPRESIÓN NO CONFINADA</b>		
Edad (días)	Resistencia	
	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pug <sup>2</sup>
7	14.27	202.5

<b>RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
Edad (días)	Resistencia	
	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/pug <sup>2</sup>
7	0.81	11.5

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

#### **4.2. Evaluación de las propiedades de los suelos tratados con cal**

Después de presentar los resultados de los ensayos realizados a las muestras de suelo sin tratamiento, se presentan ahora los resultados de los ensayos con la adición de cal y los cambios producidos en las muestras al ser mezcladas. En las muestras mezcladas con cal no se realizó el análisis granulométrico, por lo que este ensayo no se incluye en las tablas de resultados.

Para la muestra 1 -M1-, los resultados se presentan a continuación:

**Tabla VIII. Resultados de límites de consistencia para M1 con adición de cal.**

<b>LÍMITES DE ATTERBERG M1</b>			
%cal	LL	LP	IP
2	53.58	38.83	14.74
4	54.94	44.66	10.29
6	55.29	50.37	4.92

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla IX. Resultados de pH para M1 con adición de cal.**

<b>NIVEL DE Ph M1</b>	
% cal	pH
2	12.38
4	12.43
6	12.48

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla X. Resultados de ensayo de compactación para M1 con adición de cal.**

<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN M1</b>			
	PUS		
% cal	kg/m <sup>3</sup>	lb/p <sup>3</sup>	% H óptima
2	1561	97.32	18.5
4	1567	97.69	19.0
6	1571	97.94	19.5

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XI. Resultados valor soporte California para M1 con adición de cal.**

<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA M1</b>		
<b>10 GOLPES</b>		
% cal	% expansión	% CBR
2	3.5	0.8
4	1.3	3.5
6	0.6	13.0
<b>30 GOLPES</b>		
% cal	% expansión	% CBR
2	3.0	4.3
4	1.1	7.1
6	0.4	32
<b>65 GOLPES</b>		
% cal	% expansión	% CBR
2	2.5	8.2
4	1.0	27
6	0.2	64

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XII. Resultados ensayo a compresión no confinada para M1 con adición de cal.**

<b>COMPRESIÓN NO CONFINADA M1</b>		
	Resistencia	
% cal	lb/plg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
2	263.0	18.53
4	284.5	20.04
6	333.5	23.50

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos. Edad: 7 días.

**Tabla XIII. Resultados ensayo tracción indirecta para M1 con adición de cal.**

<b>TRACCIÓN INDIRECTA M1</b>		
	Resistencia	
% cal	lb/plg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
2	15	1.06
4	20	1.41
6	39	2.75

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos. Edad: 7 días.

Con relación a la primera muestra de suelo ensayada, se observó un decremento del I.P. y el nivel de pH con 4% de cal alcanzó el nivel de 12.4 recomendado por la norma experimental ASTM D6276.

Se obtuvo también un leve incremento en la densidad seca del suelo, además de un significativo incremento en el porcentaje de CBR. La resistencia tanto a compresión simple como a tracción indirecta también se incrementó al agregarse cal.

Para la muestra 2 -M2-, los resultados se presentan a continuación:

**Tabla XIV. Resultados de límites de consistencia para M2 con adición de cal.**

<b>LIMITES DE ATTERBERG M2</b>			
%cal	LL	LP	IP
2	55.61	43.89	11.72
4	56.03	48.07	7.95
6	55.95	52.34	3.61

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XV. Resultados de pH para M2 con adición de cal.**

<b>NIVEL DE Ph M2</b>	
% cal	pH
2	12.09
4	12.45
6	12.46

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XVI. Resultados de ensayo de compactación para M2 con adición de cal.**

<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN M2</b>			
	PUS		
% cal	kg/m <sup>3</sup>	lb/p <sup>3</sup>	% H óptima
2	1468.9	91.58	22.6
4	1462.5	91.18	23.0
6	1459.3	90.98	23.6

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XVII. Resultados valor soporte California para M2 con adición de cal.**

<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA M2</b>		
10 GOLPES		
% cal	% expansión	% CBR
2	0.5	6.5
4	0.2	21
6	0.1	35
30 GOLPES		
% cal	% expansión	% CBR
2	0.4	26
4	0.1	48
6	0.0	70
65 GOLPES		
% cal	% expansión	% CBR
2	0.3	51
4	0.1	80
6	0.0	100

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XVIII. Resultados ensayo a compresión no confinada para M2 con adición de cal.**

<b>COMPRESIÓN NO CONFINADA M2</b>		
	Resistencia	
% cal	lb/plg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
2	165.5	11.66
4	233.0	16.42
6	366.5	25.82

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos. Edad: 7 días.

**Tabla XIX. Resultados ensayo tracción indirecta para M2 con adición de cal.**

<b>TRACCIÓN INDIRECTA M2</b>		
	Resistencia	
% cal	lb/plg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
2	8.0	0.56
4	12.5	0.88
6	31.0	2.18

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos. Edad: 7 días.

De acuerdo con los límites de consistencia realizados en la muestra 2, el I.P. disminuyó al incrementar el porcentaje de cal. Con el 4% de cal el nivel de pH alcanzó un valor de 12.45, superando el recomendado por la norma experimental ASTM D6276; mientras que la densidad seca se mantuvo en decremento al aumentar el contenido de cal.



El porcentaje de CBR aumentó de manera considerable, llegando al 100% con el máximo de cal; así como las resistencias a compresión simple y a tracción indirecta.

Para la muestra 3 –M3-, los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**Tabla XX. Resultados de límites de consistencia para M3 con adición de cal.**

<b>LÍMITES DE ATTERBERG M3</b>			
%cal	LL	LP	IP
2	46.19	35.45	10.74
4	45.21	37.87	7.34
6	---	---	---

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XXI. Resultados de pH para M3 con adición de cal.**

<b>NIVEL DE Ph M3</b>	
% cal	pH
2	11.08
4	12.03
6	12.34

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XXII. Resultados de ensayo de compactación para M3 con adición de cal.**

<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN M3</b>			
	PUS		
% cal	kg/m <sup>3</sup>	lb/p <sup>3</sup>	% H óptima
2	1569.8	97.87	19.5
4	1556.0	97.01	20.0
6	1531.4	95.48	20.5

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XXIII. Resultados valor soporte California para M3 con adición de cal.**

<b>VALOR SOPORTE CALIFORNIA M3</b>		
10 GOLPES		
% cal	% expansión	% CBR
2	0.6	9
4	0.3	17
6	0.0	25
30 GOLPES		
% cal	% expansión	% CBR
2	0.5	33
4	0.2	48
6	0.0	62
65 GOLPES		
% cal	% expansión	% CBR
2	0.4	40
4	0.1	91
6	0.0	100

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Tabla XXIV. Resultados ensayo a compresión no confinada para M3 con adición de cal.**

<b>COMPRESIÓN NO CONFINADA M3</b>		
	Resistencia	
% cal	lb/plg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
2	222	15.64
4	251	17.68
6	266	18.74

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos. Edad: 7 días.

**Tabla XXV. Resultados ensayo tracción indirecta para M3 con adición de cal.**

<b>TRACCIÓN INDIRECTA M3</b>		
	Resistencia	
% cal	lb/plg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
2	15.5	1.09
4	18.5	1.30
6	21.5	1.51

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos. Edad: 7 días.

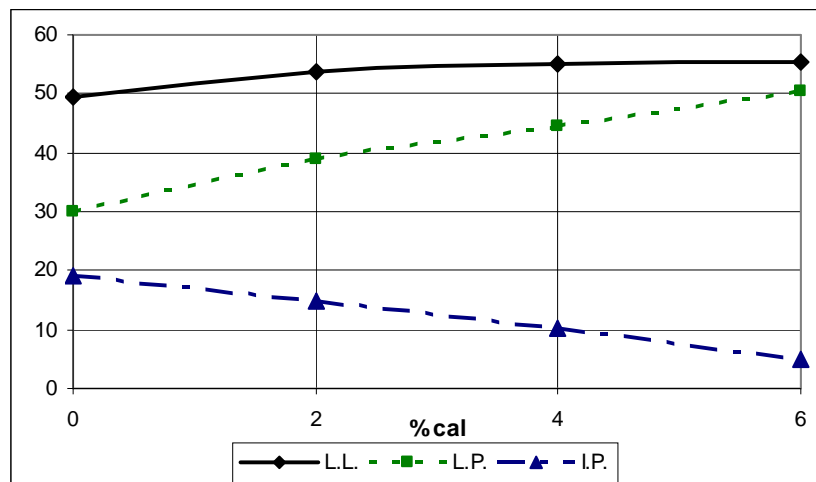
Al determinar los límites de consistencia, el I.P. se redujo al agregar 4% de cal, sin embargo cuando se le agregó el 6% el suelo ya no presentó características cohesivas, se mostró muy suelto por lo que no fue posible determinar los límites. Con el 6% de cal no se pudo llegar a un nivel de pH de 12.4 como lo indica la norma experimental ASTM D6276, este valor se quedó en 12.34.

Con respecto al ensayo de compactación, la densidad seca del suelo aumentó con el 2% pero al agregar un mayor porcentaje, el valor de ésta comenzó a bajar llegando casi al valor inicial con el máximo porcentaje de cal.

El incremento en el porcentaje de CBR fue significativo con relación al porcentaje inicial, llegando a un valor máximo de 100%. Las resistencias tanto a compresión simple como a tracción indirecta también se vieron beneficiadas con la adición de cal mostrando aumento en ambos.

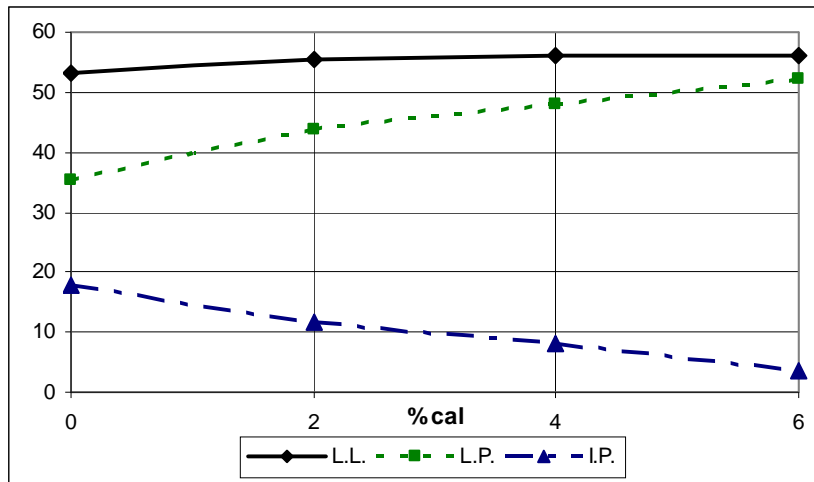
### 4.3. Análisis y comparación de resultados

Figura 10. Límites de consistencia M1.



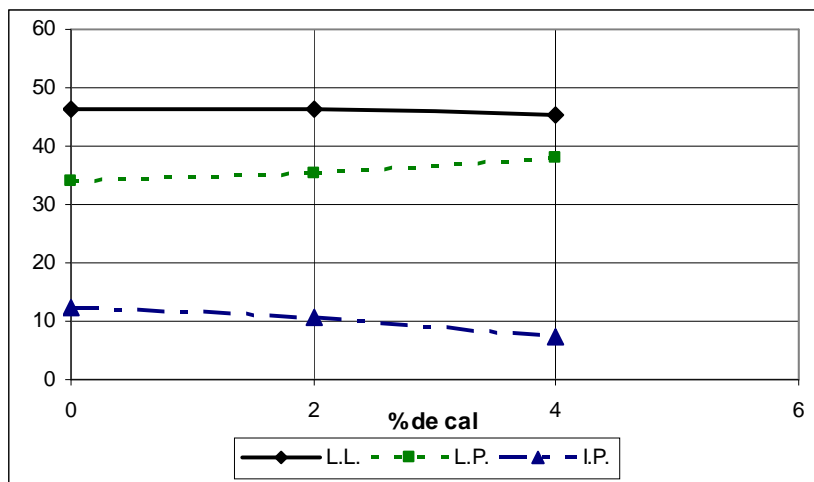
Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 11. Límites de consistencia M2.**



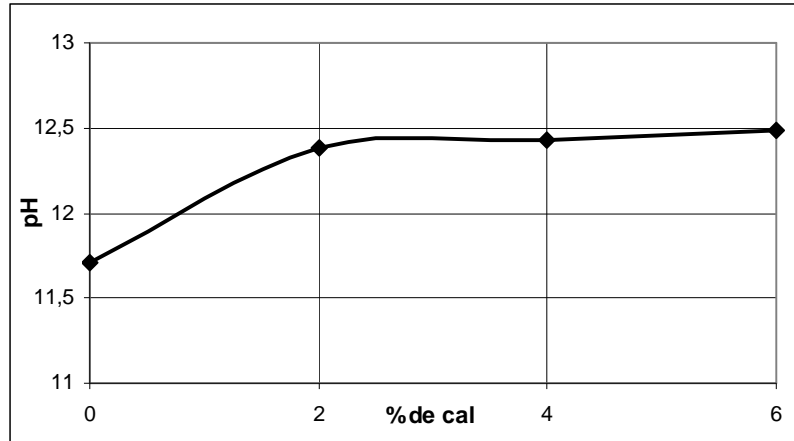
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 12. Límites de consistencia M3.**



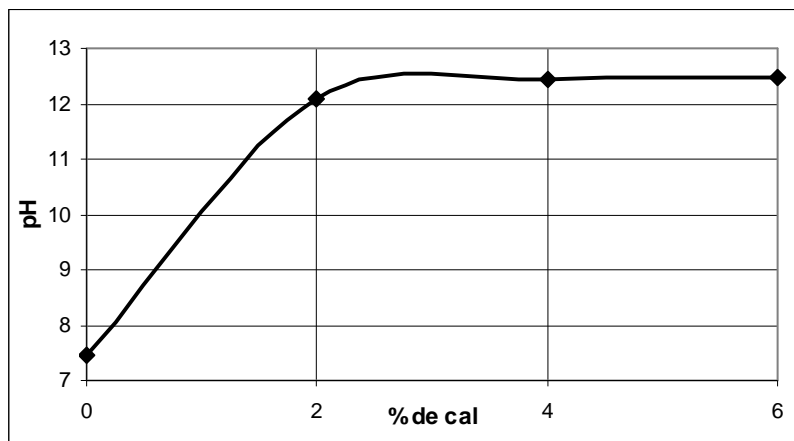
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 13. Nivel de pH M1.**



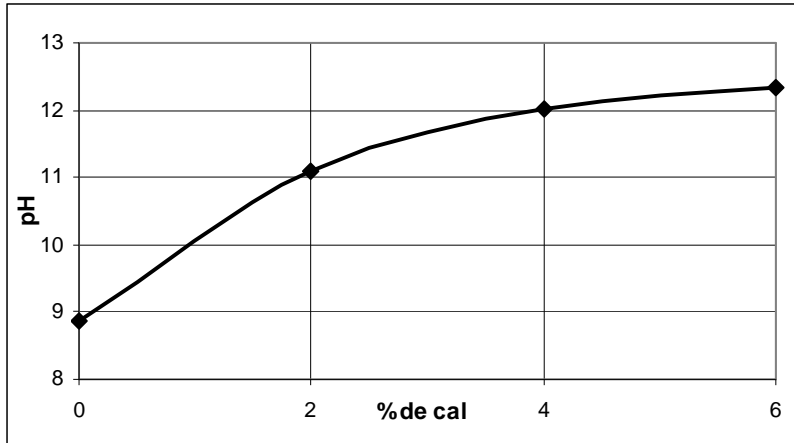
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 14. Nivel de pH M2.**



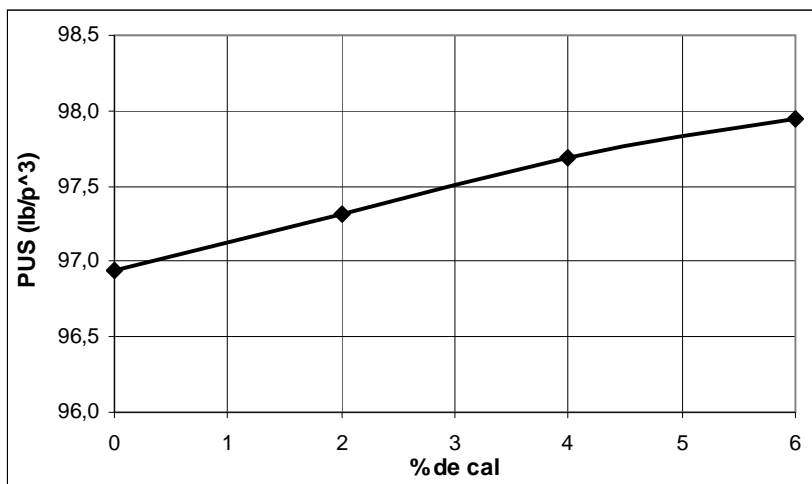
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 15. Nivel de pH M3.**



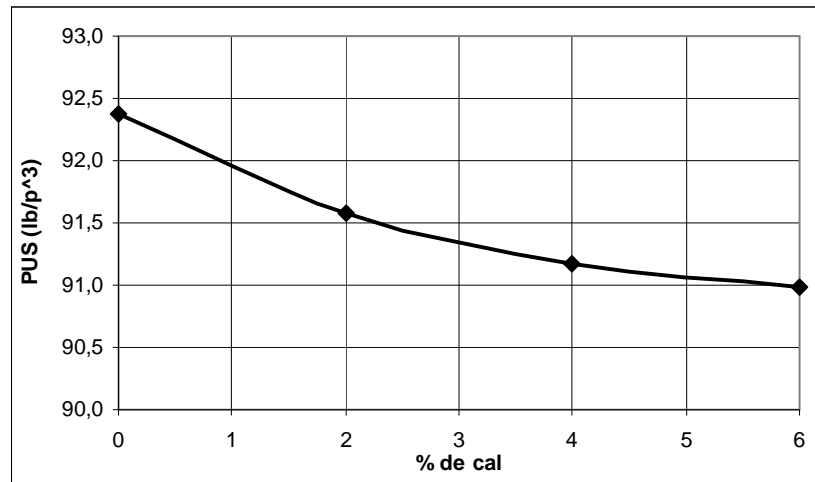
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 16. Ensayo de compactación M1.**



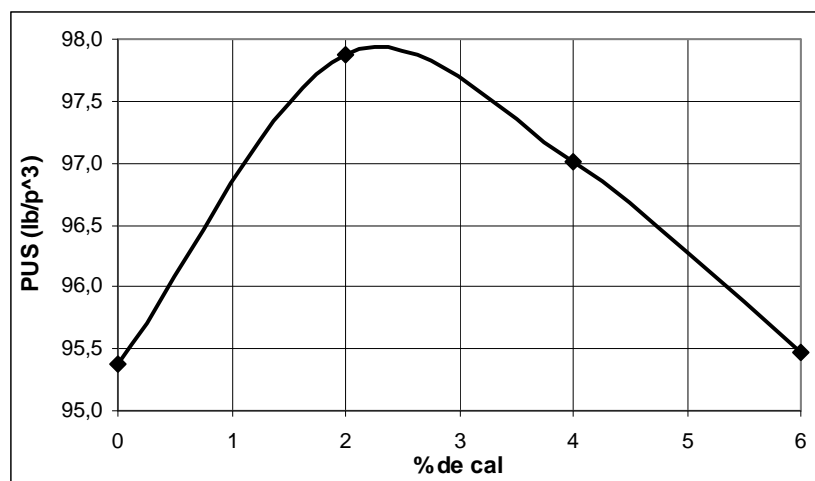
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 17. Ensayo de compactación M2.**



**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

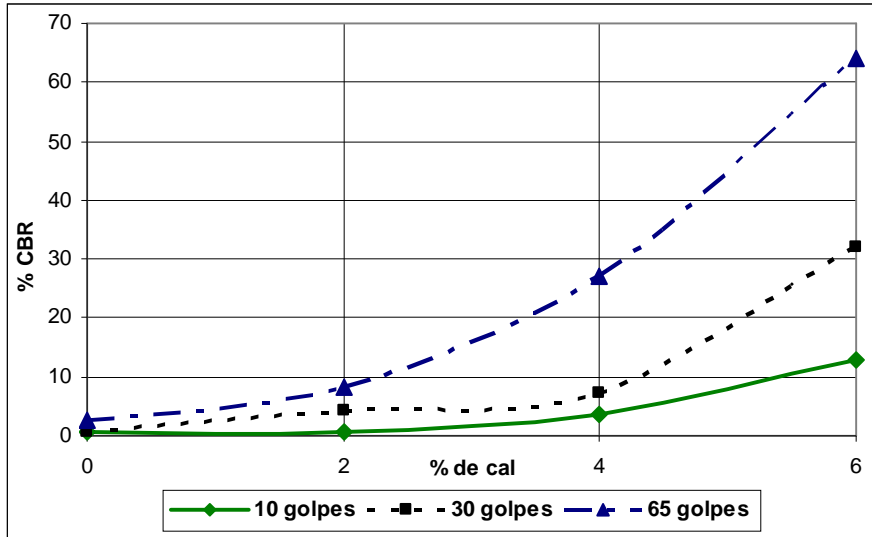
**Figura 18. Ensayo de compactación M3.**



**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

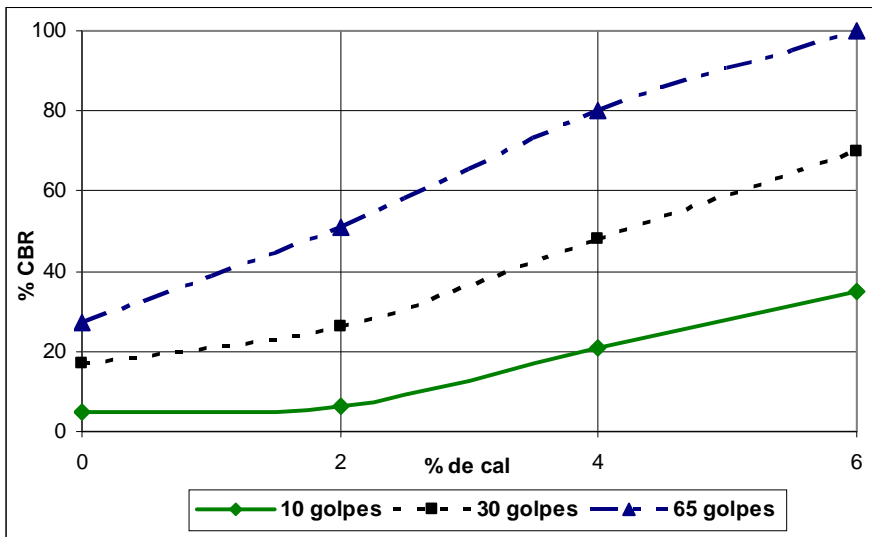


Figura 19. Valor soporte California M1.



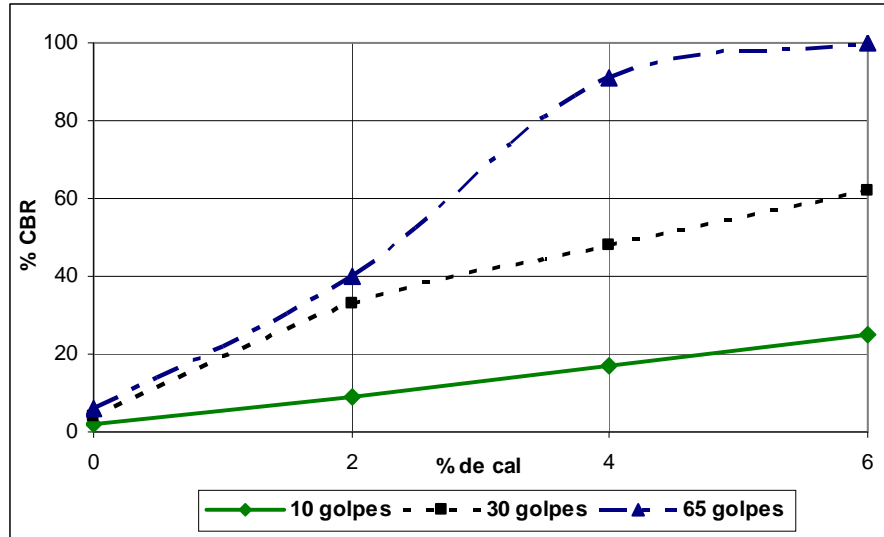
Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Figura 20. Valor soporte California M2.



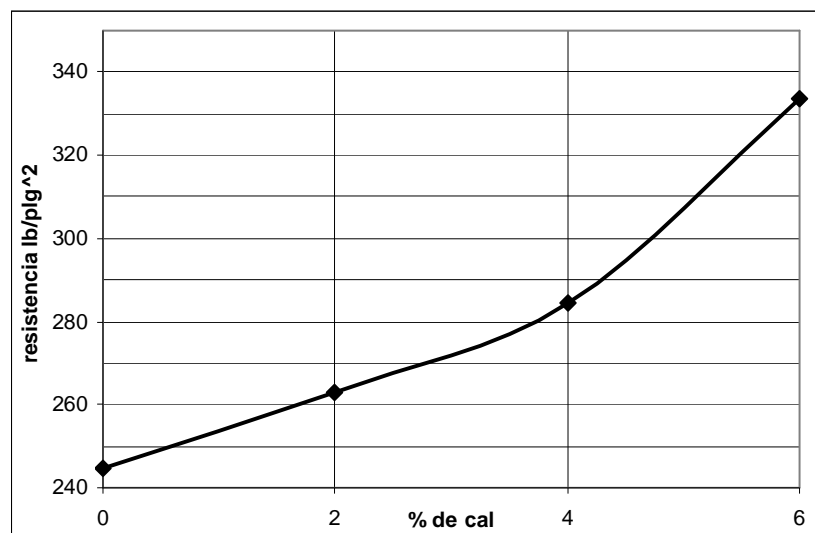
Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Figura 21. Valor soporte California M3.



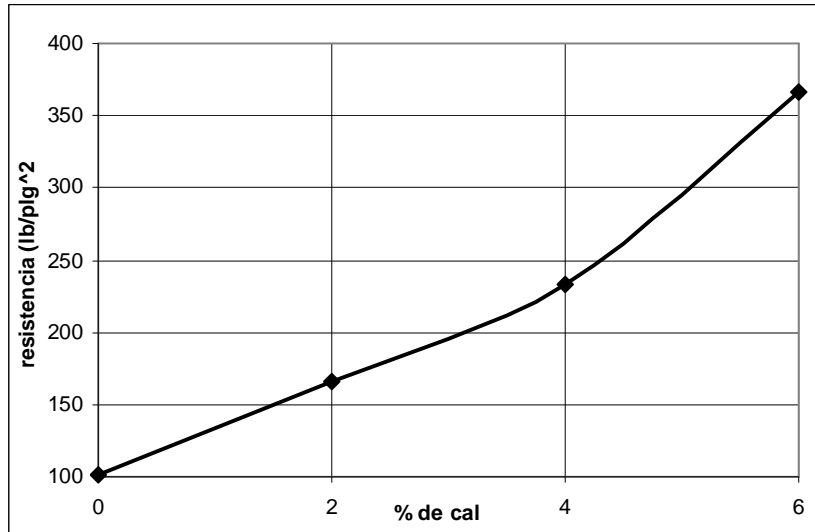
Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Figura 22. Resistencia a compresión no confinada M1.



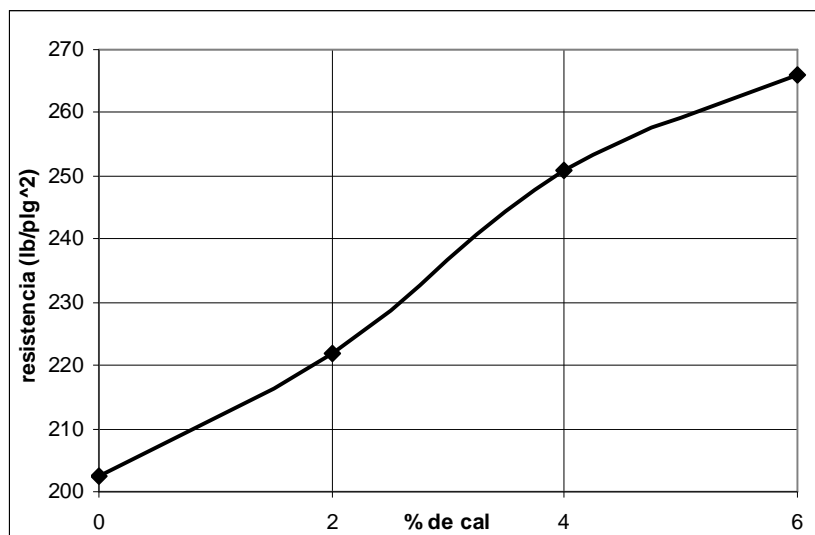
Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 23. Resistencia a compresión no confinada M2.**



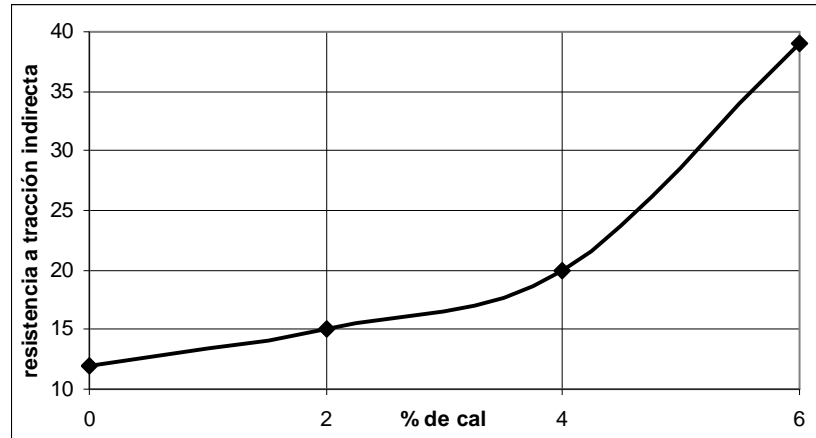
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 24. Resistencia a compresión no confinada M3.**



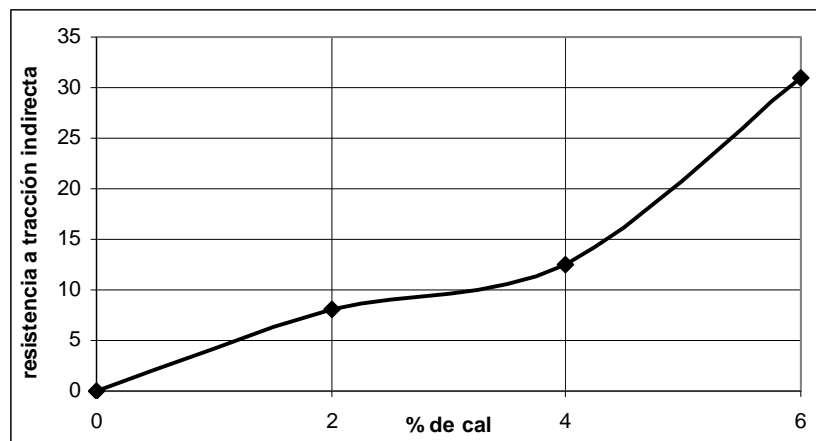
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 25. Resistencia a tracción indirecta M1.**



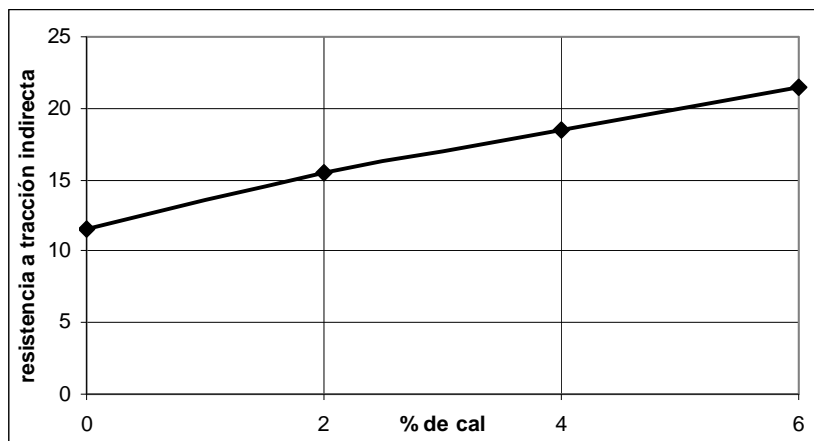
**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

**Figura 26. Resistencia a tracción indirecta M2.**



**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Figura 27. Resistencia a tracción indirecta M3.



Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Tabla XXVI. Resumen resultados obtenidos para M1.

RESUMEN DE DATOS MUESTRA 1: SUELO ARCILLOSO. PROCEDENCIA: VILLA NUEVA				
ENSAYO	0% CAL	2% CAL	4% CAL	6% CAL
pH	8.71	12.38	12.43	12.48
<b>Límites de Atterbeg</b>				
L.L.	49.38	53.58	54.94	55.29
L.P.	30.12	38.83	44.66	50.37
I.P.	19.26	14.74	10.29	4.92
<b>Ensayo de Compactación</b>				
PUS (lb/p <sup>3</sup> )	96.95	97.32	97.69	97.94
% H ópt	17.6	18.5	19	19.5
<b>CBR</b>				
a la compactación (kg/m <sup>3</sup> )	1553.2	1596.4	1645.2	1672.4
a la compactación (lb/p <sup>3</sup> )	96.83	99.53	102.57	104.27
% CBR	2.5	8.2	27	64
<b>Compresión simple (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	244.5	263	284.5	333.5
<b>Tracción Indirecta (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	12	15	20	39

Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Tabla XXVII. Resumen resultados obtenidos para M2.

<b>RESUMEN DE DATOS</b>				
<b>MUESTRA 2: SUELO ARCILLOSO.</b>				
<b>PROCEDENCIA: COATEPEQUE</b>				
<b>ENSAYO</b>	<b>0% CAL</b>	<b>2% CAL</b>	<b>4% CAL</b>	<b>6% CAL</b>
<b>pH</b>	7.45	12.09	12.45	12.46
<b>Límites de Atterbeg</b>				
L.L.	53.3	55.61	56.03	55.95
L.P.	35.34	43.89	48.07	52.34
I.P.	17.96	11.72	7.95	3.61
<b>Ensayo de Compactación</b>				
PUS (lb/p <sup>3</sup> )	92.38	91.58	91.18	90.98
% H ópt	21.5	22.6	23	23.6
<b>CBR</b>				
a la compactación (kg/m <sup>3</sup> )	1481.6	1470.2	1465.5	1466
a la compactación (lb/p <sup>3</sup> )	92.37	91.66	91.37	91.40
% CBR	27	51	80	100
<b>Compresión simple (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	101.5	165.5	233	366.5
<b>Tracción Indirecta (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	0	8	12.5	31

Fuente. Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

Tabla XXVIII. Resumen resultados obtenidos para M3.

<b>RESUMEN DE DATOS</b>				
<b>MUESTRA 3: SUELO ARCILLOSO.</b>				
<b>PROCEDENCIA: ZONA 12</b>				
<b>ENSAYO</b>	<b>0% CAL</b>	<b>2% CAL</b>	<b>4% CAL</b>	<b>6% CAL</b>
<b>pH</b>	8.86	11.08	12.03	12.34
<b>Límites de Atterbeg</b>				
L.L.	46.42	46.19	45.21	----
L.P.	34.08	35.45	37.87	----
I.P.	12.34	10.74	7.34	----
<b>Ensayo de Compactación</b>				
PUS (lb/p <sup>3</sup> )	95.38	97.87	97.01	95.48
% H ópt	19	19.5	20	20.5
<b>CBR</b>				
a la compactación (kg/m <sup>3</sup> )	1530.8	1572.6	1558.1	1539.6
a la compactación (lb/p <sup>3</sup> )	95.44	98.04	97.14	95.99
% CBR	6	40	91	100
<b>Compresión simple (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	202.5	222	251	266
<b>Tracción Indirecta (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	11.5	15.5	18.5	21.5

**Fuente.** Elaboración propia con datos proporcionados por los ensayos.

La composición química del suelo arcilloso es un factor importante para explicar la variación en los límites de consistencia. Los minerales arcillosos al reaccionar con la cal suelen registrar disminución en el I.P. debido a que el límite plástico generalmente aumenta en mayor proporción que el límite líquido. Esta reacción suele provocar que los parámetros varíen con el tiempo hasta llegar a un punto en el cual los valores se estabilizan. Sin embargo, la influencia de los porcentajes de cal sobre los límites de consistencia puede empezar a notarse entre las 2 y 24 horas de curado.

Para el caso de la muestra 1 el I.P. tuvo un decremento de 19 sin cal a un valor de 5 con 6% de cal. Del mismo modo la muestra 2 presentó decremento en su I.P. de un valor igual a 18 sin cal hasta llegar a un I.P. de 3 con 6% de cal. La muestra 3 se comportó de manera similar descendiendo de un valor de I.P. de 12 sin cal a un 7 con 4% de cal, sin embargo cuando se le agregó el 6% de cal los límites de consistencia no pudieron ser determinados pues la cantidad de cal produjo cambios en la textura del suelo hasta llevarlo a una apariencia arenosa y suelta.

En general, con la adición de cal se incrementa la humedad óptima del suelo mientras que la densidad máxima tiende a reducirse. Esto se debe a la floculación producida por la reacción de la mezcla suelo-cal.





## CONCLUSIONES

1. Se realizaron siete ensayos de laboratorio a cada una de las muestras de suelo natural y seis ensayos a las muestras estabilizadas con cal, con distintos porcentajes de cal con relación al peso seco del suelo. Las tres muestras de suelo poseen características que determinan su aptitud para ser estabilizados con cal y obtener resultados satisfactorios, aunque sus características propias sean diferentes. Los índices de plasticidad de los suelos son mayores a 10, poseen un alto porcentaje de finos que pasan el tamiz 200.
2. Los resultados de los ensayos muestran suelos de baja resistencia a la compresión, además de ser muy plásticos; características propias de los suelos arcillosos. En teoría, un parámetro importante para determinar los porcentajes adecuados de cal es la determinación del pH de los suelos, sin embargo en este caso dos de las muestras (M1 y M2) alcanzaron el nivel recomendado por la norma experimental ASTM D6276 con 4% de cal, pero mostraron mejoría en las resistencias a compresión no confinada y tracción indirecta al agregárseles el máximo porcentaje de cal, por lo que se observa que este parámetro no es el único determinante para la consideración del porcentaje de cal a utilizar.

3. Al analizar los resultados de los ensayos realizados en las muestras de suelo natural y compararlos con los obtenidos en las muestras estabilizadas con cal, se puede notar claramente la mejoría obtenida con mezclas de suelo y el máximo porcentaje de cal.
- La plasticidad bajó considerablemente al ser las muestras estabilizadas, tomando en cuenta que los valores mínimos en el índice de plasticidad se obtuvieron con el máximo porcentaje de cal.
  - De los ensayos de compactación se pudo observar que las densidades se comportaron de maneras variables pero en general tuvieron disminuciones, mientras que sus porcentajes de humedad óptima fueron en aumento en todos los casos. Este comportamiento se debe a la acción de la cal sobre el suelo arcilloso, la cual produce floculación o aglomeración de las partículas de arcilla produciendo mayor absorción de agua, razón por la que los porcentajes de humedad aumentan con el incremento en la proporción de la cal. La reacción anteriormente mencionada depende también de la composición propia de cada suelo y del tiempo de curado.
  - En cuanto a los porcentajes de CBR los resultados fueron positivos para las muestras ensayadas, porque éstos aumentaron considerablemente y en dos muestras llegaron a un valor de 100%.
  - Las resistencias a compresión no confinada y a tracción indirecta aumentaron de manera considerable de valores extremadamente bajos o casi nulos a un aumento de más del 200%.

4. De acuerdo con las especificaciones del libro azul de caminos, los suelos estabilizados son aptos para sub-rasante, pues el porcentaje de hinchamiento es inferior al 3%, según la especificación de la sección 301.01. Con respecto a la resistencia a compresión no confinada, la especificación en la sección 307.06 indica una resistencia a los 28 días, pero para el presente trabajo las probetas fueron ensayadas a los 7 días. Sin embargo ya mostraban ser aptas para sub-base con 4% de cal las muestras 1 y 2 y con 6% de cal la muestra 3, y para base con 6% de cal las muestras 1 y 2.
  
5. El comportamiento físico de los suelos de grano fino, en especial los arcillosos; se ve afectado de manera favorable debido a la reacción química que se genera al estabilizarlos con cal. Estas reacciones provocan cambios en las propiedades mecánicas de los suelos como se ha visto en los resultados de los ensayos realizados en el presente trabajo de graduación.



## RECOMENDACIONES

1. Al momento de realizar los ensayos de laboratorio necesarios, se deben observar cuidadosamente las especificaciones de las normas requeridas, tanto acerca de los instrumentos de laboratorio como de la muestra misma para minimizar los errores que se pudieran presentar en los resultados.
2. Para determinar con mayor exactitud la proporción de arcilla que contienen las muestras de suelo a estabilizar, es recomendable realizar análisis por sedimentación para que la clasificación de los suelos sea más completa y aporte mayores detalles para el posterior análisis.
3. Un análisis de los minerales contenidos en los suelos también es muy importante porque el nivel de pH contenido en un suelo depende en gran manera de su composición química. Si se dispone del equipo necesario o se tiene la facilidad para realizarlo es recomendable que se realice este tipo de análisis.

4. La determinación del nivel de pH, según la norma experimental ASTM D6276 puede ayudar a determinar el porcentaje óptimo de cal a utilizar en la estabilización, pero en la práctica puede ser que no siempre este dato sea 100% confiable por lo que es importante realizar otras pruebas de laboratorio porque cada tipo de suelo posee diferentes características que lo hacen comportarse de manera distinta al ser estabilizados con cal.
  
5. Al realizar los ensayos de laboratorio es importante darle seguimiento para determinar el mejoramiento de los suelos con el transcurso del tiempo, por lo que se deben realizar ensayos a diferentes edades y poder evaluar con mayor certeza los cambios que se presenten.
  
6. Cuando se realice la estabilización en campo se debe tener un elevado control en la calidad de los materiales utilizados en la estabilización y en el mezclado mismo para poder obtener resultados que sean lo más parecido posible a los obtenidos en laboratorio y de este modo garantizar la obra. También es importante darle seguimiento a la estabilización y realizar pruebas de campo para determinar el mejoramiento del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Crespo Villalaz, Carlos. **MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.** Editorial Limusa. México, 1995.
2. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **MECÁNICA DE SUELOS.** Tomo 1. Editorial Limusa. México, 2005.
3. Ara Arriola, Telésforo. **COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUELOS Y LOS MÉTODOS PARA ESTABILIZARLOS.** Trabajo de graduación, Ingeniero Civil. Guatemala, agosto del 2000.
4. Quintana Crespo, Enrique. **RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS Y LOS COMPONENTES PUZOLÁNICOS DE LOS SEDIMENTOS PAMPEANOS.** Tesis doctoral, Ingeniero Geólogo. Argentina, 2005.
5. Hernández Canales, Juan Carlos. **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS Y SUS MÉTODOS DE MEDICIÓN.** Trabajo de graduación, Ingeniero Civil. Guatemala, julio de 2008.
6. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES.** Libro Azul de Caminos. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Guatemala, 2001.



7. **MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO TRATADO CON CAL.**  
Estabilización y Modificación con Cal. Publicación de la National Lime Association. Enero 2004. (Traducción publicada en noviembre de 2006).

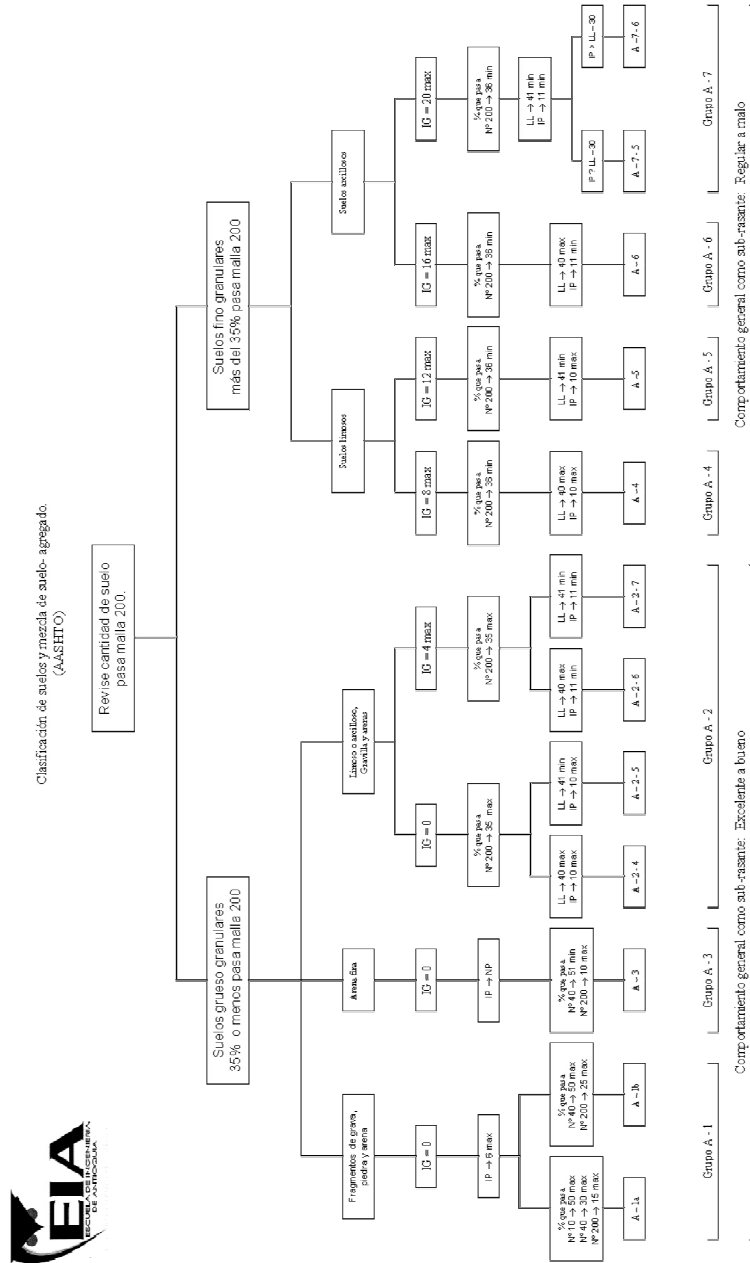
## REFERENCIA ELECTRÓNICA

8. [www.canadianlimeinstitute.ca/history.shtml](http://www.canadianlimeinstitute.ca/history.shtml)  
Instituto Canadiense de la Cal.  
Enero de 2008.
9. [www.imt.mx/sitioIMT/boletines](http://www.imt.mx/sitioIMT/boletines)  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Junio de 2008
10. [www.eia.edu.co/laboratorio/clasificacion.htm](http://www.eia.edu.co/laboratorio/clasificacion.htm)  
Escuela de Ingeniería de Antioquía, Colombia.  
Agosto de 2009.

# **ANEXOS**

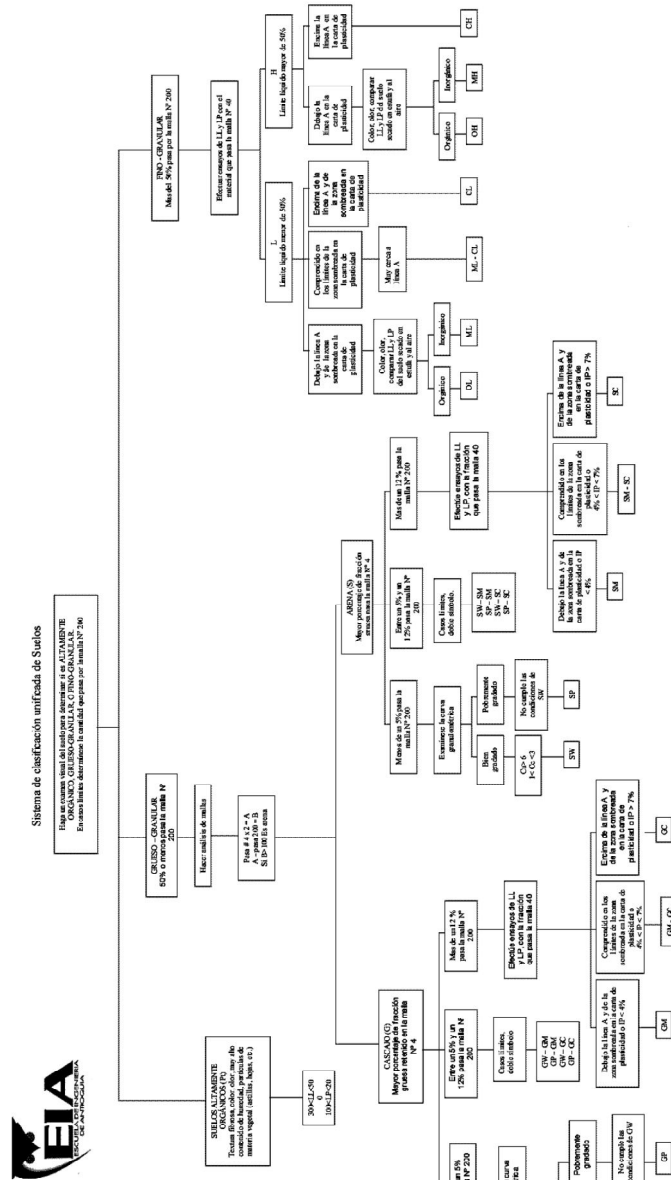


Figura 28. Cuadro de clasificación de suelos AASHTO.



Fuente. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Laboratorio de suelos. Sitio web: [www.suelos.eia.edu.co](http://www.suelos.eia.edu.co). Colombia 2009.

Figura 29. Cuadro de clasificación de suelos S.U.C.S.



Fuente. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Laboratorio de suelos. Sitio web: [www.suelos.eia.edu.co](http://www.suelos.eia.edu.co). Colombia 2009.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008769

INFORME No. 479 S.S.

O.T. No. 24,628

Interesado: Marta Liliانا Jimenez Gonzalez, carne 1997-13359.

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

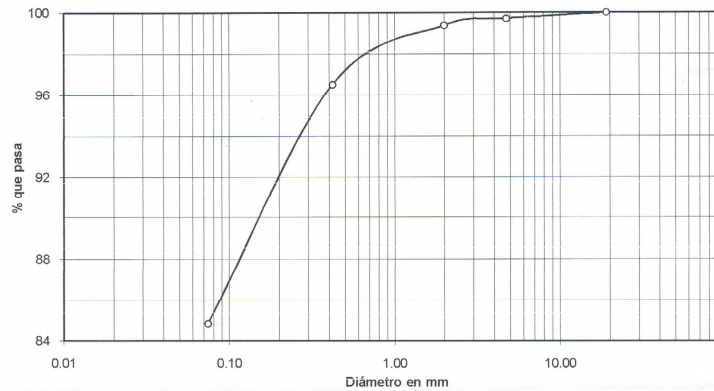
Proyecto: T. G., Evaluación de las Propiedades Mecánicas de Suelos de Grano Fino Estab. con Cal.

Procedencia: Villa Nueva, Guatemala.

Fecha: 18 de Noviembre de 2009.

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	99.71
10	2.00	99.39
40	0.42	96.53
200	0.074	84.86

% de Grava: 0.29  
% de Arena: 14.85  
% de Finos: 84.86



Descripción del suelo: Arcilla con presencia de pomez, color café. (0 % de cal)  
Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-7.6  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado. (Muestra 1)

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Médrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 008973

INFORME No 482 S. S. O.T.: 24,628

Interesado: Marta Liliana Jimenez Gonzalez, carne 1997-13359.  
Proyecto: T. G., Evaluacion de las Propiedades Mecanicas de Suelos de Grano Fino Estab. con Cal.  
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90  
Ubicación: Villa Nueva, Guatemala.  
FECHA: 18 de Noviembre de 2009.

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1-M1	49.38	19.26	CL	Arcilla, color café, 0% de Cal.
1	1-M1	53.58	14.75	CL	Arcilla, color café, 2% de Cal.
1	1-M1	54.94	10.29	CL	Arcilla, color café, 4% de Cal.
1	1-M1	55.29	4.91	CL	Arcilla, color café, 6% de Cal.

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,




Vo. Bo.

Ing. Telma Marcela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

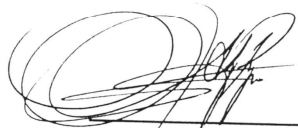


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

 <p>CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona 5 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com</p>		OT	13081
		FECHA	2009-05-29
		PÁGINA	3 DE 3
		ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	VILLA NUEVA
Dirección	.....	Muestra	SUELO ARCILLOSO
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s)	ALVARO RAMIREZ
Teléfono	.....	Fecha de Ensayo	2009-08-06

**INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO**  
**ANÁLISIS DE pH PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**  
 ASTM 6276

No.	Id. De Muestra	pH
1	SUELO ARCILLOSO	8.71
2	CAL HORCALSA	12.48
3	SUELO + 2% DE CAL HORCALSA	12.38
4	SUELO + 4% DE CAL HORCALSA	12.43
5	SUELO + 6% DE CAL HORCALSA	12.48

  
 Analista

  
 Ing. Mario de León.  
 Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES      PROYECTO: TESIS MARTA JIMÉNEZ

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.


SGL-CT-QC-IE-12/REV 02





## Laboratorio Central Centro Tecnológico

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente: <u>CENTRO TECNOLÓGICO</u>	OT: <u>11796</u>	Fecha: _____
Contacto: <u>ING. WILLIAM OLIVERO</u>	Fecha: <u>2008-10-13</u>	Impresión: <u>2009-02-11</u>
Muestra: <u>SUELO ARCILLOSO</u>	Laboratorio: <u>SUELOS</u>	 <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio
Procedencia: <u>COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA</u>	Analista: <u>JC</u>	
	Supervisor: <u>MDL</u>	

### ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA AASHTO T-180

DESCRIPCIÓN SUELO:	<u>ARCILLA COLOR CAFÉ</u>	
DENSIDAD SECA ÓPTIMA:	<u>1.56</u> t/m <sup>3</sup> .	<u>1555.0</u> kg/m <sup>3</sup> .
HUMEDAD ÓPTIMA %:	<u>17.6</u>	



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**



**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Ciente:	CENTRO TECNOLOGICO	OT:	11796	Fecha:	
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Fecha:	2008-10-13	Impresión:	2009-02-11
Muestra:	SUELO ARCILLOSO	Laboratorio:	SUELOS	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	
Procedencia:	COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA	Analista:	JC		
		Supervisor:	MDL		

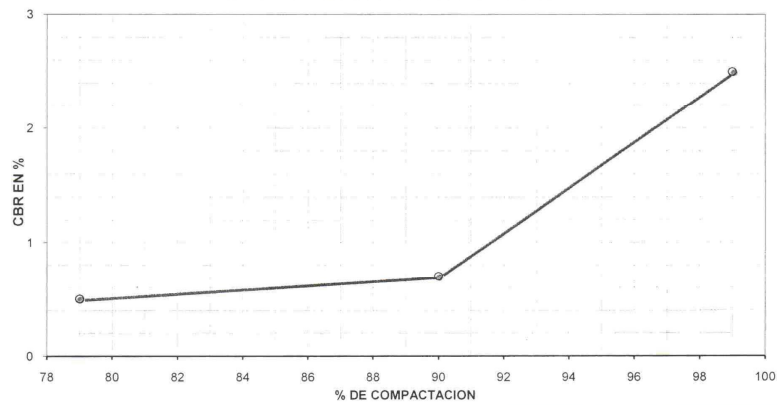
**ENSAYO DE PENETRACION-C B R NORMA  
AASHTO T-193**

**RESULTADOS:**

PROBETA	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C %	EXPANSION %	CBR %
		W (%)	$\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )			
1	10	17.6	1244.0	79.0	6	0.5
2	30	17.6	1414.2	90.0	5	0.7
3	65	17.6	1553.2	99.0	3	2.5


DESCRIPCION SUELO: ARCILLA COLOR CAFÉ



**ENSAYO DE PENETRACION - C B R**



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**


 <p><b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b>  <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b>          15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera          Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT: 11796-1											
		FECHA: 2009/10/13											
		PÁGINA: 1 DE 1											
		IMPRESIÓN: 2009/02/16											
Cliente:	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia:	COLONIA PRADOS DE VILLA NUEVA										
Dirección:		Muestra:	SUELO ARCILLOSO										
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s):	JC										
Teléfono:													
<b>RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b>													
ASTM C-1632 Y D-1633													
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros			Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (kN)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez		Material	
	Por	Lugar	Fecha Hechura				Fecha de Ruptura	Edad (dias)		Altura (mm)	Diametro (mm)		N/mm <sup>2</sup>
1	CETEC	CETEC	2009/01/05	2009/01/12	7	116.30	101.50	1.87	271	0.905	1.69	245	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFE
2	CETEC	CETEC	2009/01/05	2009/01/12	7	116.30	101.40	1.86	269	0.905	1.68	244	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFE
<b>Observaciones:</b>													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													

 <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT: 11796-1									
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono:		Procedencia: COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA Proyecto: TESIS Analista(s): JC Muestra: SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ		FECHA: 2009/01/13 PÁGINA: 1 DE 1									
RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO ASTM C-1632 Y D-1633				 Jefe de Laboratorio									
Toma de Cilindros													
ID. Muestra No.	Por	Lugar	Fecha Hechura	Fecha de Ruptura	Edad (dias)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (KN)	Resistencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia lb/pulg <sup>2</sup>	Material
1	CETEC	CETEC	2009/01/18	2009/01/25	7	101.60	116.60	1.758	8107.32	5.00	0.27	39	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
2	CETEC	CETEC	2009/01/18	2009/01/25	7	101.70	116.50	1.779	8123.29	5.00	0.27	39	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
Observaciones:													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													



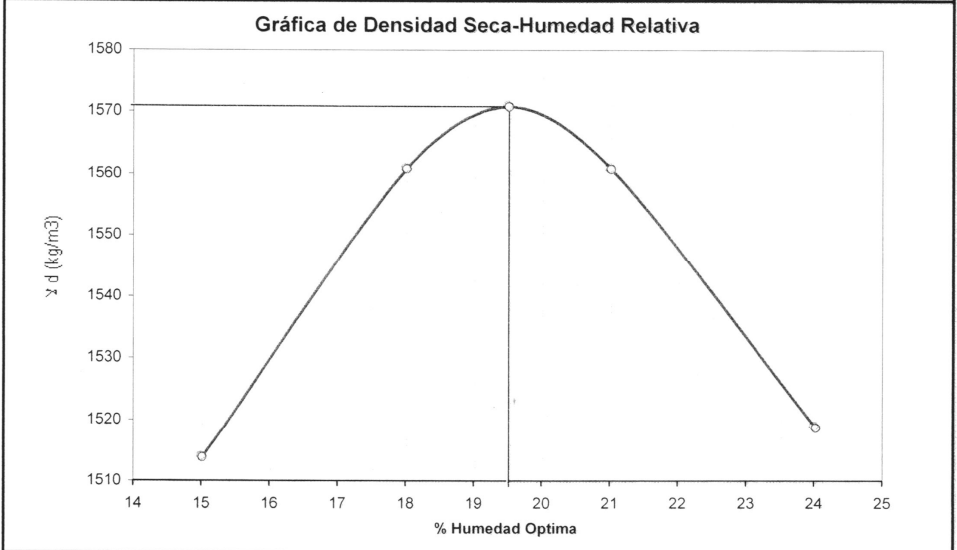
**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente:	CENTRO TECNOLOGICO	OT:	11796	Fecha:	
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Fecha:	2008-10-13	Impresión:	2009-02-11
Muestra:	SUELO ARCILLOSO	Laboratorio:	SUELOS	 <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio	
Procedencia:	COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA	Analista:	JC		
		Supervisor:	MDL		

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA  
AASHTO T-180**

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HORCALSA	
DENSIDAD SECA OPTIMA:	1.57 t/m <sup>3</sup> .	1571.0 kg/m <sup>3</sup> .
HUMEDAD OPTIMA %:	19.5	



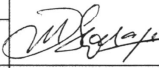
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**



**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente:	CENTRO TECNOLÓGICO	OT:	11796	Fecha:	
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Fecha:	2008-10-13	Impresión:	2009-02-11
Muestra:	SUELO ARCILLOSO	Laboratorio:	SUELOS		
Procedencia:	COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA	Analista:	JC		
		Supervisor:	MDL	Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	

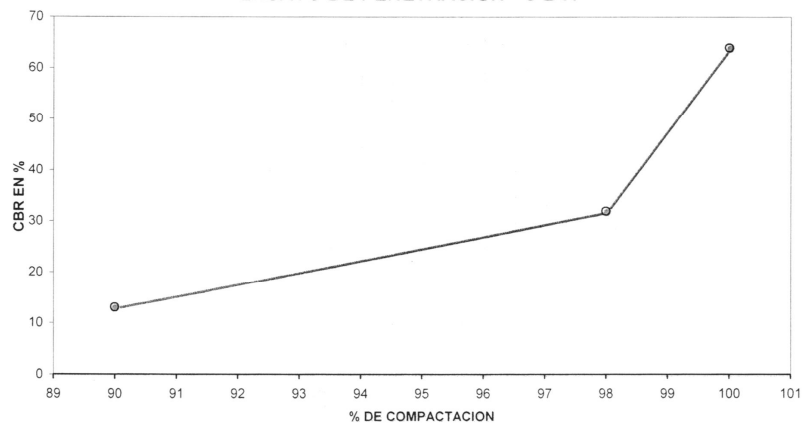
**ENSAYO DE PENETRACION-C B R NORMA  
AASHTO T-193**

**RESULTADOS:**

PROBETA	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C %	EXPANSION %	CBR %
		W (%)	γ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )			
1	10	19.5	1404.1	90.0	0.6	13.0
2	30	19.5	1541.2	98.0	0.4	32.0
3	65	19.5	1672.4	100.0	0.2	64.0

DESCRIPCION SUELO: ARCILLA COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HORCALSA

**ENSAYO DE PENETRACION - C B R**





Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**

Tecnología y Ensayos de Cementos y



 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181										OT:	11796-1		
										FECHA:	2009/01/13		
										PÁGINA:	1 DE 1		
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono:										 Ing. William Olivero Jefe de Laboratorio			
Procedencia: COLONIA PRADOS DE CASTILLA, VILLA NUEVA Proyecto: TESIS Analista(s): JC Muestra: SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA										X			
<b>RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b>										ASTM C-1632 Y D-1633			
ID. Muestra No.	Por	Toma de Cilindros			Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (KN)	Resistencia		Material
		Lugar	Fecha Hechura	Fecha de Ruptura							N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
1	CETEC	CETEC	2009/01/18	2009/01/25	7	101.30	116.50	1.699	8059.51	2.50	0.13	19	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
2	CETEC	CETEC	2009/01/18	2009/01/25	7	101.30	116.50	1.700	8059.51	2.60	0.14	20	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
<i>Observaciones:</i>													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



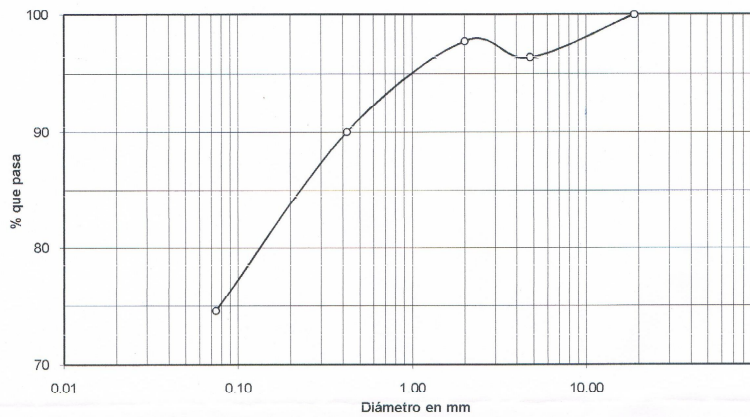
•Nº 008644

INFORME No. 480 S.S. O.T. No. 24,628

Interesado: Marta Liliana Jimenez Gonzalez, carne 1997-13359.  
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
Proyecto: T. G., Evaluación de las Propiedades Mecánicas de Suelos de Grano Fino Estab. con Cal.  
Procedencia: Coatepeque, Quetzaltenango.  
Fecha: 18 de Noviembre de 2009.

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	96.36
10	2.00	97.75
40	0.42	90.03
200	0.074	74.57

% de Grava: 3.64  
% de Arena: 21.79  
% de Finos: 74.57



Descripción del suelo: Arcilla con presencia de pomez, color café claro. (0% de Cal)  
Clasificación: S.C.U.: CH P.R.A.: A-7-6  
Observaciones: Muestra tomada por el interesado. (Muestra 2)

Atentamente,

Vo. Bo.  
Ing. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 003487

INFORME No. 483 S. S. O.T.: 24,628

Interesado: Marta Liliana Jimenez Gonzalez, carne 1997-13359.  
Proyecto: T. G., Evaluacion de las Propiedades Mecanicas de Suelos de Grano Fino Estab. con Cal.  
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90  
Ubicación: Coatepeque, Quetzaltenango.  
FECHA: 18 de Noviembre de 2009.

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1-M2	53.30	17.34	CH	Arcilla, color café claro, 0% de Cal.
1	1-M2	55.61	11.72	CH	Arcilla, color café claro, 2% de Cal.
1	1-M2	56.02	7.95	CH	Arcilla, color café claro, 4% de Cal.
2	1-M3	55.95	3.61	CH	Arcilla, color café claro, 6% de Cal.

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Ing. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



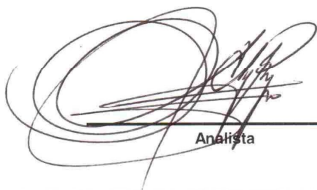
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos


	CEMENTOS PROGRESO S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	<b>13081</b>
			FECHA	2009-05-29
			PÁGINA	1 DE 3
			ÁREA DE LAB.	<b>QC</b>
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	COATEPEQUE	
Dirección	-----	Muestra	SUELO ARCILLOSO	
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s)	ALVARO RAMÍREZ	
Teléfono	-----	Fecha de Ensayo	2009-08-06	

**INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO**

**ANÁLISIS DE pH PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**  
**ASTM 6276**

No.	Id. De Muestra	pH
1	SUELO ARCILLOSO	7.45
2	CAL HORCALSA	12.53
3	SUELO + 2% DE CAL HORCALSA	12.09
4	SUELO + 4% DE CAL HORCALSA	12.45
5	SUELO + 6% DE CAL HORCALSA	12.46

  
 Analista

  
 Ing. Mario de León.  
 Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES


PROYECTO: TESIS MARTA JIMÉNEZ

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-QC-IE-12/REV 02

**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

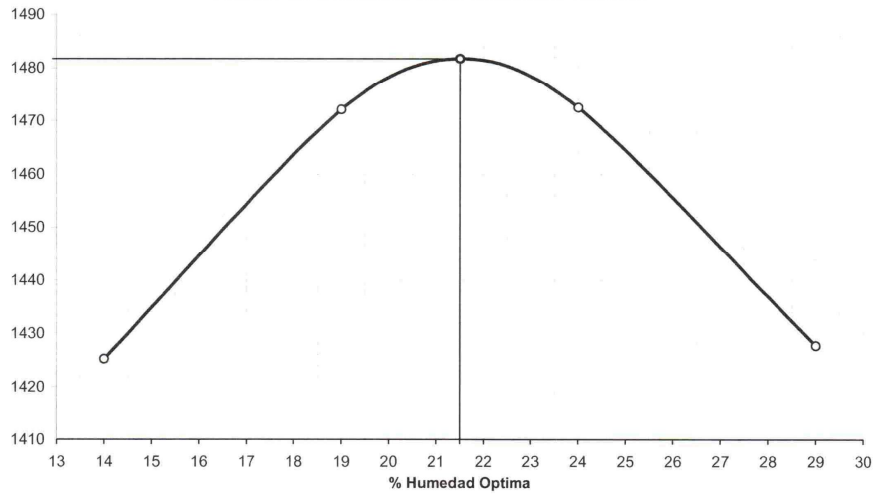
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente: CENTRO TECNOLOGICO	OT: 13081-1	Fecha
Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO	Fecha: 2009/05/29	Impresión: 2009/06/15
Muestra: SUELO ARCILLOSO	Laboratorio: SUELOS	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio
Procedencia: COATEPEQUE	Analista: ER/JC	

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA  
AASHTO T-180**

DESCRIPCION SUELO: SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
DENSIDAD SECA OPTIMA: 1.48 t/m <sup>3</sup> 1481.7 kg/m <sup>3</sup> .
HUMEDAD OPTIMA %: 21.5

**Gráfica de Densidad Seca-Humedad Relativa**




Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**

**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente:	CENTRO TECNOLOGICO	OT:	13081-1	Fecha:	
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Fecha:	2009/05/26	Impresión:	2009/06/15
Muestra:	SUELO ARCILLOSO	Laboratorio:	SUELOS	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	
Procedencia:	COATEPEQUE	Analista:	ER/JC		

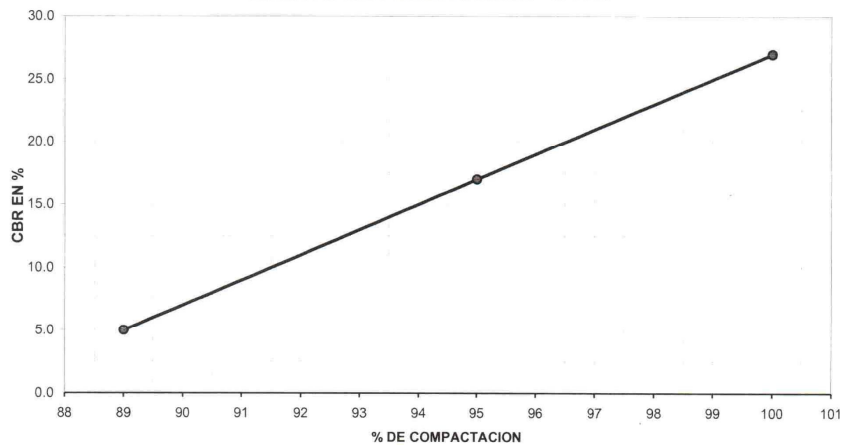
**ENSAYO DE PENETRACION-C B R NORMA  
AASHTO T-193**

**RESULTADOS:**

PROBETA	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C %	EXPANSION %	CBR %
		W (%)	d √ d (kg/m <sup>3</sup> )			
1	10	21.5	1321.8	89	0.8	5.0
2	30	21.5	1410.5	95	0.7	17.0
3	65	21.5	1481.6	100	0.5	27.0



DESCRIPCION SUELO: SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ



**ENSAYO DE PENETRACION - C B R**



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado

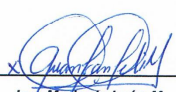
**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**

 <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT: 13081-1 FECHA: 2009/05/29 PÁGINA: 1 DE 4 IMPRESIÓN: 2009/07/01														
<b>Cliente:</b> CENTRO TECNOLÓGICO <b>Dirección:</b> <b>Contacto:</b> ING. WILLIAM OLIVERO <b>Teléfono:</b>	<b>Procedencia:</b> COATEPEQUE <b>Muestra:</b> SUELO ARCILLOSO <b>Analista(s):</b> J.C/ER <b>Proyecto:</b> TESIS MARTHA JIMENEZ	 Ing. María del León M. Jefe de Laboratorio														
<b>RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b>																
ASTM C-1632 Y D-1633																
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros		Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (KN)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez		Material		
	Por	Lugar							Fecha Hechura	Fecha Ruptura		N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>
1	CETEC	CETEC	2009/05/29	2009/06/05	7	101.80	117.10	1.766	8139.27	6.20	0.76	110	0.905	0.69	100	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFE
2	CETEC	CETEC	2009/05/29	2009/06/05	7	102.00	117.10	1.734	8171.28	6.40	0.78	114	0.905	0.71	103	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFE
<b>Observaciones:</b>																
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.																

 <p><b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b>  <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b>          15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera          Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>		OT: 13081										
		FECHA: 2009/05/29										
		PÁGINA: 1 DE 4										
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: COATEPEQUE Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono: SUELO ARCILLOSO Muestra: ERJUC Analista(s): TESIS MARTHA JIMENEZ Proyecto:		 Ing. María de León M. Jefe de Laboratorio										
<b>RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b>												
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros		Edad (días)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (KN)	Resistencia		Material	
	Por	Lugar							Fecha de Hechura	Fecha de Ruptura		N/mm <sup>2</sup>
1	CETEC	CETEC	2009/05/29	2009/06/05	7	101.70	117.10	1.745	8123.29	0.00	0	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
2	CETEC	CETEC	2009/05/29	2009/06/05	7	101.90	116.90	1.745	8155.27	0.00	0	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
Observaciones:												
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.												

**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

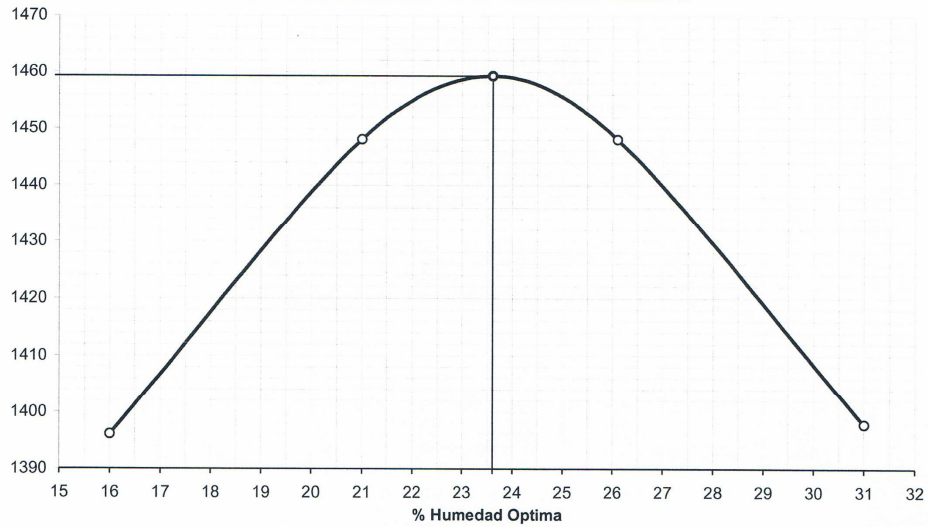
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliete:	<u>CENTRO TECNOLOGICO</u>	OT:	<u>13081-1</u>	Fecha	
Contacto:	<u>ING. WILLIAM OLIVERO</u>	Fecha:	<u>2009/05/29</u>	Impresión:	<u>2009/06/15</u>
Muestra:	<u>SUELO ARCILLOSO</u>	Laboratorio:	<u>SUELOS</u>	 <b>Ing. Mario de León M.</b> Jefe de Laboratorio	
Procedencia:	<u>COATEPEQUE</u>	Analista:	<u>ER/JC</u>		

**ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA  
AASHTO T-180**

DESCRIPCION SUELO:	<u>SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HORCALSA</u>				
DENSIDAD SECA OPTIMA:	<u>1.46</u>	<u>t/m³.</u>	<u>1459.3</u>	<u>kg/m³.</u>	
HUMEDAD OPTIMA %:	<u>23.6</u>				

**Gráfica de Densidad Seca-Humedad Relativa**




Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**



**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Ciente:	<u>CENTRO TECNOLOGICO</u>	OT:	<u>13081-1</u>	Fecha	
Contacto:	<u>ING. WILLIAM OLIVERO</u>	Fecha:	<u>2009/05/26</u>	Impresión:	<u>2009/06/15</u>
Muestra:	<u>SUELO ARCILLOSO</u>	Laboratorio:	<u>SUELOS</u>	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	
Procedencia:	<u>COATEPEQUE</u>	Analista:	<u>ER/JC</u>		

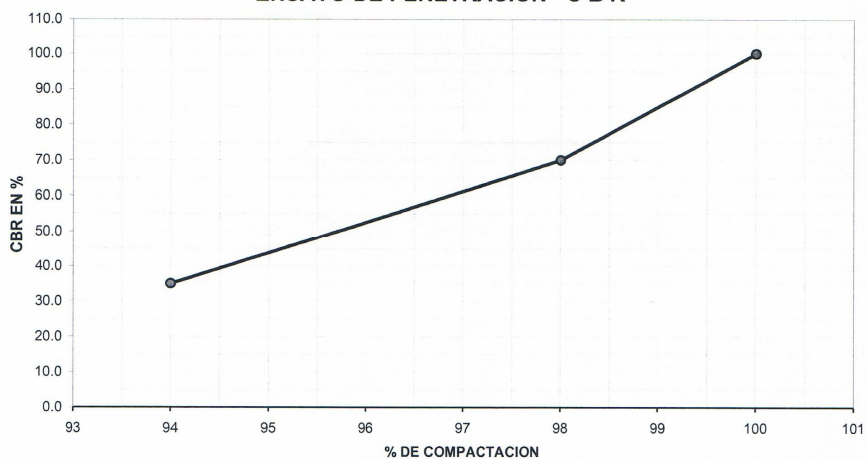
**ENSAYO DE PENETRACION-C B R NORMA  
AASHTO T-193**

**RESULTADOS:**

PROBETA	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C %	EXPANSION %	CBR %
		W (%)	d y d (kg/m <sup>3</sup> )			
1	10	23.6	1373.0	94	0.1	35.0
2	30	23.6	1431.2	98	0.0	70.0
3	65	23.6	1466.0	100	0.0	100.0



DESCRIPCION SUELO: SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HORCALSA



**ENSAYO DE PENETRACION - C B R**



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**

 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:		13081-1										
		FECHA:		2009/05/29										
		PÁGINA:		4 DE 4										
		IMPRESIÓN:		2009/07/01										
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: COATEPEQUE Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono:		Muestra: SUELO ARCILLOSO Analista(s): JCIER Proyecto: TESIS MARTHA JIMENEZ		Ing.  Mario de León M. Jefe de Laboratorio										
ASTM C-1632 Y D-1633														
<b>RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b>														
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros		Edad (días)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (kNf)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez		Material
	Por	Lugar							Fecha Hechura	Fecha Ruptura		N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
1	CETEC	CETEC	2009/06/19	2009/06/26	101.50	116.80	8091.37	22.50	2.78	403	0.909	2.53	367	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
2	CETEC	CETEC	2009/06/19	2009/06/26	101.40	116.90	8075.43	22.40	2.77	402	0.909	2.52	366	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
Observaciones:														
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.														

 <p><b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b>  <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b>          15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera          Tel: 22864178 Fax: 22864181</p>										OT:	13081		
										FECHA:	2009/05/29		
										PÁGINA:	4 DE 4		
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: COATEPEQUE Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono: TESIS MARTHA JIMENEZ										 Ing. Mario de León M. / Jefe de Laboratorio			
<b>RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b>													
ID. Muestra No.	Por	Toma de Cilindros			Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (kNf)	Resistencia		Material
		Lugar	Fecha Hechura	Fecha de Ruptura							N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	
1	CETEC	CETEC	2009/06/19	2009/06/26	7	101.60	116.60	1.748	8107.32	3.90	0.21	30	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
2	CETEC	CETEC	2009/06/19	2009/06/26	7	101.60	116.80	1.759	8107.32	4.00	0.21	31	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
<b>Observaciones:</b>													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**Nº 003393**

INFORME No. 481 S.S.

O.T. No. 24,628

Interesado: Marta Liliana Jimenez Gonzalez, carne 1997-13359.

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11

Proyecto: T. G., Evaluación de las Propiedades Mecánicas de Suelos de Grano Fino Estab. con Cal.

Procedencia: Zona 12, Guatemala.

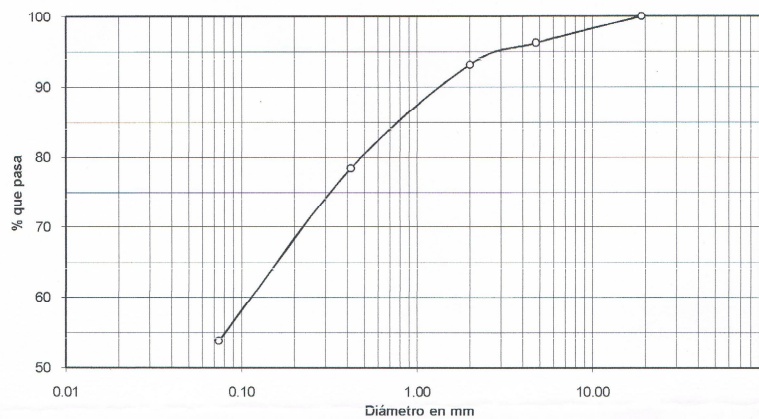
Fecha: 18 de Noviembre de 2009.

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	100.00
4	4.76	96.21
10	2.00	93.19
40	0.42	78.52
200	0.074	53.84

% de Grava: 3.79

% de Arena: 42.37

% de Finos: 53.84



Descripción del suelo: Arcilla con presencia de pomez, color café oscuro. (0 % de Cal)

Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-5

Observaciones: Muestra tomada por el interesado. (Muestra 3)

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Telma Maripela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 003488

INFORME No. 484 S. S. O.T.: 24,628

Interesado: Marta Liliana Jimenez Gonzalez, carne 1997-13359.  
Proyecto: T. G., Evaluacion de las Propiedades Mecanicas de Suelos de Grano Fino Estab. con Cal.  
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90  
Ubicación: zona 12, Guatemala.  
FECHA: 18 de Noviembre de 2009.

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1-M3	46.42	12.35	ML	Arcilla, color café oscuro, 0% de Cal.
1	1-M3	46.18	10.73	ML	Arcilla, color café oscuro, 2% de Cal.
1	1-M3	45.21	7.35	ML	Arcilla, color café oscuro, 4% de Cal.
2	1-M4	0	0 *	ML	Arcilla, color café oscuro, 6% de Cal.

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

\*

NOTA: LA MEZCLA DE SUELO ARCILLOSO CON 6% DE CAL PRESENTA UN SUELO DE TEXTURA ARENOSA, POR LO QUE NO ES POSIBLE DETERMINAR LOS LIMITES DE CONSISTENCIA.

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medraño Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



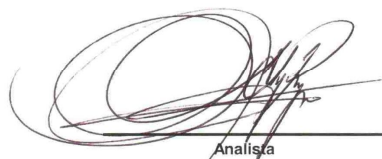
	CEMENTOS PROGRESO S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 cetec@cempro.com		OT	13081
			FECHA	2009-05-29
			PÁGINA	2 DE 3
			ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO TECNOLÓGICO	Procedencia	ZONA 12	
Dirección	-----	Muestra	SUELO ARCILLOSO	
Contacto	ING. WILLIAM OLIVERO	Analista(s)	ALVARO RAMÍREZ	
Teléfono	-----	Fecha de Ensayo	2009-08-06	

**INFORME DE ENSAYO LABORATORIO QUÍMICO**

**ANÁLISIS DE pH PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

**ASTM 6276**

No.	Id. De Muestra	pH
1	SUELO ARCILLOSO	8.86
2	SUELO + 2% DE CAL HORCALSA	11.08
3	SUELO + 4% DE CAL HORCALSA	12.03
4	SUELO + 6% DE CAL HORCALSA	12.34

  
 Analista

  
 Ing. Mario de León.  
 Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

PROYECTO: TESIS MARTA JIMÉNEZ

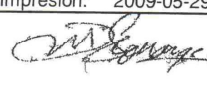
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

SGL-CT-QC-IE-12/REV 02



## Laboratorio Central Centro Tecnológico

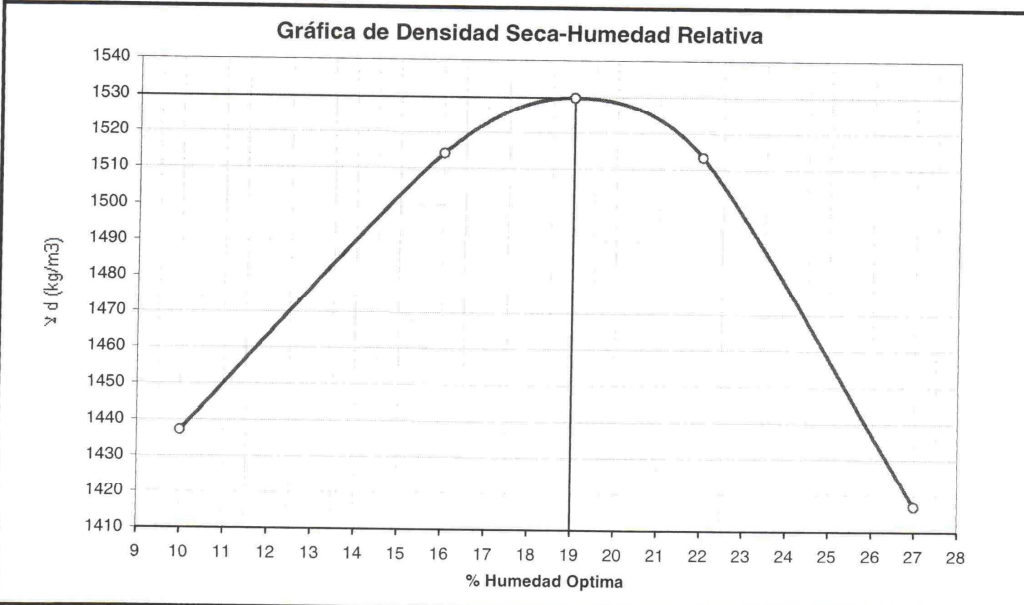
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente: <u>CENTRO TECNOLOGICO</u>	OT: <u>11796-2</u>	Fecha: _____
Contacto: <u>ING. WILLIAM OLIVERO</u>	Fecha: <u>2008-10-13</u>	Impresión: <u>2009-05-29</u>
Muestra: <u>SUELO ARCILLOSO</u>	Laboratorio: <u>SUELOS</u>	
Procedencia: <u>ZONA 12</u>	Analista: <u>ER</u> Supervisor: <u>MDL</u>	

Ing. Mario de León M.  
Jefe de Laboratorio

### ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA AASHTO T-180

DESCRIPCION SUELO: ARCILLA COLOR CAFÉ  
 DENSIDAD SECA OPTIMA: 1.53 t/m<sup>3</sup>. 1529.8 kg/m<sup>3</sup>.  
 HUMEDAD OPTIMA %: 19.0



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**



**Laboratorio Central  
Centro Tecnológico**

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente:	CENTRO TECNOLOGICO	OT:	11796-2	Fecha	
Contacto:	ING. WILLIAM OLIVERO	Fecha:	2008-10-13	Impresión:	2009-05-29
Muestra:	SUELO ARCILLOSO	Laboratorio:	SUELOS		
Procedencia:	ZONA 12	Analista:	JC		
		Supervisor:	MDL	Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio	

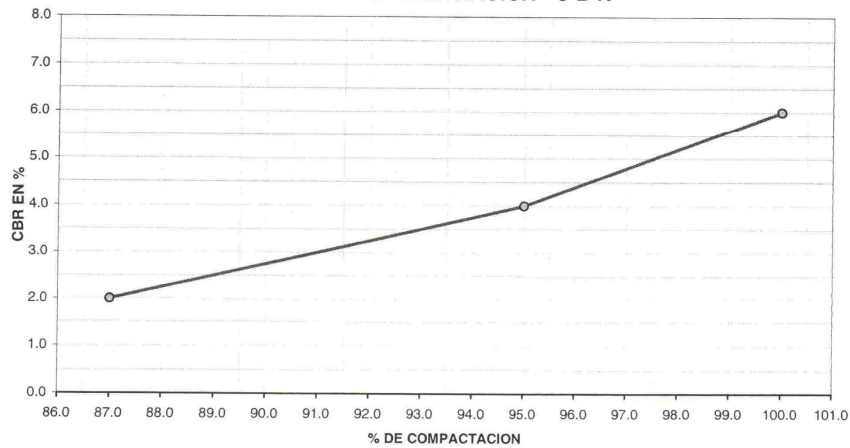
**ENSAYO DE PENETRACION-C B R NORMA  
AASHTO T-193**

**RESULTADOS:**

PROBETA	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C %	EXPANSION %	CBR %
		W (%)	d y d (kg/m <sup>3</sup> )			
1	10	19.0	1329.4	87.0	4	2.0
2	30	19.0	1458.3	95.0	3	4.0
3	65	19.0	1530.8	100.0	2	6.0

DESCRIPCION SUELO: ARCILLA COLOR CAFÉ


**ENSAYO DE PENETRACION - C B R**





Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**



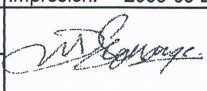
 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT: 11796-2 FECHA: 2008-10-13 PÁGINA: 1 DE 1 IMPRESIÓN: 2009-05-29													
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: ZONA 12 Contacto: ING. WILLIAM OLIVERO Teléfono:		Procedencia: SUELO ARCILLOSO Muestra: ER Analista(s): TESIS MARTHA JIMENEZ Proyecto:													
<b>RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b> <small>ASTM C-1632 Y D-1633</small>															
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros			Edad (días)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (KN)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez		Material
	Por	Lugar	Fecha Hechura							Fecha de Ruptura	N/mm <sup>2</sup>		lb/pulg <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1	CETEC	CETEC	2009-04-30	2009-05-07	101.50	117.20	1.733	8091.37	12.50	1.54	224	0.905	1.40	203	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFE
2	CETEC	CETEC	2009-04-30	2009-05-07	101.60	117.60	1.736	8075.43	12.40	1.54	223	0.905	1.39	202	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFE
Observaciones:															
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.															

		<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT: 11796-2								
CENTRO TECNOLÓGICO		ZONA 12		FECHA: 2008-10-13								
CIENTE:		PROCEDENCIA:		PÁGINA: 1 DE 4								
DIRECCIÓN:		MUESTRA:		 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio								
CONTACTO:		ANALISTA(S):										
TELÉFONO:		PROYECTO:										
<b>RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b> ASTM C-1632 Y D-1633												
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros			Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (kNf)	Resistencia		Material
	Por	Lugar	Fecha Hechura							Fecha de Ruptura	N/mm <sup>2</sup>	
1	CETEC	CETEC	2009-04-30	2009-05-07	7	101.80	1.722	8139.27	1.40	0.07	11	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
2	CETEC	CETEC	2009-04-30	2009-05-07	7	101.70	1.742	8123.29	1.50	0.08	12	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ
<b>Observaciones:</b>												
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.												



## Laboratorio Central Centro Tecnológico

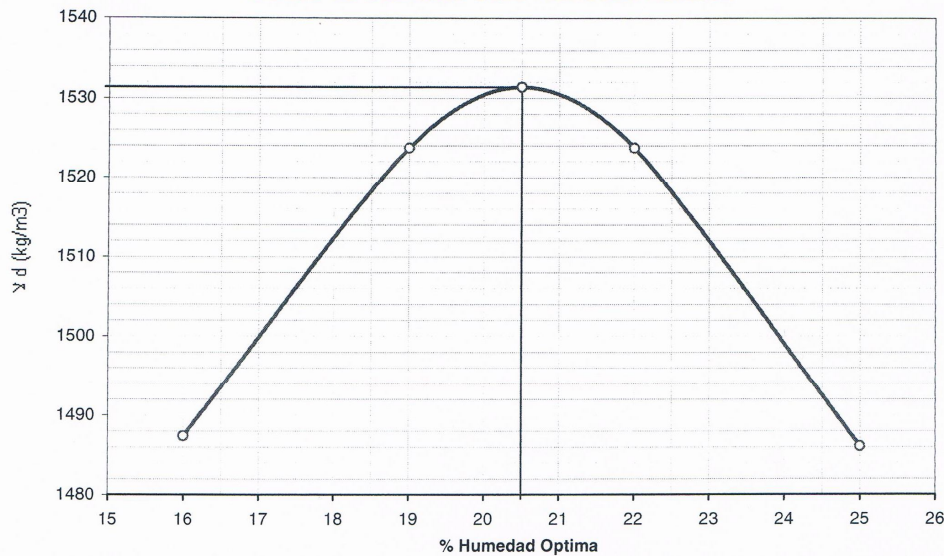
15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente: <u>CENTRO TECNOLOGICO</u>	OT: <u>11796-2</u>	Fecha: <u>2008-10-13</u>
Contacto: <u>ING. WILLIAM OLIVERO</u>	Fecha: <u>2008-10-13</u>	Impresión: <u>2009-05-29</u>
Muestra: <u>SUELO ARCILLOSO</u>	Laboratorio: <u>SUELOS</u>	 <i>Ing. Mario de León M.</i> Jefe de Laboratorio
Procedencia: <u>ZONA 12</u>	Analista: <u>JC</u>	
	Supervisor: <u>MDL</u>	

### ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO NORMA AASHTO T-180

DESCRIPCION SUELO: <u>ARCILLA COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HORCALSA</u>	
DENSIDAD SECA OPTIMA: <u>1.53</u> t/m <sup>3</sup> .	<u>1531.4</u> kg/m <sup>3</sup> .
HUMEDAD OPTIMA %: <u>20.5</u>	

**Gráfica de Densidad Seca-Humedad Relativa**



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**

Tecnología y Ensayos de Cementos y Conci



## Laboratorio Central Centro Tecnológico

15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
Tel: 22864178 Fax: 22864181

Cliente: <u>CENTRO TECNOLOGICO</u>	OT: <u>11796-2</u>	Fecha:
Contacto: <u>ING. WILLIAM OLIVERO</u>	Fecha: <u>2008-10-13</u>	Impresión: <u>2009-05-29</u>
Muestra: <u>SUELO ARCILLOSO</u>	Laboratorio: <u>SUELOS</u>	
Procedencia: <u>ZONA 12</u>	Analista: <u>JC</u> Supervisor: <u>MDL</u>	

*Ing. Mario de León M.*  
Jefe de Laboratorio

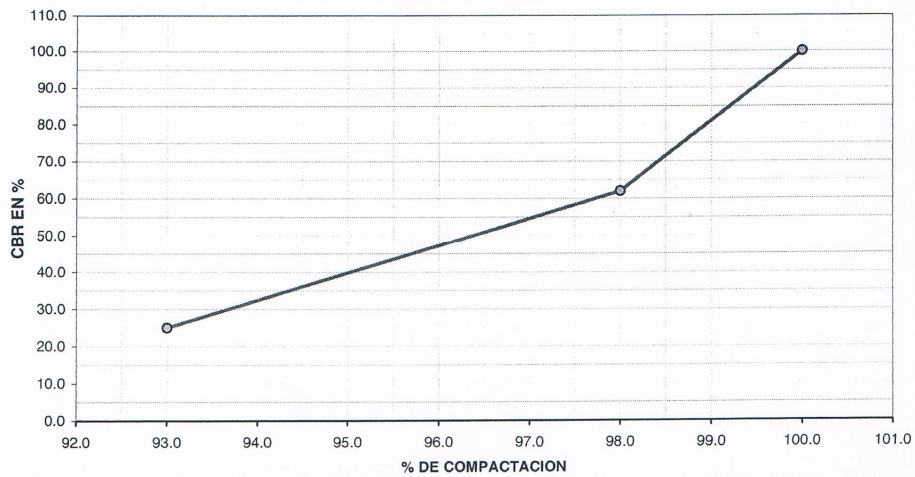
### ENSAYO DE PENETRACION-C B R NORMA AASHTO T-193

#### RESULTADOS:

PROBETA	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C %	EXPANSION %	CBR %
		W (%)	d γ d (kg/m <sup>3</sup> )			
1	10	20.5	1420.3	93.0	0	25.0
2	30	20.5	1503.8	98.0	0	62.0
3	65	20.5	1539.6	100.0	0	100.0

DESCRIPCION SUELO: ARCILLA COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HORCALSA

#### ENSAYO DE PENETRACION - C B R



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

**Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.**



**CEMENTOS PROGRESO S. A.**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera  
 Tel: 22864178 Fax: 22864181

OT: 11796-2  
 FECHA: 2008-10-13  
 PÁGINA: 1 DE 1  
 IMPRESIÓN: 2009-05-29

CENTRO TECNOLÓGICO

Procedencia: ZONA 12

Muestra: SUELO ARCILLOSO

Analista(s): JC/ER

ING. WILLIAM OLIVERO

Proyecto: TESIS MARTHA JIMENEZ

*William Olivero*

Ing. Mario de León M.

Jefe de Laboratorio


RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO

ASTM C-1632 Y D-1633

ID. Muestra No.	Toma de Cilindros			Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (kN)	Resistencia		Factor de Corrección	Corregida por esbeltez		Material
	Por	Lugar	Fecha Hechura							Fecha de Ruptura	N/mm <sup>2</sup>		lb/pulg <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
1	CETEC	CETEC	2009-01-18	2009-01-25	100.30	117.00	1.737	7901.18	15.90	2.01	292	0.909	1.83	265	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
2	CETEC	CETEC	2009-01-18	2009-01-25	100.30	117.00	1.752	7901.18	16.00	2.03	294	0.909	1.84	267	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA

Observaciones:

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.

 <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181										OT:	11796-2		
										FECHA:	2008-10-13		
										PÁGINA:	4 DE 4		
Cliente: CENTRO TECNOLÓGICO Dirección: SUELO ARCILLOSO Contacto: ING. WILLIAM OLVERO Teléfono:										Procedencia: ZONA 12 Muestra: SUELO ARCILLOSO Analista(s): JC/JF Proyecto: TESIS MARTHA JIMENEZ			
										Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio			
<b>RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA DE CILINDROS DE SUELO ESTABILIZADO</b> ASTM C-1632 Y D-1633													
ID. Muestra No.	Toma de Cilindros			Edad (días)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Max. (kNf)	Resistencia		Material	
	Por	Lugar	Fecha Hechura							Fecha de Ruptura	N/mm <sup>2</sup>		lb/pulg <sup>2</sup>
1	CETEC	CETEC	2009-05-19	2009-05-26	7	101.90	116.70	1.775	8155.27	2.80	0.15	22	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
2	CETEC	CETEC	2009-05-19	2009-05-26	7	101.90	117.00	1.771	8155.27	2.70	0.14	21	SUELO ARCILLOSO COLOR CAFÉ CON EL 6% DE CAL HIDRATADA TIPO ESPECIAL HORCALSA
<b>Observaciones:</b>													
Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del CETEC.													