



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

**DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES  
MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO  
CON CEMENTO TIPO UG Y CEMENTO ARI**

**Ludwing Benjamin López Manrique**

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES  
MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO  
CON CEMENTO TIPO UG Y CEMENTO ARI**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUDWING BENJAMIN LÓPEZ MANRIQUE**

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MENDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO TIPO UG Y CEMENTO ARI**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 octubre de 2012.

  
**Ludwing Benjamin López Manrique**

Guatemala, 5 de Agosto de 2015

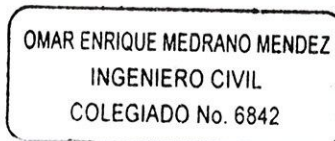
Ingeniero  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Ingeniero Ordoñez:

Al saludarle cordialmente, me dirijo a usted para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de graduación titulado: " **DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO TIPO UG Y CEMENTO ARI** " elaborado por el estudiante Ludwing Benjamin Lopez Manrique con carné 9616504, tema para el cual fui asignado como asesor.

Considero que se han cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo, por lo que recomiendo se apruebe en el entendido de que el autor y el suscrito son los responsables de lo tratado y de las conclusiones del mismo.

Atentamente,



  
Omar Enrique Medrano Méndez  
Ingeniero Civil  
Colegiado N° 6,842



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
 16 de octubre de 2015

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO TIPO U. G. Y CEMENTO ARI.**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Ludwing Benjamin López Marriquet**, quien contó con la asesoría del **Ing. Omar Enrique Medrano Méndez**.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
 Coordinador del Área de Materiales y  
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
 AREA DE MATERIALES Y  
 CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez, al trabajo de graduación del estudiante Ludwing Benjamín López Manrique, titulado DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO TIPO UG Y CEMENTO ARI, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2015

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN SUELO ARENO LIMOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO TIPO UG Y CEMENTO ARI**, presentado por el estudiante universitario: **Ludwing Benjamín López Manrique**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, noviembre de 2015

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por permitir alcanzar otra meta en mi vida y poderla compartir con mi familia.

### **Mis padres**

Carlos López y Emelina Manrique de López, por brindarme todo su apoyo y orientarme con disciplina y amor a lo largo de la vida.

### **Mi esposa**

Melissa Juárez, por ser un apoyo incondicional en mi vida.

### **Mi hija**

Diana Inés López Juárez, por ser mi inspiración para ser mejor cada día.

### **Mis hermanos**

Yuri, Cirsa y Luis López Manrique, por su apoyo incondicional.

### **Mis sobrinas**

Fátima, Sofía e Isabella López, con mucho cariño.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitir formar parte del grupo selecto de profesionales que ayudan a construir a una Guatemala mejor.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	En especial a la Escuela de Ingeniería Civil, por permitir formarme en sus aulas con ilustres catedráticos.
<b>Mi asesor de tesis</b>	Ingeniero Omar Medrado, por su apoyo en la realización de este trabajo.
<b>Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso</b>	Por el valioso apoyo y ayuda para este trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO .....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Resistencia a compresión.....	2
1.3. Usos .....	3
1.4. Componentes .....	3
1.4.1. Cemento hidráulico.....	3
1.4.1.1. Tipos de cemento hidráulico .....	3
1.4.1.2. Cementos hidráulicos adicionados .....	4
1.4.2. Suelo .....	5
1.4.2.1. Clasificación Sistema AASHTO .....	5
1.4.2.2. Clasificación sistema USCS .....	6
1.4.3. Agua .....	9
1.4.4. Control de calidad.....	10
1.4.5. Control de calidad en obra.....	10
2. CEMENTO HIDRÁULICO POR DESEMPEÑO.....	13
2.1. Definición.....	13
2.1.1. Componentes minerales.....	13

2.2.	Tipos de cemento hidráulico por desempeño.....	14
2.2.1.	Cemento de uso general UG.....	15
2.2.2.	Cemento de alta resistencia inicial ARI.....	15
2.3.	Características .....	15
2.3.1.	Químicas .....	15
2.3.2.	Físicas y mecánicas .....	15
2.3.2.1.	Peso específico .....	16
2.3.2.2.	Finura .....	16
2.3.2.2.1.	Superficie específica .....	17
2.3.2.2.2.	Finura tamiz núm. 325 ..	17
2.3.2.3.	Consistencia normal.....	17
2.3.2.4.	Fraguado del cemento .....	17
2.3.2.5.	Falso fraguado .....	18
2.3.2.6.	Estabilidad de volumen .....	18
2.3.2.7.	Resistencia mecánica .....	18
2.4.	Normas y ensayos aplicables.....	18
3.	MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND .....	21
3.1.	Método detallado para diseño de suelos con cemento .....	21
3.2.	Método corto para el diseño de suelos tratados con cemento .....	24
4.	ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS .....	33
4.1.	Reducción de muestra a tamaño de laboratorio, Norma técnica Guatemalteca NTG 41010 h11, AASHTO T- 248, ASTM C-702 .....	33
4.2.	Peso unitario, Norma AASHTO T – 19.....	35
4.3.	Análisis granulométrico por tamizado, Norma AASHTO T – 311 .....	35

4.4.	Relación humedad óptima-densidad máxima (proctor modificado), Norma AASHTO T - 180, ASTM D -1557.....	36
4.5.	Ensayo de penetración – CBR, Norma AASHTO T – 193, ASTM D-1883.....	36
4.6.	Límites de Atterberg, Norma AASHTO T - 89 y T-90 .....	36
4.7.	Resistencia a mojado y secado, Norma AASHTO T – 135, ASTM D-559.....	37
4.8.	Hechura y ensayo a compresión no confinada, Normas ASTM C - 1632, 1633.....	38
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	39
5.1.	Campo de estudio .....	39
5.2.	Caracterización de la materiales .....	39
5.2.1.	Cementos .....	39
5.3.	Suelo .....	43
6.	COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE EL CEMENTO TIPO UGC Y EL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL ARI .....	49
6.1.	Comparación técnica.....	49
6.2.	Comparación económica.....	50
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
7.1.	Cemento.....	51
7.1.1.	Fraguado Vicat .....	51
7.1.2.	Resistencia a compresión en morteros de cemento.....	52
7.1.3.	Finura por tamiz núm. 325.....	52
7.2.	Suelo .....	52
7.3.	Resistencia a compresión.....	53

7.4. Resistencia raspado seco – mojado.....	53
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES .....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	61



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Carta de plasticidad.....	7
2.	Peso volumétrico máximo promedio .....	25
3.	Contenido de cemento .....	26
4.	Resistencia a la compresión simple .....	27
5.	Peso volumétrico máximo promedio .....	29
6.	Contenido de cemento en peso .....	30
7.	Resistencia a la compresión mínima permisible .....	31
8.	Divisor de muestras pequeño.....	33
9.	Cuardeos sobre superficie dura, limpia y nivelada.....	34
10.	Curva granulométrica.....	35
11.	Resultados de resistencia a compresión del cemento tipo UGC.....	40
12.	Resultados a compresión del cemento tipo ARI.....	42
13.	Gráfico de comparación de resistencias de cementos ARI –UGC .....	43
14.	Gráfica del ensayo de penetración CBR .....	46

### TABLAS

I.	Contenido de cemento aproximados para proyectar las mezclas de suelo-cemento según la PCA.....	22
II.	Máxima pérdida permisible en las pruebas de durabilidad recomendada por la PCA .....	23
III.	Resultados físicos del cemento UGC.....	41
IV.	Resultados físicos del cemento tipo ARI .....	42

V.	Resultados de granulometría por tamizado .....	44
VI.	Resultados del ensayo de Proctor modificado .....	45
VII.	Resultados del ensayo de límites de Atterberg.....	45
VIII.	Resultados del ensayo de penetración CBR .....	46
IX.	Resultados de 2 especímenes ensayados a compresión a edad de 7 días .....	47
X.	Resultados de 2 especímenes ensayados a compresión a edad de 28 días .....	47
XI.	Resultados de especímenes sometidos a desgaste por medio de mojado-secado .....	48
XII.	Cálculo de porcentaje de cemento a utilizar .....	50
XIII.	Comparación económica .....	50
XIV.	Fraguado Vicat.....	51
XV.	Resistencia a compresión en mortero de cemento .....	52

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>ARI</b>	Alta resistencia inicial
<b>HS</b>	Alta resistencia a los sulfatos
<b>C</b>	Arcilla inorgánica, suelo arcilloso
<b>S</b>	Arena, suelo arenoso
<b>LH</b>	Bajo calor de hidratación
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>cm<sup>2</sup>/g</b>	Centímetro cuadrado sobre gramo
<b>gr</b>	Gramo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramo sobre centímetro cúbico
<b>G</b>	Grava, suelo gravoso
<b>HE</b>	<i>High early strength</i>
<b>Kcal/kg</b>	Kilocaloría sobre kilogramo
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
<b>KJ/kg</b>	Kilo Joule sobre kilogramo
<b>km</b>	Kilómetro
<b>lb</b>	Libra
<b>M</b>	Limo inorgánico, suelo limoso
<b>lb/pulg<sup>2</sup></b>	Libra por pulgada cuadrada
<b>psi</b>	Libra sobre pulgada cuadrada
<b>LC</b>	Límite de contracción
<b>LL</b>	Límite líquido

<b>LP</b>	Límite plástico
<b>m</b>	Metro, relación lado corto a lado largo de losas
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>mm</b>	Milímetros
<b>MS</b>	Moderada resistencia a los sulfatos
<b>MH</b>	Moderado calor de hidratación
<b>N/mm<sup>2</sup></b>	Newton sobre milímetro cuadrado
<b>O</b>	Orgánico, materia orgánica
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pulg</b>	Pulgada
<b>CBR</b>	Razón soporte California ( <i>California Bearing Ratio</i> )
<b>Pt</b>	Turba, lodos suelos altamente orgánicos
<b>UG</b>	Uso General

## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Official, Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.
<b>Ceniza volante</b>	Subproducto de la combustión del carbón pulverizado en plantas generadoras de electricidad.
<b>Cohesión</b>	Atracción mutua a través de la cual los elementos de una sustancia se mantienen unidos.
<b>Durabilidad</b>	Capacidad del concreto de cemento portland de resistir la acción de las intemperies y otras condiciones de servicio, tales como ataque químico, congelación-deshielo y abrasión.
<b>Escoria granulada de alto horno</b>	Es la escoria siderúrgica de alto horno, la cual es un cemento hidráulico no metálico, consistente en silicatos y aluminosilicatos de calcio.
<b>Fraguado</b>	Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.

<b>Humo de sílice</b>	Es un subproducto que se usa como una puzolana y es el resultado de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos eléctricos.
<b>Libro Azul</b>	Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos del Ministerio de Comunicaciones.
<b>PCA</b>	Portland Cement Association, Asociación de Cemento Portland.
<b>Picnómetro</b>	Recipiente de pequeñas dimensiones que se usa para determinar la densidad de un sólido o de un líquido.
<b>Piroclástico</b>	Flujo de fragmentos de alta densidad, suspendidos en gas y que fluyen montaña debajo de un agujero de alivio de un volcán.
<b>Reactividad álcali-agregado</b>	Es un deterioro que ocurre cuando los constituyentes minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de los álcalis en el concreto.
<b>Suelo-cemento</b>	Mezcla de suelo y una cantidad de cemento portland y agua, compactados hasta una densidad elevada, usada principalmente como material de base bajo los pavimentos. También conocido como suelo estabilizado con cemento.

## RESUMEN

En Guatemala, los bancos de materiales que están disponibles para la construcción de estructuras de pavimento, regularmente no cumplen con las especificaciones granulométricas. Estos se indican en el compendio de *Especificaciones generales de construcción de carreteras y puentes (Libro Azul)* de la Dirección General de Caminos. Muchos de estos bancos son arenosos los cuales se deben de mejorar mezclándolos con un porcentaje relativamente bajo de cemento.

La técnica de suelo-cemento sugiere alcanzar una resistencia en determinado tiempo. Cuando se trata de proyectos de carreteras se exige que la resistencia se alcance en determinado tiempo. Para esto es necesario evaluar el desempeño de los cementos que se ofrecen en el mercado y determinar cuál de estos es apto para cumplir las especificaciones necesarias en la construcción de carreteras, sin comprometer la calidad para que los proyectos duren el periodo para el cual fueron diseñados.





# OBJETIVOS

## General

Evaluar el desempeño mecánico de los cementos tipo Uso General (UG) y Alta Resistencia Inicial (ARI) para la estabilización de un suelo areno limoso.

## Específicos

1. Utilizar el método de la Asociación del Cemento Portland (PCA) para determinar las características físicas y propiedades mecánicas de un suelo areno limoso estabilizado con cemento tipo UG y cemento ARI.
2. Realizar una comparación técnica y económica entre el uso de cemento tipo UG y cemento de alta resistencia inicial ARI.
3. Evaluar el suelo estabilizado con cemento de acuerdo a las normas aplicables de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM).



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala se distribuyen varias marcas y tipos de cemento que cumplen con la Normativa Guatemalteca Coguanor NTG 41095 basada en los requisitos de la Norma ASTM C1157-09. Estos cementos han sido modificados con puzolanas y otros minerales para brindar diferentes desempeños en la construcción.

En el mercado guatemalteco existen dos tipos de cemento que son los más comercializados, siendo de Uso General en la Construcción (UGC) y de Alta Resistencia Inicial (ARI). Para decidir qué cemento utilizar en la estabilización de un suelo, es importante caracterizar las propiedades físicas de los suelos y las propiedades mecánicas que se obtienen con cada uno de estos cementos.

El tratamiento de suelos, con cemento, es una alternativa muy utilizada en la construcción de estructuras de pavimento. Esto debido a que es más rentable mejorar las características del suelo utilizando dicha técnica que transportar materiales que cumplen con granulometrías específicas.



# 1. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO

## 1.1. Definición

Es un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y granulares, cemento y agua. Esto se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas.

- Suelo mejorado o modificado con cemento: es una mezcla de suelo y una cantidad relativamente pequeña de cemento generalmente inferior al 2 % con respecto a su densidad máxima. Se añade con el objetivo de mejorar algunas propiedades del suelo, por ejemplo reducir los cambios volumétricos, incrementar el valor soporte o disminuir la plasticidad del suelo.
- Reciclado de asfalto con cemento: se trata de asfaltos flexibles agrietados o fisurados que han llegado al final del periodo de su vida útil de servicio. Será triturado y mezclado con un porcentaje de cemento logrando recuperar y aumentar la capacidad soporte y características mecánicas en general, y sirve como base o subbase en una estructura de pavimento.

Esta es una técnica económica y amigable con el medio ambiente, ya que no se utiliza material de aporte ni botaderos, pues se utilizan los materiales existentes en la carretera.

- Base de suelo cemento: es la capa formada por la combinación de suelos selectos generalmente de origen volcánico compuestos por pómez o arenas de río, incluyendo gravas en estado natural existentes en dichos suelos y cemento hidráulico. Está preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, y constituir una base integrante de un pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito.

## **1.2. Resistencia a compresión**

La resistencia a compresión del suelo estabilizado con cemento debe ser acorde a la estructura que esté especificada. Esto se puede utilizar como base y subbase.

Los resultados obtenidos dependen de varios factores tal como:

- El contenido y tipo de cemento.
- La energía de compactación aplicada.
- La eficiencia lograda en el mezclado.
- El tipo y cantidad de materia orgánica, sales y materiales existentes en el suelo.
- La cantidad y calidad del agua.
- El tiempo transcurrido después de realizado el mezclado y compactación.
- La duración, forma y tipo de curado.
- Las características y efectividad de los aditivos o adiciones utilizadas.
- El tamaño y forma del espécimen de ensayo a compresión.

### **1.3. Usos**

El suelo estabilizado con cemento se usa normalmente como base para pavimentos de concreto hidráulico y pavimentos articulados (adoquinados) o bien para base y subbase de pavimentos de concreto asfáltico.

Muchas carreteras construidas en el país y en el mundo han demostrado las múltiples ventajas de los materiales estabilizados con cemento. El incremento en las propiedades mecánicas del suelo y la reducida susceptibilidad a la humedad y las principales razones para el uso en estructuras de pavimentos.

### **1.4. Componentes**

A continuación se muestran los componentes del cemento.

#### **1.4.1. Cemento hidráulico**

Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por su reacción química con el agua. También se mantienen duros y estables bajo el agua.

Se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina, sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza.

##### **1.4.1.1. Tipos de cemento hidráulico**

La Norma ASTM C 150, especificaciones de norma para el cemento Portland (*Standard Specification for Portland Cement*), designa ocho tipos de cemento, usando los números romanos como sigue:

- Tipo I: destinado a obras en general, que le exigen propiedades especiales.
- Tipo II: destinado a obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos y a obras donde se requiere moderado calor de hidratación.
- Tipo III: desarrolla altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: desarrolla bajo calor de hidratación.
- Tipo V: ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.

#### **1.4.1.2. Cementos hidráulicos adicionados**

Estos se producen por la molienda uniforme y conjunta o por la mezcla de dos o más tipos de materiales finos. Los materiales principalmente son cemento portland, escoria granulada de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, arcilla calcinada, puzolana, cal hidratada y combinaciones premezcladas de estos materiales.

Los cementos hidráulicos mezclados necesitan estar en conformidad con la Norma ASTM C 595, especificación para cementos hidráulicos mezclados (*Specification for Blended Hydraulic Cements*). Esta norma establece cinco clases principales de cementos adicionados:

- Tipo IS: cemento Portland alto horno
- Tipo IP y Tipo P: cemento Portland puzolanico
- Tipo I (PM): cemento Portland modificado con puzolana
- Tipo S: cemento de escoria o siderúrgico
- Tipo I (SM): cemento Portland modificado con escoria



## **1.4.2. Suelo**

Conocer el tipo de suelo, a través de una clasificación, en un método estandarizado es un factor de gran importancia al momento de diseñar un suelo-cemento. Con los datos que proporcionan los ensayos de laboratorio se pueden definir los criterios a utilizar al momento de diseñar.

### **1.4.2.1. Clasificación Sistema AASHTO**

En Estados Unidos nace en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, el cual fue creado para evaluar los suelos sobre los cuales se construían carreteras. Es así como nace en 1945 el Sistema AASHO, el cual ha derivado en la actualidad como AASHTO.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar a los suelos en un total de siete grupos, basándose en los ensayos de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. El grupo en que se clasifique será utilizado para determinar la calidad relativa de suelos para terraplenes, material de subrasante, subbases y bases para estructuras de pavimentos.

Este método define los suelos como se indica a continuación:

- Grava: material que pasa por tamiz de abertura 80 milímetros y es retenido en tamiz 2 milímetros.
- Arena gruesa: material comprendido entre los tamices de abertura 2 y 0,5 milímetros.
- Arena fina: material comprendido entre los tamices de abertura 0,5 y 0,08 milímetros.

- Limo arcilla: material que pasa por el tamiz de abertura 0,08 milímetros.
- Material granular: el término material granular se aplica a los suelos que presentan una cantidad menor o igual a un 35 % bajo el tamiz de abertura 0,08 milímetros.
- Material limo arcilla: el término se aplica a los suelos que presentan un cantidad mayor a un 35 % bajo el tamiz de abertura 0,08 milímetros.
- Material limoso: son materiales finos con un índice de plasticidad de 10 o menor.
- Material arcilloso: son materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

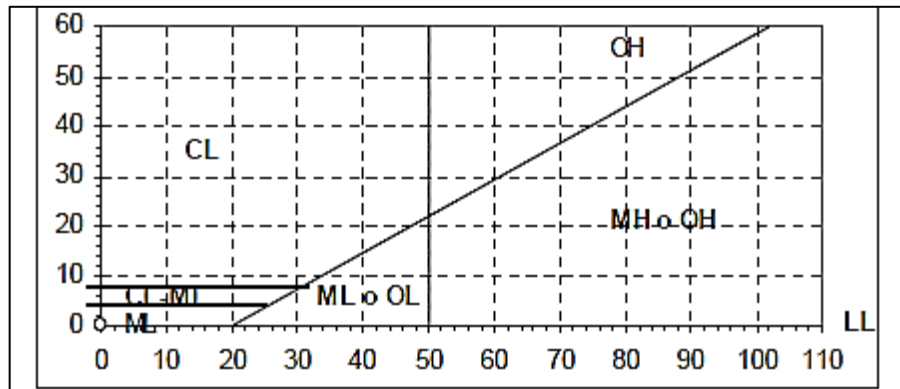
#### **1.4.2.2. Clasificación sistema USCS**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), por sus siglas en inglés, deriva de un sistema desarrollado por Arthur Casagrande para la construcción de aeródromos, durante la Segunda Guerra Mundial.

Este sistema de clasificación USCS está basado en la determinación en ensayos de laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Este sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad que se obtuvo por medio de investigaciones de laboratorio por Arthur Casagrande.

El USCS clasifica a los suelos en cuatro categorías, cada una de estas categorías usa un símbolo que define la naturaleza del suelo:

Figura 1. Carta de plasticidad



Fuente: NACLE. *Gráfica para la clasificación de suelos*. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bb/Graficauscs.png>. Consulta: enero de 2015.

- Suelos de grano grueso: son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50 % que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G para la grava o suelos gravosos del inglés *Gravel* y S para la arena o suelo arenoso del inglés *Sand*.
- Suelos de grano fino: son aquellos que tienen 50 % o más que pasa por el tamiz núm. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M para limo inorgánico del suelo "mo y mjala" , C para arcilla inorgánica del inglés *Clay*.
- Suelos orgánicos: son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se los denomina con el prefijo O del inglés *Organic*.
- Turbas: el símbolo Pt se usa para turbas del inglés *Peat*, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Según el tamaño y naturaleza de las partículas, el USCS presenta las definiciones siguientes:

- Cantos rodados: partículas de roca que no pasan una malla con abertura de 12 pulgadas (300 milímetros).
- Gujarros: partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 12 pulgadas (300 milímetros) y quedan retenidas en un tamiz de 3 pulgadas (75 milímetros).
- Grava: partículas de roca que pasan el tamiz de 3 pulgadas (75 milímetros) y quedan retenidas en el tamiz núm. 4 (4,74 milímetros) con las siguientes subdivisiones:
  - Gruesa: partículas que pasan el tamiz de 3 pulgadas (75 milímetros) y quedan retenidas en el tamiz de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19 milímetros).
  - Fina: partículas que pasan el tamiz de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19 milímetros) y quedan retenidas en el tamiz núm. 4 (4,75 milímetros).
- Arena: partículas de roca que pasan el tamiz núm. 4 (4,75 milímetros) y son retenidas en el tamiz núm. 200 (0,075 milímetros), con las siguientes subdivisiones:
  - Gruesa: partículas que pasan el tamiz núm 4 (4,75 milímetros) y son retenidas en el tamiz núm. 10 (2 milímetros).
  - Media: Partículas que pasan el tamiz núm. 10 (2 milímetros) y son retenidas en el tamiz núm. 40 (0,425 milímetros).

- Fina: partículas que pasan el tamiz núm. 40 (0,425 milímetros) y son retenidas en el tamiz núm. 200 (0,075 milímetros)
- Arcilla: suelo que pasa por el tamiz núm. 200 (0,075 milímetros), el cual presenta plasticidad dentro de un cierto intervalo de humedad, pero que muestra considerable resistencia cuando está seca.
- Limo: suelo que pasa el tamiz núm. 200 (0,075 milímetros) de naturaleza no plástica o ligeramente plástica cuya representación en la carta de plasticidad está por debajo de la recta "A".

### **1.4.3. Agua**

El agua tiene como funciones principales:

- Hidratar el cemento para producir la aglutinación de las partículas sólidas.
- Producir la lubricación entre las partículas para facilitar la compactación.

Es recomendable que el agua que se utilice esté relativamente limpia y libre de cantidades apreciables de ácidos, álcalis y materia orgánica. Esto puede afectar el desempeño del cemento.

El contenido de agua se determina tomando en cuenta la trabajabilidad de la mezcla. Además la necesidad de evitar agrietamientos excesivos y para alcanzar la compactación más adecuada con la maquinaria disponible.

#### **1.4.4. Control de calidad**

Acciones que toma un productor o constructor para verificar un control sobre lo que se ejecuta y lo suministrado. Esto para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.

En el diseño de un suelo con cemento serán todas aquellas acciones que permitan contar con información sobre la calidad de sus componentes. Se lleva a cabo esta actividad en laboratorios especializados y en obra por personal capacitado, existen organismos que acreditan a laboratorios de suelos que se dedican a esta actividad.

La falta de un adecuado control de calidad puede generar problemas de carácter técnico y económico, lo que justifica la implementación de controles para tener resultados confiables. Existen procedimientos que se aplican por medio de las normas asignadas para cada ensayo en laboratorio.

Es importante definir la edad de ensayo para la aceptación de un suelo con cemento. Se recomienda la edad de 7 días de especímenes ensayados a compresión no confinada, esta práctica es la más utilizada en Guatemala, ya que el Libro Azul de Caminos lo especifica en la sección 308.

#### **1.4.5. Control de calidad en obra**

El control de calidad en obra, del proceso de fabricación de un suelo-cemento constituye un aspecto fundamental donde debe presentarse especial a puntos tal como:

- Respetar las proporciones de cemento, agua y suelo definidos en laboratorio, a menos que se produzcan cambios en sus características. En tal caso se deberán efectuarse ajustes en el diseño.
- Controlar la humedad del suelo periódicamente tomando en cuenta que al aplicar el cemento se provoca una reacción exotérmica. Esto da como resultado una pérdida de humedad en el transcurso del tiempo de mezclado.
- No utilizar suelos con restos de materiales orgánicos.
- No utilizar cemento que presente inicios de hidratación o grumos, que pueda afectar en su desempeño.
- Realizar especímenes para ensayo a compresión no confinada a edad de 7 días.





## **2. CEMENTO HIDRÁULICO POR DESEMPEÑO**

### **2.1. Definición**

Son cementos mezclados con componentes minerales que permiten al productor de cemento, optimizar las propiedades de resistencia y durabilidad. La Norma ASTM C1157, especificación de desempeño de cementos hidráulicos (*Performance Specification for Hydraulic Cements*) presenta seis tipos de cementos.

#### **2.1.1. Componentes minerales**

Son materiales inorgánicos hidráulicos e inertes que pueden agregarse al clínker para mejorar el desarrollo o ganancia de la resistencia u otras características del cemento resultante.

Los componentes minerales más utilizados en Guatemala son:

- Puzolanas naturales: son el producto de transformación del polvo y cenizas volcánicas. Estos, como materiales piroclásticos procedentes de erupciones volcánicas explosivas, por meteorización se convirtieron en tobas o rocas volcánicas más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, según la naturaleza.

Todas las propiedades de las puzolanas y en particular aquellas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria del cemento, dependen fundamentalmente de su composición y de su

textura, a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación.

- Ceniza volante: es el residuo de la combustión del carbón que se utiliza para la generación de energía eléctrica. El carbón se quema a una temperatura entre 1 400 y 1 600 °C y la materia mineral del carbón se funde en forma de escorias y cenizas que salen del combustor en estado fluido y se recogen en el extractor de escorias.

Según la Norma ASTM C 618, clasifica las cenizas volantes en tipo C y tipo F, las cuales tienen composiciones químicas diferentes debido a que están relacionadas con el tipo de carbón utilizado, manipulación y tecnología de combustión. El tamaño del grano normalmente oscila entre 1 y 200 micrómetros de diámetro, el peso específico varía entre 1,90 y 2,80 gramos/centímetro cúbico.

## **2.2. Tipos de cemento hidráulico por desempeño**

Los cementos hidráulicos por desempeño especificados por la Norma ASTM C 1157 son los siguientes:

- Tipo GU: uso general
- Tipo HE: alta resistencia inicial
- Tipo MS: moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo HS: alta resistencia a los sulfatos
- Tipo MH: moderado calor de hidratación
- Tipo LH: bajo calor de hidratación

### **2.2.1. Cemento de uso general UG**

Debe utilizarse en toda clase de obras, pequeñas, medianas o grandes, donde no se requieran otros tipos de cementos con propiedades especiales.

### **2.2.2. Cemento de alta resistencia inicial ARI**

Para obras especiales de concreto simple, reforzado y preesforzado de endurecimiento rápido y altas resistencias iniciales. Para la fabricación liviana y de elementos estructurales y cuando se requiere desencofrado y desmoldado rápido.

## **2.3. Características**

A continuación se enumeran las características químicas, físicas y mecánicas del cemento Portland. Siendo las últimas dos las de mayor relevancia.

### **2.3.1. Químicas**

Según la Norma COGUANOR 41095 que incluye los requisitos de la Norma ASTM C1157-09, no se especifica la composición química del cemento. Sin embargo, debe ser analizado con fines informativos.

### **2.3.2. Físicas y mecánicas**

Dependen del estado en que se encuentre el cemento. Son medidas por medio de ensayos normalizados, se clasifican en:

- Cemento puro
- Pasta de cemento
- Mortero de cemento

#### **2.3.2.1. Peso específico**

Es la relación existente entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa, su valor varía poco, en el caso de cementos mezclados es menor. No es un indicador de la calidad del cemento, pero a partir de ella se pueden deducir otras propiedades. Su utilidad principal está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto, entre los métodos existentes para su evaluación se pueden mencionar Le Chatelier, Schumann, Candlot y el método del picnómetro.

#### **2.3.2.2. Finura**

La finura de molienda es una de las principales características del cemento, ya que está íntimamente ligada a su valor hidráulico, al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con mayor rapidez. También se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién elaborada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas. Por ejemplo, contrapartida una finura más alta representa mayor velocidad de generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, situación no deseable porque se traduce en mayores cambios volumétricos y posibles agrietamientos en las estructuras picnómetro.

#### **2.3.2.2.1. Superficie específica**

Se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo de material (superficie específica) se mide en gramo/centímetro cuadrado.

#### **2.3.2.2.2. Finura tamiz núm. 325**

El método consiste en tamizar una muestra bajo la acción de un chorro de agua a una presión de 0,7 kilogramo/centímetros cuadrados (10 libra/pulgada cuadrada) durante un minuto. Se expresa como el porcentaje que pasa respecto de una cantidad definida (1 gramo).

#### **2.3.2.3. Consistencia normal**

El conjunto de cemento, agua y aire se llama pasta. Los cementos pueden diferenciarse en los requerimientos de agua debido a su diferente superficie específica. Existe una determinada fluidez para la cual debe agregarse cierta cantidad de agua, esta se llama consistencia normal. Se expresa como un porcentaje en peso del cemento seco y suelo variar entre 23 y 33 % dependiendo de las características del cemento. Es complementaria de otros ensayos como la determinación de los tiempos de fraguado y estabilidad del volumen; se mide por medio del aparato Vicat.

#### **2.3.2.4. Fraguado del cemento**

Se refiere al fenómeno donde la pasta de cemento se rigidiza hasta que pasa de un estado plástico a uno sólido. Hay que indicar que fraguado no es

igual que endurecimiento; en este la pasta adquiere resistencia, en el fraguado no.

#### **2.3.2.5. Falso fraguado**

Si el cemento cuando está almacenado se expone a humedad, puede ocurrir un falso fraguado, en el cual se rigidiza a los pocos minutos de iniciar la mezcla.

#### **2.3.2.6. Estabilidad de volumen**

Es la capacidad de la pasta de cemento de mantener su volumen después de fraguado.

#### **2.3.2.7. Resistencia mecánica**

La resistencia a compresión del mortero de cemento es proporcional a la que se logra en concretos elaborados, con este tipo de cemento en particular.

### **2.4. Normas y ensayos aplicables**

La normativa referente a los cementos hidráulicos, nacional e internacional, se enumera a continuación:

- Norma Técnica Guatemalteca NTG-41095, especificaciones por desempeño.
- ASTM C 1157-09, especificación de desempeño de cementos hidráulicos (*Performance Specification for Hydraulic Cements*).

- ASTM C-595, especificación para cementos hidráulicos mezclados (*Specification For Blended Hydraulic Cements*).





### **3. MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND**

La PCA establece métodos de diseño de suelo-cemento de acuerdo a la importancia o magnitud del proyecto. Aunque básicamente lo fundamenta en pruebas de durabilidad, por medio de ensayos de mojado-secado y de congelamiento-descongelamiento.

#### **3.1. Método detallado para diseño de suelos con cemento**

Este método está diseñado para proyectos grandes, donde la relación entre el costo total de la obra tiende a ser insignificante con respecto a los ensayos de laboratorio. El objetivo de este método es optimizar la cantidad de cemento con la que se puedan obtener las propiedades deseables.

Para realizar la serie de pruebas completas para el diseño del suelo-cemento requiere de 38 a 45 días. Con esto encuentra las proporciones adecuadas. Los pasos a seguir en laboratorio son los siguientes:

- Clasificar el suelo y seleccionar varios contenidos de cemento distintos para la preparación de las mezclas iniciales, (ver tabla I).
- Preparar especímenes con diversas mezclas para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes. Se preparan dos especímenes de cada mezcla con la humedad óptima obtenida en la prueba de compactación.

- Someter a uno de los especímenes a la prueba de mojado-secado y al otro a la de congelación-descongelación. La prueba de congelación-descongelación se puede omitir en el país dado que las temperaturas no son tan extremas para generar congelación en las estructuras de pavimentos.

Tabla I. **Contenido de cemento aproximados para proyectar las mezclas de suelo-cemento según la PCA**

Contenidos de cemento aproximados para proyectar las mezclas de suelo-cemento según la PCA			
Grupo de suelo según la AASHO (SUCS)	Porcentaje de cemento requerido % en peso	Contenido de cemento estimado para la prueba de compactación % en peso	Contenido de cemento para la prueba de humedad-secado % en peso
A-1-a (GW,GP,SW,SP)	3 - 5	5	3 - 4 - 5 - 7
A-1 -b (SW, SP, GM, SM, GP)	5 - 8	6	4 - 6 - 8
A -2 (GM, SM, GC, SC)	5 - 9	7	5 - 7 - 9
A -3 (SP)	7 - 11	9	7 - 9 - 11
A-4 (ML, OL, CL, SM, SC)	7 - 12	10	8 - 10 -12
A-5 (OH, MH, ML, OL)	8 - 13	10	8 - 10 -12
A -6	9 - 15	12	10 - 12 - 14
A -7	10 - 16	13	11 - 13 - 15

Fuente: Asociación del cemento Portland.

- Seleccionar el porcentaje de cemento comparando los resultados obtenidos con los de las pérdidas admisibles. Las pérdidas admisibles determinadas por la PCA se presentan en la tabla siguiente:

Tabla II. **Máxima pérdida permisible en las pruebas de durabilidad recomendada por la PCA**

Máxima Pérdida permisible en las pruebas de durabilidad recomendada por la PCA		
Tipo de suelo	Clasifiacion AASHO (SUCS)	Maximo de perdida
Gravas y arenas	A-1, A-3, A-2-4, A-2-5	14 %
Suelos limosos	A-2-6, A-2-7, A-4, A-5	10 %
Suelos arcillosos	A-6, A-7	7 %

Fuente: Asociación del Cemento Portland.

- Posteriormente se someten los especímenes a pruebas de resistencia a la compresión no confinada. Se especifica un mínimo aproximado a 21 kilogramos/centímetro cuadrado a la compresión no confinada a siete días.
- Según la PCA, la dosificación de cemento es la mínima que cumple las condiciones siguientes:
  - Las pérdidas de material desgastado durante los doce ciclos, tanto en ensayos de congelación – descongelación y mojado - secado no deben ser mayores de:
    - 14 % para suelos A-1.a, A-1.b, A-3, A-2-4, y A-2-5
    - 10 % para suelos A-2-6, A-2-7, A-4 y A-5
    - 7 % para suelos A-6, A-7

- El aumento de volumen en las muestras no debe exceder en más del 2 % del volumen inicial.
- El máximo contenido de agua no debe ser mayor que el necesario para llenar los huecos del suelo-cemento, una vez terminado de compactar.

### **3.2. Método corto para el diseño de suelos tratados con cemento**

El método corto no siempre indica el mínimo contenido de cemento para tratar un suelo arenoso, pero casi siempre proporciona un contenido de cemento dentro de la seguridad, que estará cercano al obtenido por el método detallado de la PCA. Este método es aplicable únicamente para suelos predominantemente arenosos que tengan la granulometría siguiente:

- El contenido de finos inferior al 50 %
- El contenido de arcilla inferior al 20 %
- El retenido en el tamiz núm. 4 menor del 45 %
- Que no existan cantidades apreciables de materia orgánica
- No se aplica en caliches, margas, carbones, cenizas y escoria

El método corto tiene dos variantes:

- La variante “A” para materiales que pasan totalmente el tamiz núm. 4
- La variante “B” para materiales que se retienen en el tamiz núm. 4

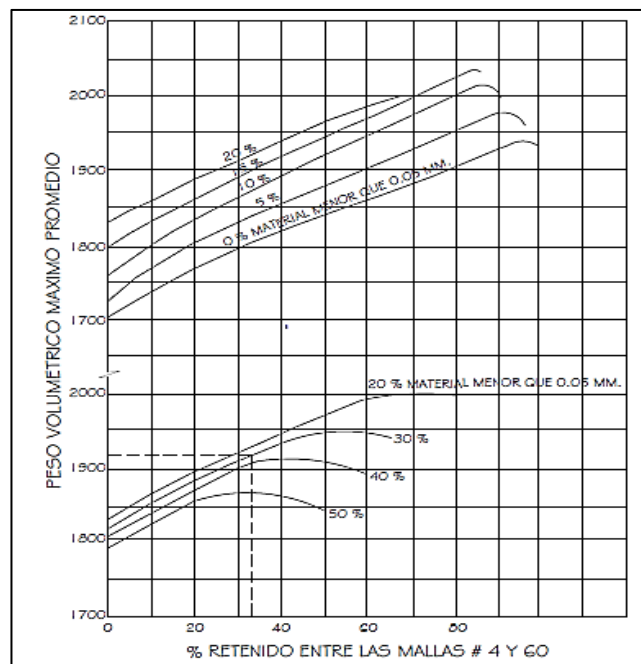
El procedimiento es el siguiente:

- Se determina la granulometría del suelo.
- Se determina el peso volumétrico del material retenido en la malla núm. 4.
- Si el suelo cumple con los requisitos para aplicar el método, entonces se escogerá la variante que corresponde.

La variante A se desarrolla en los pasos siguientes:

- Con los datos de la granulometría y con la referencia de la figura 2, se estima el máximo peso volumétrico promedio inicial.

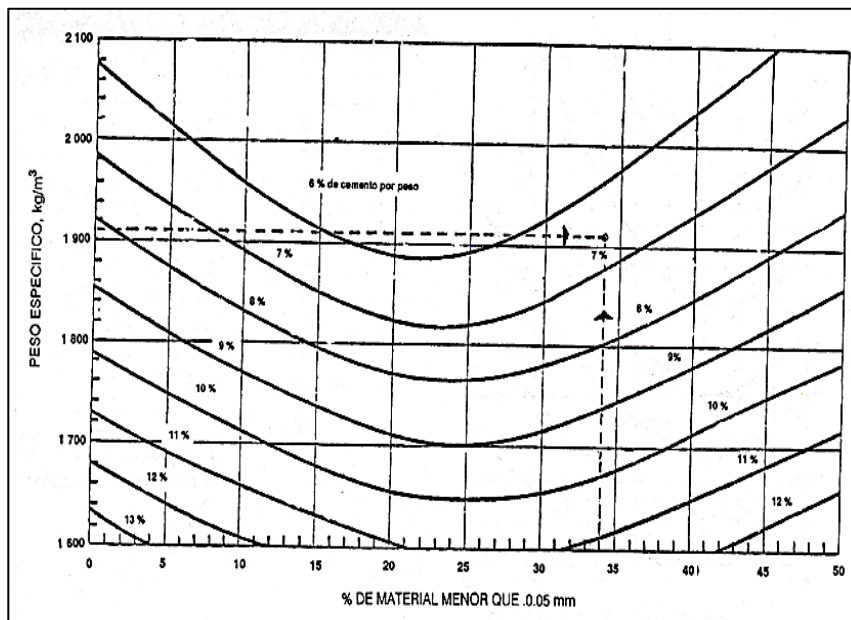
Figura 2. **Peso volumétrico máximo promedio**



Fuente: DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo-Cemento*. p. 50.

- Con los datos del peso volumétrico estimado y del porcentaje de material más fino que 0.05 milímetros, consultar la figura 3 para obtener el contenido de cemento por peso. Esto con el cual se prepararán los especímenes del ensayo de proctor.

Figura 3. **Contenido de cemento**



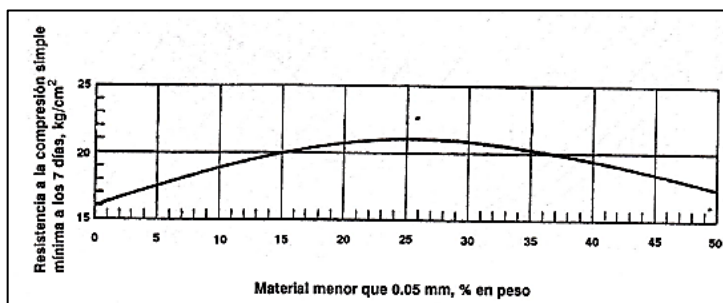
Fuente: DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo-Cemento*. p. 51.

- A partir de los resultados obtenidos, en el ensayo de proctor, se determina el máximo peso volumétrico seco y el contenido óptimo de humedad.
- Con el máximo peso volumétrico seco obtenido, anteriormente, se consulta de nuevo la figura 3 y se determina el cemento requerido para fabricar los especímenes que servirán para evaluar la resistencia y la durabilidad del suelo-cemento. La PCA indica que

las cartas y procedimientos pueden ser modificados de acuerdo con el clima y condiciones locales.

- Se fabrican dos especímenes para el ensayo de resistencia a la compresión simple, con el peso volumétrico y la humedad óptima determina en la prueba de Proctor.
- De los resultados de la pruebas realizadas se obtiene la resistencia a la compresión simple promedio de los especímenes con los ensayos de la muestras. Estos tienen siete días de curado húmedo y cuatro horas de saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de ser ensayados.
- El valor promedio de las resistencias a compresión obtenidas deberá ser mayor que el que proporciona la figura 4. Si el valor obtenido es menor, entonces se deberán realizar la serie de las pruebas completas y si resultó mayor, se considerará que el contenido de cemento es adecuado.

Figura 4. **Resistencia a la compresión simple**



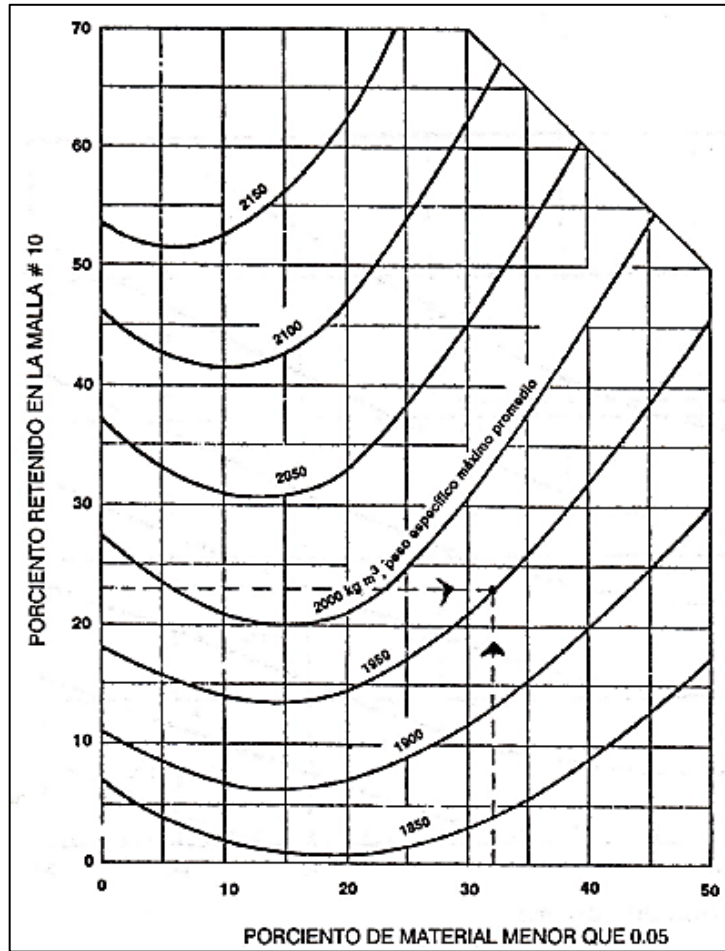
Fuente: DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo-Cemento*. p. 51.

La variante B se desarrolla en los pasos siguientes:

- Obtener el peso volumétrico máximo promedio utilizando la figura 5.
- Este peso junto con el porcentaje de material menor de 0.05 milímetros (malla núm. 270) y el porcentaje de material retenido en la malla núm. 4 se utilizarán para determinar el contenido de cemento en peso para el ensayo Proctor por medio de la figura 6.
- Realizar el ensayo de Proctor correspondiente para obtener el contenido humedad óptimo y el máximo peso volumétrico seco.
- Con el máximo peso volumétrico encontrado se determina el contenido de cemento, en peso, ayudándose otra vez con la figura 6.



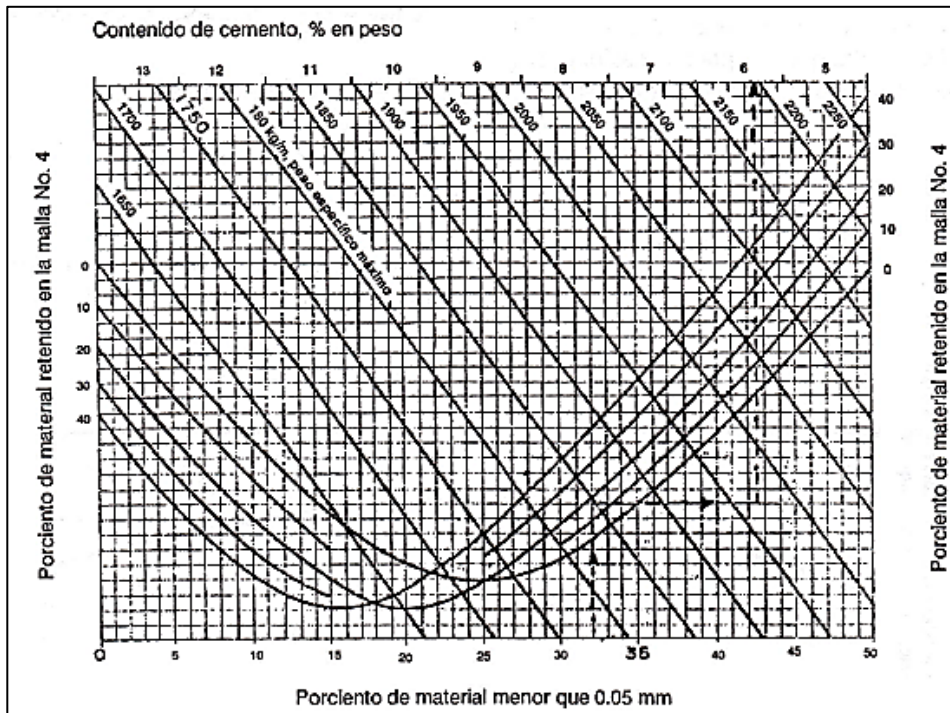
Figura 5. **Peso volumétrico máximo promedio**



Fuente: DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo-Cemento*. p. 53.

- Con el contenido de cemento, así como con el máximo peso volumétrico seco y la humedad óptima, obtenida del ensayo de Proctor, se fabrican los especímenes para hacerles las pruebas de resistencia a compresión.

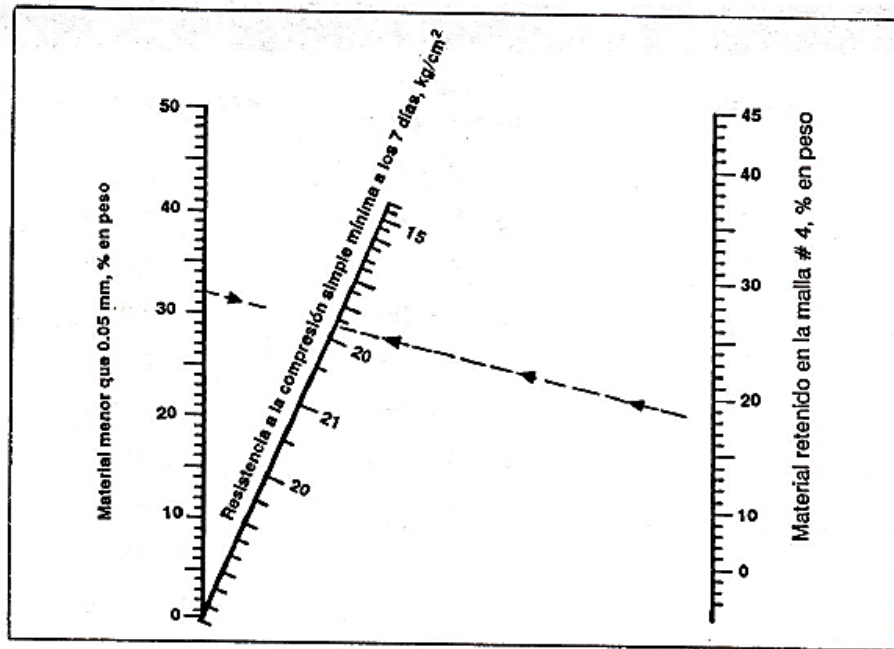
Figura 6. Contenido de cemento en peso



Fuente: DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo-Cemento*. p. 54.

- Del resultado de las pruebas se determina la resistencia a la compresión promedio de los especímenes. Estos están ensayados después de 7 días de curado húmedo y tenerlos 4 horas de saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de hacer los ensayos.
- Con la ayuda de la gráfica 7 se determina una resistencia a la compresión mínima permisible para la mezcla de suelo-cemento.

Figura 7. Resistencia a la compresión mínima permisible



Fuente: DE LA FUENTE LAVALLE, Eduardo. *Suelo-Cemento*. p. 55.

Si la resistencia a la compresión obtenida a los 7 días es igual o mayor que la mínima permisible, significará que el contenido de cemento requerido es el adecuado. Si el valor obtenido es menor entonces se deberán realizar la serie de pruebas completas.

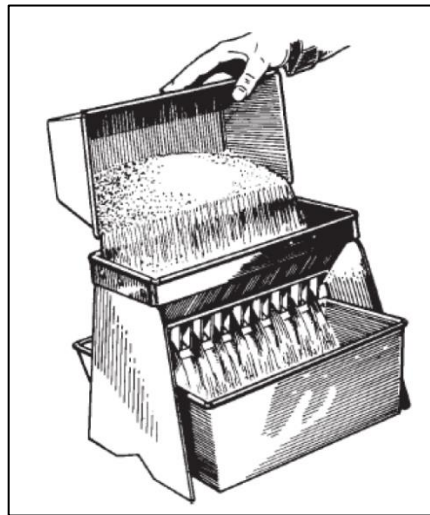


## 4. ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

### 4.1. Reducción de muestra a tamaño de laboratorio, Norma técnica Guatemalteca NTG 41010 h11, AASHTO T- 248, ASTM C-702

Esta norma es aplicable principalmente para agregados pétreos, sin embargo queda a criterio del laboratorista escoger el método con el que se obtenga la muestra más homogénea. El objetivo consiste en reducir las muestras de suelo a cantidades menores de tal forma que las mismas sean representativas y lo más homogéneas posible.

Figura 8. Divisor de muestras pequeño

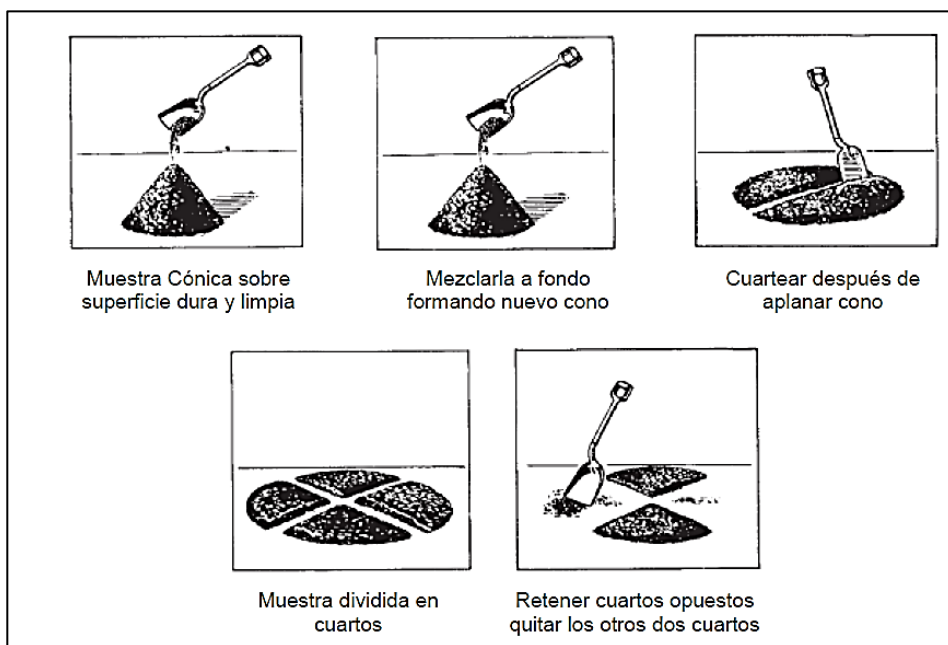


Fuente: Norma COGUANOR NTG-41010 h11, *Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo*. p. 9.

La muestra de suelo se debe dividir en diferentes partes que sean representativas, para que los posteriores ensayos sean válidos. Las diferentes proporciones de muestra deben tener las mismas proporciones granulométricas.

Es importante realizar un cuarteo correcto de la muestra para que el comportamiento del suelo no sea diferente entre los ensayos a realizar.

Figura 9. **Cuarteos sobre superficie dura, limpia y nivelada**



Fuente: Norma COGUANOR NTG-41010 h11. *Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo.* p. 10.

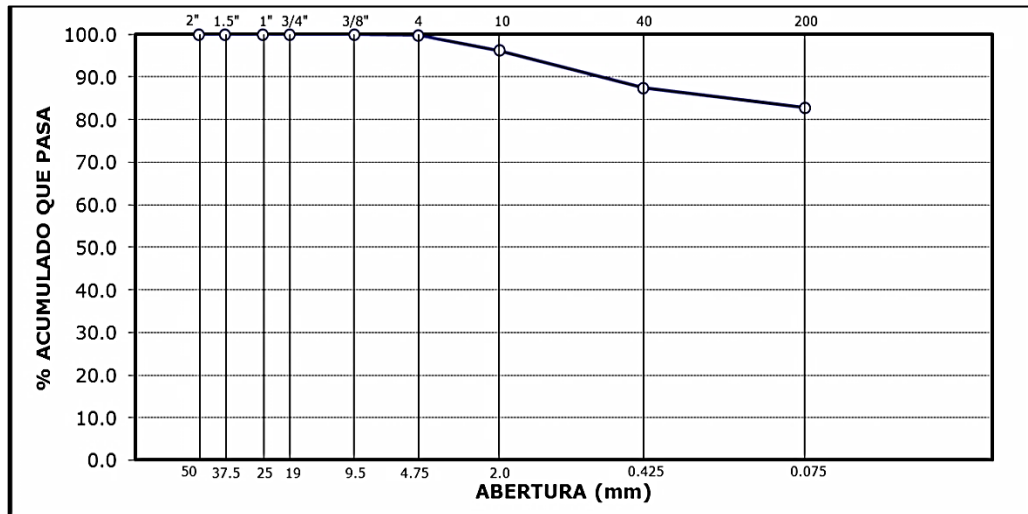
#### 4.2. Peso unitario, Norma AASHTO T – 19

En la práctica el valor del peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de pesos a volúmenes del material a utilizar en las mezclas de suelo-cemento.

#### 4.3. Análisis granulométrico por tamizado, Norma AASHTO T – 311

El análisis granulométrico consiste en la determinación de la cantidad en porcentaje de los tamaños de partículas que componen un suelo. Los resultados se representan de forma gráfica por medio de una curva de distribución granulométrica. La granulometría es la herramienta para clasificar el suelo de acuerdo a los parámetros establecidos por la AASHTO y SUCS.

Figura 10. Curva granulométrica



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Relación humedad óptima-densidad máxima (proctor modificado), Norma AASHTO T - 180, ASTM D -1557**

La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire requiriendo energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico máximo o densidad seca máxima. Cuando se agrega agua al suelo, durante la compactación, esta actúa como un lubricante que permite que las partículas de suelo se deslicen y se acomoden entre sí. El contenido de agua bajo se alcanza el máximo peso específico seco se llama humedad óptima.

#### **4.5. Ensayo de penetración – CBR, Norma AASHTO T – 193, ASTM D-1883**

El CBR o Razón Soporte California (*California Bearing Ratio*) es un ensayo de evaluación de suelos que será utilizado para estructuras de pavimentos.

Este ensayo determina la capacidad del soporte de suelos compactados en laboratorio, con 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 de saturación a las que podría exponerse el suelo.

#### **4.6. Límites de Atterberg, Norma AASHTO T - 89 y 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, semisólido, plástico, semilíquido y líquido; cambiando gradualmente al



agregarle agua. De acuerdo a lo anterior se consideran tres límites o estados de consistencia:

- Límite de contracción LC: frontera convencional entre los estados sólido y semisólido.
- Límite plástico (LP): frontera entre los estados semisólido y plástico.
- Límite líquido: es la frontera entre los estados plástico y semilíquido.

#### **4.7. Resistencia a mojado y secado, Norma AASHTO T – 135, ASTM D-559**

En este ensayo se simulan las fuerzas de tensión y compresión generadas internamente en la masa del suelo-cemento compactado. Esto debido a los cambios de humedad, para que por medio del análisis de las mediciones respectivas, se pueda evaluar lo más aproximadamente posible el comportamiento de los suelos tratados cuando les ocurran cambios de humedad en el campo.

La prueba de mojado y secado determina el grado de durabilidad que tendrá el pavimento en función de base y subbase. Se determina en laboratorio por medio de ciclos sucesivos de mojado y secado, así como por abrasión a las probetas de prueba. Al final de dichos ciclos, las probetas han perdido cierto porcentaje de su peso original, lo cual indicará si la mezcla de suelo-cemento es aceptable o no para su utilización en construcción de una base o subbase.

En caso negativo, debe seguirse ensayando con los mismos tipos de cilindros, pero aumentando el porcentaje de cemento, hasta que el porcentaje de desgaste esté dentro de los límites recomendados.

#### **4.8. Hechura y ensayo a compresión no confinada, Normas ASTM C - 1632, 1633**

La resistencia a compresión no confinada o compresión simple se refiere a la aplicación de carga axial con velocidad controlada sobre una probeta, sin soporte lateral y en condiciones no drenadas. Esto se considera un ensayo uniaxial.

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a compresión de un cilindro de suelo cohesivo o semicohesivo y es ampliamente utilizado para la aceptación de diseños de suelo-cemento. Esto por ser un ensayo fácil de hacer, rápido y económico.

## **5. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **5.1. Campo de estudio**

El objetivo principal del estudio es evaluar el empleo del cemento de uso general para la construcción y cemento de alta resistencia inicial. Esto en un suelo areno limoso utilizado para la construcción de bases y subbases para pavimentos de concreto hidráulico y asfáltico. Los materiales que se utilizaron para este estudio son:

- Cemento de uso general de la construcción UGC marca Cementos Progreso (UGC).
- Cemento de alta resistencia inicial ARI, marca Cementos Progreso.
- Arena limo arenosa (selecto).

### **5.2. Caracterización de la materiales**

Los cementos y el suelo que se utilizaron se evaluaron en el laboratorio físico de cemento y laboratorio de suelos del Centro Tecnológico de Cementos Progreso. Se cumple con las especificaciones de las Normas ASTM, AASHTO y Norma Técnica Guatemalteca aplicables a cada ensayo.

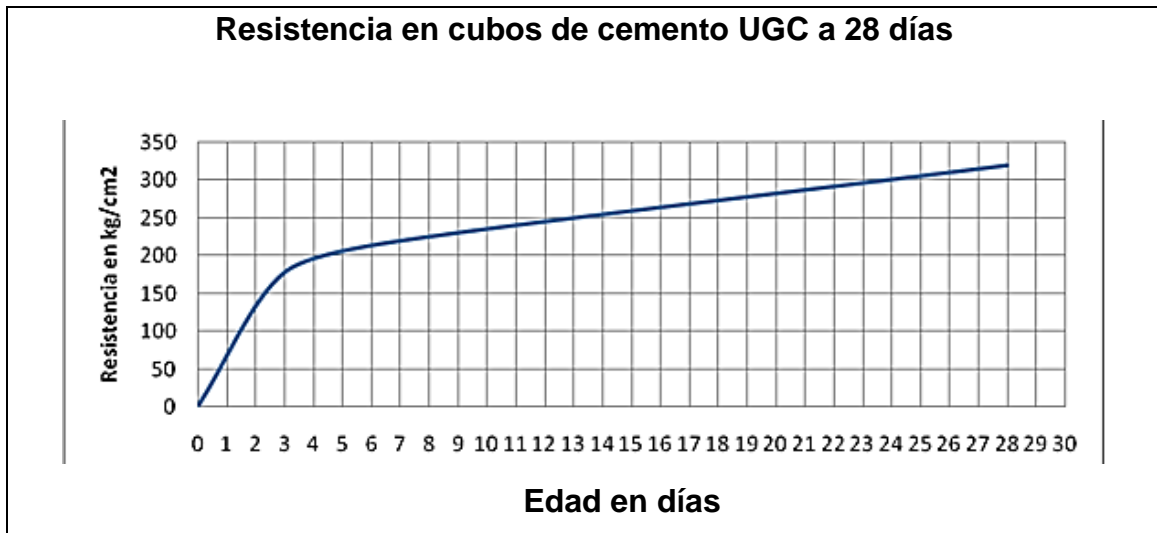
#### **5.2.1. Cementos**

Se les fueron aplicados ensayos normalizados para determinar las propiedades descritas en la sección 2.3.2.

- **Cemento UGC:** también llamado cemento tipo GU. Es un cemento con puzolana y adiciones minerales y se clasifica como cemento para uso general de la construcción, moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Esto quiere decir que por sus características propias, puede ser utilizado en todas las actividades típicas de la construcción.

El cemento cumple con los requerimientos físicos de la normativa internacional ASTM C-1157 y la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41095. La característica de resistencia a compresión que debe cumplir este cemento a los 28 días es de 28 kilogramos/centímetro cuadrado (4 060 psi) medido en mortero de cemento con arena normalizada de acuerdo a la norma ASTM C109.

Figura 11. **Resultados de resistencia a compresión del cemento tipo UGC**



Fuente: elaboración propia, con los datos proporcionados por laboratorio.

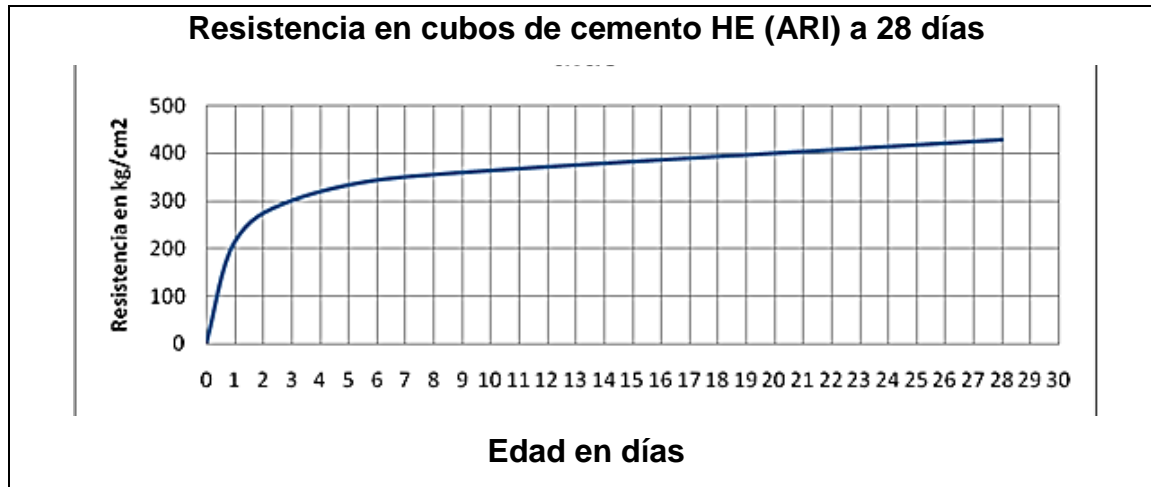
Tabla III. **Resultados físicos del cemento UGC**

Ensayo	Resultado	Límite Especificado NTG 41095
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,78	No aplica
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3 889	No aplica
Fineza por tamiz núm. 325 (% Retiene)	93,67	No aplica
Expansión en autoclave (%)	0,02	0,8
Expansión en mortero (%)	0,006	0,02
Fraguado Vicat (min)	Inicial 260	45
	Final 361	420
Resistencia a la compresión Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )	3 días	17,5 (178)
	7 días	21,7 (220)
	28 días	31,4 (320)
Calor de hidratación KJ/kg (Kcal/kg)	223 (53)	290 (70)
Resistencia a los sulfatos (%)	0,04	0,1

Fuente: elaboración propia, con resultados de laboratorio.

- **Cemento ARI:** es un cemento de alta resistencia inicial con adición de puzolana natural, ideal para edificar estructuras con mayores resistencias mecánicas cuando requiera mayor aumento de resistencia a edades tempranas. Debe cumplir con las Normas ASTM C 1157 y Norma Técnica Guatemalteca NTG 41095, la característica de resistencia a compresión que debe cumplir este cemento es de 24 Newton/milímetro cuadrado a los 3 días, medido en mortero de cemento con arena normalizada de acuerdo a la Norma ASTM C109.

Figura 12. **Resultados a compresión del cemento tipo ARI**



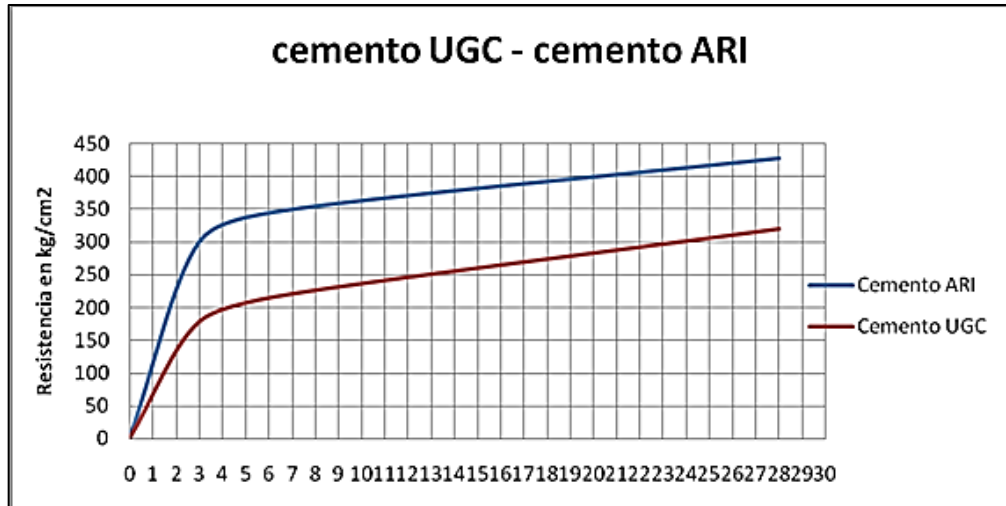
Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por laboratorio.

Tabla IV. **Resultados físicos del cemento tipo ARI**

Ensayo	Resultado	Limite Especificado NTG 41095
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	3,0	No aplica
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4 041	No aplica
Fineza por tamiz No. 325 (% Retiene)	95,86	No aplica
Expansión en autoclave (%)	0,1	0,8
Expansión en mortero (%)	0,011	0,02
Fraguado Vicat (min)	Inicial 155	45
	Final 261	420
Resistencia a la compresión Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )	1 día 20,9 (213)	12 (122)
	3 días 29,5 (300)	24 (244)
	7 días 34 (350)	No aplica
	28 días 42 (428)	No aplica

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por laboratorio.

Figura 13. **Gráfico de comparación de resistencias de cementos ARI –UGC**



Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por laboratorio.

### 5.3. Suelo

El suelo analizado proviene de depósitos o flujos piroclastos, compuesto por cenizas volcánicas. El banco de material se localiza en el kilómetro 15 ruta hacia Chinautla, municipio de la ciudad capital de Guatemala. La muestra fue tomada de varios puntos del banco donde se explota el material tipo selecto, que abastece a varios proyectos de pavimentos que se ejecutan en la ciudad de Guatemala y otros municipios aledaños. La muestra es alterada y se transportó en sacos de polipropileno hacia el laboratorio de suelos.

A continuación se presentan los datos de los ensayos realizados al suelo, siendo un material arenoso sin ninguna presencia de arcillas.

- Granulometría: la granulometría determina una arena limo gravosa color *beige* con masa unitaria suelta (MUS) de 1 111,5 kilogramos/metro cúbico. No contiene materia orgánica, la clasificación PRA es A-2-4 y la clasificación SCU es ML.

Tabla V. **Resultados de granulometría por tamizado**

<b>Análisis granulométrico por tamizado</b>		
Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
2"	50	100
1 1/2"	37,5	100
1"	25	100
3/4"	19	100
3/8"	9,5	94
núm. 4	4,75	87,5
núm. 10	2	79,5
núm. 40	0,425	54,5
núm. 200	0,075	37,8

Fuente: elaboración propia, con los datos proporcionados por laboratorio.

- Ensayo de proctor modificado: el ensayo proctor modificado para la determinación de la humedad óptima del suelo da los resultados mostrados en la tabla VI.



Tabla VI. **Resultados del ensayo de Proctor modificado**

<b>Ensayo de proctor modificado</b>	
Humedad optima %	10
Densidad seca máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1 491

Fuente: elaboración propia, con datos de laboratorio.

- Ensayo de límites de Atterberg: la consistencia del suelo analizada a través de los ensayos de los límites de Atterberg y la clasificación del mismo se encuentra en la tabla VII.

Tabla VII. **Resultados del ensayo de límites de Atterberg**

<b>Límites de Atterberg</b>	
Porcentaje límite líquido	0
Porcentaje límite plástico	0
Porcentaje índice de plasticidad	0
Clasificación del suelo	ML
Descripción del suelo: arena limosa color <i>beige</i> , suelo no plástico	

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por laboratorio.

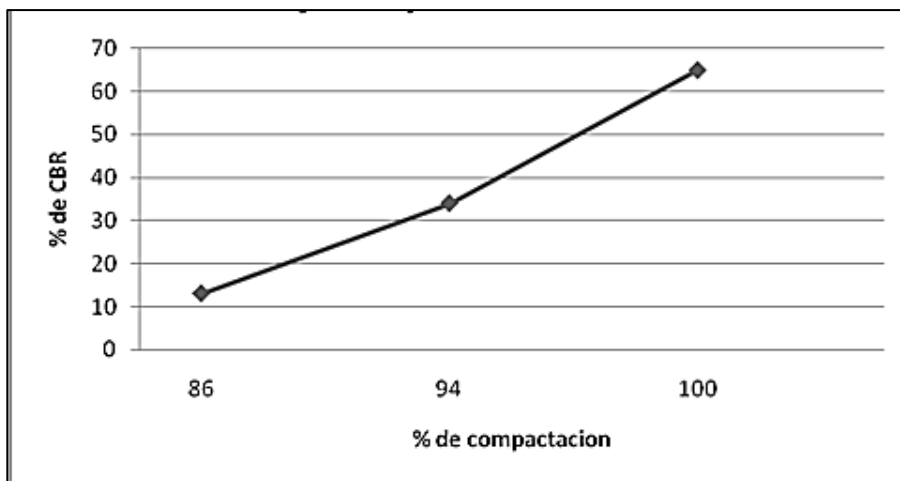
- Ensayo de penetración – CBR: los resultados de la prueba de penetración, a las diferentes cantidades de golpes estipulados por la norma, están tabulados en la tabla VII.

Tabla VIII. **Resultados del ensayo de penetración CBR**

Numero de golpes	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Expansión %	Compactación %	CBR %
10	1 286,5	0	86	13
30	1 399,8	0	94	34
65	1 484	0	100	65

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por laboratorio.

Figura 14. **Gráfica del ensayo de penetración CBR**



Fuente: elaboración propia, con datos de laboratorio.

- Ensayo de resistencia a compresión no confinada: se realizaron pruebas para dos especímenes para dos edades específicas, 7 y 28 días y los resultados se encuentran tabulados en las tablas IX y X.

Tabla IX. **Resultados de 2 especímenes ensayados a compresión a edad de 7 días**

Resistencia a compresión no confinada a 7 días				
Probeta	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Descripción del material
1	2,7	394	28	Mezcla con 3 % de cemento UGC
2	2,6	382	27	
3	3,5	501	35	Mezcla con 4 % de cemento UGC
4	3,4	499	35	
5	3,3	485	34	Mezcla con 3 % de cemento ARI
6	3,4	492	35	
7	4,3	630	44	Mezcla con 4 % de cemento ARI
8	4,4	621	44	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resultados de 2 especímenes ensayados a compresión a edad de 28 días**

Resistencia a compresión no confinada a 28 días				
Probeta	N/mm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Descripción del material
1	2,7	385	27	Mezcla con 3 % de cemento UGC
2	2,7	389	27	
3	3,6	527	37	Mezcla con 4 % de cemento UGC
4	3,8	524	39	
5	4	583	41	Mezcla con 3 % de cemento ARI
6	4,2	603	42	
7	4,7	686	48	Mezcla con 4 % de cemento ARI
8	4,7	677	48	

Fuente: elaboración propia.

- Resistencia a raspado secado-mojado: con dos porcentajes de contenido diferentes para ambos tipos de cemento, los resultados de esta prueba se ven en la tabla XI.

Tabla XI. **Resultados de especímenes sometidos a desgaste por medio de mojado-secado**

<b>Resultados del ensayo de mojado-secado con diferentes porcentajes de cemento</b>			
<b>Contenido de cemento en Porcentaje</b>	<b>Tipo de cemento</b>	<b>Porcentaje Máximo de cambio de volumen</b>	<b>Porcentaje de pérdida de Suelo-cemento</b>
3	UGC	0,7	0,9
4	UGC	0,3	0,7
3	ARI	0,3	1
4	ARI	0,3	0,7

Fuente: elaboración propia.

## **6. COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE EL CEMENTO TIPO UGC Y EL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL ARI**

### **6.1. Comparación técnica**

Para el cálculo de la cantidad de cemento a dosificar por metro cúbico de suelo se utiliza la densidad máxima del ensayo de Proctor. Se verifica que el porcentaje de cemento sea el necesario para alcanzar la resistencia deseada en el tiempo indicado.

Según el Libro Azul de la Dirección General de Caminos en la sección 308 y el método corto de la Asociación del Cemento Portland la resistencia a compresión no confinada mínima que deberá cumplir un suelo para ser utilizado en una base para estructura de pavimento. Esta deberá ser de 35 kg/cm<sup>2</sup> siempre y cuando cumpla con otros requisitos, tales como un peso unitario suelo mínimo de 1 040 kg/m<sup>3</sup>, índice de plasticidad menor a 15 y una resistencia al desgaste, por medio del ensayo de sacado-mojado, igual o menor al 10 % con respecto al peso.

Tabla XII. **Cálculo de porcentaje de cemento a utilizar**

<b>Cálculo del porcentaje de cemento a utilizar</b>				
<b>Tipo de cemento</b>	<b>Porcentaje a dosificar</b>	<b>Densidad seca máxima kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Contenido de cemento en Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Sacos de cemento de 42,5 kilogramos por m<sup>3</sup> de suelo</b>
UGC	4	1491	59,64	1,4
ARI	3		44,73	1,05

Fuente: elaboración propia.

## 6.2. Comparación económica

En el cálculo de la cantidad de cemento que se necesita por metro cúbico de suelo que servirá para alcanzar la resistencia de 35 kg/cm<sup>2</sup> hay una diferencia de 2,5 kg entre los dos tipos de cemento. Esto representa una diferencia en costos con respecto al precio del cemento.

Tabla XIII. **Comparación económica**

<b>Tipo de cemento</b>	<b>Costo por saco de 42,5 kilos</b>	<b>Costo por kilogramo</b>	<b>Costo de cemento por metro cubico de suelo</b>
UGC	Q 70	Q 1,64	Q 98,23
ARI	Q 75	Q 1,76	Q 78,93

Fuente: elaboración propia.

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1. Cemento

Los cementos utilizados cumplen con las Normas ASTM C1157-09 y con la Normativa Guatemalteca Coguanor NTG 41095 aplicables para cada uno. El cemento de uso general tiene mayor contenido de adiciones tales como puzolana y ceniza volante.

#### 7.1.1. Fraguado Vicat

Los tiempos de fraguado, según el ensayo de Vicat, muestran que los mismos, son menores en el cemento de alta resistencia inicial con respecto al cemento de uso general con adiciones.

Tabla XIV. **Fraguado Vicat**

Tiempos de fraguado	Uso general	Alta resistencia inicial	Variación	
			Absoluto	Relativo
Fraguado inicial	260 min	155 min	105	40,30 %
Fraguado final	361 min	261 min	100	27,70 %

Fuente: elaboración propia.

### 7.1.2. Resistencia a compresión en morteros de cemento

Los resultados de resistencia a compresión a los 7 días en el cemento de alta resistencia inicial es 37,14 % mayor que en el cemento de uso general de la construcción.

Tabla XV. Resistencia a compresión en mortero de cemento

Resistencia a compresión del mortero de cemento a 7 días	UGC	ARI	Variación	
			ABS	REL
kg/cm <sup>2</sup>	220	350	130	37,14 %
PSI	3128	4977		

Fuente: elaboración propia.

### 7.1.3. Finura por tamiz núm. 325

El porcentaje de cemento retenido en el tamiz núm. 325 en el UGC (93,67 %) es menor al ARI (95,86 %), a mayor finura mejor resistencia a compresión.

## 7.2. Suelo

El suelo utilizado se clasificó por medio de ensayo granulométrico, y de acuerdo a ello el mismo se clasifica como arena limo gravosa color *beige*.



### **7.3. Resistencia a compresión**

Se obtuvo la resistencia a compresión especificada con 1 % menos de cemento de alta resistencia inicial con respecto al cemento de uso general. Esto dado que dicho cemento tiene otro tipo de desempeño por su contenido de adiciones.

### **7.4. Resistencia raspado secado – mojado**

Los resultados obtenidos en este ensayo con 3 % de alta resistencia inicial. El 4 % de uso general de la construcción dan cambios de volumen y pérdida de suelo-cemento aceptables de acuerdo a las recomendaciones de la Asociación del Cemento Portland presentadas en la tabla II de este trabajo.

Los porcentajes de pérdida de suelo-cemento tanto con el cemento UGC y ARI son muy similares al final de los 12 ciclos.



## CONCLUSIONES

1. Los dos tipos de cemento tienen buen desempeño y pueden ser utilizados para el diseño de un suelo-cemento. Dado que los resultados de los ensayos de laboratorio son satisfactorios, de acuerdo a las especificaciones dadas tanto por *el Manual de la Asociación del Cemento Portland y por las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos, Libro Azul*.
2. El cemento de uso general tiene mayor tiempo de fraguado debido a que las adiciones de puzolana tienen mayor retención de agua.
3. El suelo-cemento alcanzará mayor resistencia en menor tiempo, si se utiliza el cemento de alta resistencia inicial.
4. Se demuestra que, de acuerdo al ensayo de fineza a través del tamiz núm. 325 el cemento que posee mayor porcentaje de fineza proporciona mayor resistencia a compresión.
5. El suelo utilizado cumple las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, Libro Azul, de acuerdo a la sección 308, capa de base de suelo cemento, considerándolo apto para este estudio.

6. La resistencia a compresión no confinada es un parámetro que se evalúa en un proyecto de suelo-cemento. Este consiste en obtener una resistencia de  $35\text{kg/cm}^2$  o más a 7 días de edad.

## RECOMENDACIONES

1. Es importante evaluar los tipos de cemento disponibles en el mercado, por medio de ensayos de laboratorio en diferentes combinaciones, de suelo-cemento para seleccionar el que tenga mejor desempeño.
2. Para realizar el cálculo del porcentaje de cemento a utilizar se debe tomar en cuenta un factor de seguridad en función de las variables ambientales, maquinaria y equipo el disponible para la construcción del suelo-cemento.
3. Realizar los ensayos de acuerdo a las normativas vigentes y apegarse a las mismas para tener resultados confiables.
4. Al construir un suelo-cemento en campo se debe tener un control de calidad del suelo para garantizar las especificaciones del proyecto.
5. Dado que los bancos de materiales no son homogéneos es importante hacer una evaluación de la homogeneidad del banco por medio de ensayos de laboratorio.
6. En relación a la resistencia a compresión se recomienda seguir las especificaciones establecidas en el método corto de la Asociación del Cemento Portland y la sección 308 del Libro Azul de la Dirección General de Caminos.

7. Las pérdidas de volumen por desgaste en muestras de suelo-cemento no son significativas y cumplen con las recomendaciones de la Asociación del Cemento Portland.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Guatemalteca de Normas. *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño*. NTG-41095. Guatemala: Coguanor, 2010. 156 p.
2. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5a ed. México: Limusa, 2004. 650 p. ISBN: 968-18-6489-1.
3. DAS, Braja M. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México; Thomson Learning Editores, 2001. 594 p. ISBN: 970-686-061-4.
4. KOSMATKA, Steven H., KERKHOFF, Beatrix, PANARESE, William C.; TANESI, Jussara. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EEUU: Portland Cement Association. 2004. 89 p.
5. QUINTANILLA, Carlos. *El estado del arte del suelo-cemento en estructuras de pavimentos*. Panamá, Panamá: Federación Interamericana del Cemento, 2007. ISBN: 978-9962-8918-1-9.
6. \_\_\_\_\_. *Mayor conocimiento del suelo-cemento, mejor desempeño en sus diversas aplicaciones*. Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto. Revista ISCYC. N°. 62, año 17. 56 p.

7. ROCHA PITTA, Mauricio. *Dosificación de mezcla de suelo-cemento, norma de dosificación* [en línea]. <<https://xa.yimg.com/kq/groups/13240622/596714709/name/DOSIFICACI%C3%93N+DE+MEZCLAS+DE+SUELO+1+-++CEMENTO.pdf>>.[Consult: 3 de mayo de 2013].
  
8. SALAZAR RODRIGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1998. 209 p.



## **ANEXOS**



## Anexo 1. Informe de la boratorio



**Cemento UGC - 4060 PSI**  
**Informe de Laboratorio**  
 Laboratorio del Centro Tecnológico  
 15 avenida 18-01, Zona 6 La Pedrera  
 Tel: 22864178 Fax: 22864180 caltec@cmpro.com



Periodo de despacho del:  al:  # OT:

Planta de producción:

### REQUERIMIENTOS FISICOS

	Límite Especificado		Resultados		Observaciones
	COGUANOR NTG 41095	Promedio	Desv. Estándar		
Resistencia a la compresión (PSI - MPa)					
3 días - Mínimo	1890 - 13	2533 - 17.5	261 - 1.8		Excede la normativa
7 días - Mínimo	2900 - 20	3140 - 21.7	182 - 1.3		
28 días* - Mínimo	4060 - 28	4552 - 31.4	200 - 1.4		
* Datos de resistencias a 28 días del mes anterior					
Tiempo de fraguado					
Inicial (minutos) - Mínimo	45	260	8.45		Excede la normativa
Final (minutos) - Máximo	420	371	19.72		
Calor de hidratación - 7 días kJ/kg (kcal/kg)	290 (70)	223 - 53	-		Catalogado como MCH <sup>1</sup>
Resistencia a los sulfatos %	0.1	0.04	0.002		Catalogado como MRS <sup>2</sup>
Expansión en autoclave - % máximo	0.8	0.02	0.02		Cumple con la normativa
Expansión de mortero - % máximo 14 días	0.02	0.006	-		Cumple con la normativa
Fineza 325 (pasta tamiz 45 µm) %	No aplica	93.67	1.33		
Superficie de Blaine (cm² / g)	No aplica	3869	95.12		
Contenido de aire (volumen) %	No aplica	3.03	-		
Densidad (g/cm³)	No aplica	2.78	-		

Nota: El cemento descrito en el tiempo de despacho indicado, cumple con los requerimientos físicos de la Normativa Internacional ASTM C-1157 y la Normativa Guatemalteca COGUANOR NTG 41095.

<sup>1</sup>MCH = Moderado Calor de Hidratación reduce el riesgo de fisuración en concreto masivo contribuyendo a una mejor apariencia y durabilidad de las estructuras.

<sup>2</sup>MRS = Moderada Resistencia a los Sulfatos, que permiten ser utilizados en obras expuestas al agua de mar, al ambiente marino y aguas con moderado contenido de sulfatos.

No debe reproducirse este informe, salvo que se haga integralmente y con la aprobación del laboratorio del Centro Tecnológico.

Ing. Mario de León M.  
 Jefe de Laboratorio

Continuación de anexo 1.



**Cemento CFB**  
**Informe de Laboratorio**  
 Laboratorio del Centro Tecnológico  
 15 avenida 16-01, Zona 6 La Pedrera  
 Tel: 22864178 Fax: 22864180 cctec@campro.com



Período de despacho del:  al:  # OT:

Planta de producción:

REQUERIMIENTOS FISICOS

	Límite Especificado COGUANOR NTG 41095	Resultados		Observaciones
		Promedio	Desv. Estándar	
Resistencia a la compresión (PSI - MPa)				
1 día - Mínimo	1740 - 12	3038 - 20.9	114 - 0.79	Excede la normativa
3 días - Mínimo	3480 - 24	4272 - 29.5	135 - 0.93	
7 días - Mínimo	No aplica	4980 - 34	216 - 1.49	
28 días* - Mínimo CP	No aplica	6092 - 42.0	283 - 1.95	
* Datos de resistencias a 28 días del mes anterior				
Tiempo de fraguado				
Inicial (minutos) - Mínimo	45	155	2.12	Cumple con la normativa
Final (minutos) - Máximo	420	261	16.76	
Expansión en autoclave - % máximo	0.80	0.1	0.01	Cumple con la normativa
Expansión de mortero - % máximo 14 días	0.02	0.011	-	Cumple con la normativa
Fineza 325 (pasa tamiz 45 µm) %	No aplica	95.86	1.02	
Superficie de Blaine (cm² / g)	No aplica	4041	109.63	
Contenido de aire (volumen) %	No aplica	2.95	-	
Densidad (g/cm³)	No aplica	3.00	-	


Nota: El cemento descrito en el tiempo de despacho indicado, cumple con los requerimientos físicos de la Normativa Internacional ASTM C-1157 y la Normativa Guatemalteca COGUANOR NTG 41095.

No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente y con la aprobación del laboratorio del Centro Tecnológico.

Ing. Mario de León M.  
 Jefe de Laboratorio

Fuente: Cementos Progreso.

## Anexo 2. Análisis granulométrico por tamizado

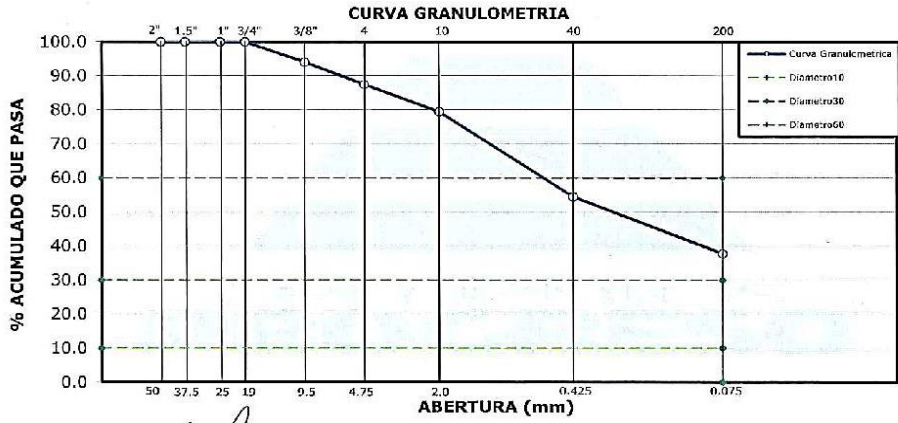
	<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181	<b>OT:</b> 20612-1 <b>FECHA DE OT:</b> 2013/05/02 <b>PAGINA:</b> 1 DE 1 <b>IMPRESION:</b> 2013/05/20
	<b>CLIENTE:</b>	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
	<b>CONTACTO:</b>	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ
	<b>MUESTRA:</b>	ARENO LIMOSO
<b>PROCEDENCIA:</b>	BANCO CHINAUTLA	
<b>PROYECTO:</b>	TESIS	

**INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS**  
**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**  
 NORMA: AASTHO T- 311

RESULTADOS		Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
<b>Grava (%):</b>	20.5	2"	50.000	100.0
<b>Arena (%):</b>	41.8	1 1/2"	37.500	100.0
<b>Finos (%):</b>	37.8	1"	25.000	100.0
<b>Mus (Kg/m<sup>3</sup>):</b>	1111.5	3/4"	19.000	100.0
<b>Clasificación SCU :</b>	ML	3/8"	9.500	94.0
<b>Clasificación PRA :</b>	A-2-4	Nº4	4.750	87.5
<b>Materia Orgánica</b>	--	Nº10	2.000	79.5
<b>COEFICIENTE UNIFORMIDAD:</b>	--	Nº40	0.425	54.5
<b>COEFICIENTE CURVATURA:</b>	--	Nº200	0.075	37.8

DESCRIPCION DEL MATERIAL: **ARENA LIMO GRAVOSA COLOR BEIGE**

**CURVA GRANULOMETRIA**




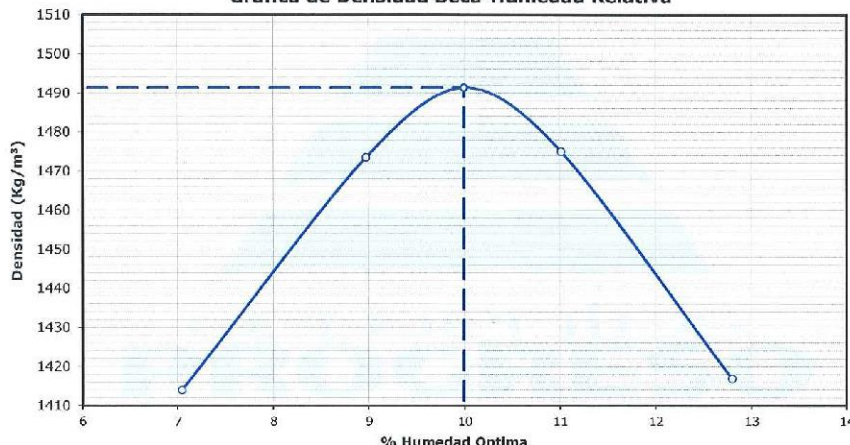
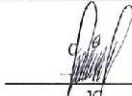

ANALISTA: *[Signature]*  
JEFE DE LABORATORIO: *[Signature]*  
Ing. Mario de León M.

Observaciones: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

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 CFIIC.

Fuente: Cementos Progreso.




### Anexo 3. Relación humedad óptica – densidad máxima

	<b>Laboratorio Central Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:	20612-1
			FECHA OT:	2013/05/02
			PAGINA:	1 DE 1
			IMPRESION:	2013/05/20
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO			
CONTACTO:	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ			
MUESTRA:	ARENA LIMOSA			
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA			
PROYECTO:	TESIS			
<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>				
<b>RELACION HUMEDAD OPTIMA - DENSIDAD MAXIMA</b>				
<input type="checkbox"/> ESTANDAR AASHTO T-99 <input checked="" type="checkbox"/> MODIFICADO AASHTO T-180				
<b>DATOS DE ENSAYO</b>				
HUMEDAD OPTIMA %:	<b>10.0</b>	METODO UTILIZADO:	<b>C</b>	
DENSIDAD SECA MAXIMA:	<b>93</b> Lb/pie <sup>3</sup> .	<b>1491</b>	kg/m <sup>3</sup> .	
DESCRIPCION DEL SUELO:	<b>ARENA LIMO GRAVOSA COLOR BEIGE</b>			
<b>Gráfica de Densidad Seca-Humedad Relativa</b>				
				
 ANALISTA		 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO		
Observaciones:	* MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
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-CI-SU-1B-04 REV. 0

Fuente: Cementos Progreso.


## Anexo 4. Límites de atterberg

 <p><b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178    email: cetec@cempro.com</p>	OT:	20612-1														
	FECHA OT:	2013/05/02														
	PAGINA:	1 DE 1														
	IMPRESION:	2013/05/20														
<b>CLIENTE:</b>	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO															
<b>CONTACTO:</b>	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ															
<b>MUESTRA:</b>	ARENA LIMOSA															
<b>PROCEDENCIA:</b>	BANCO CHINAUTLA															
<b>PROYECTO:</b>	TESIS															
<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>																
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>																
NORMA: AASHTO T-89 Y T-90																
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: right;">METODO UTILIZADO:</td> <td style="text-align: center;"><b>B</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">NO. DE ENSAYO:</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">% LIMITE LIQUIDO:</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">% LIMITE PLASTICO:</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">% INDICE DE PLASTICIDAD:</td> <td style="text-align: center;"><b>0</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">CLASIFICACION DEL SUELO:</td> <td style="text-align: center;"><b>ML</b></td> </tr> </tbody> </table>			RESULTADOS		METODO UTILIZADO:	<b>B</b>	NO. DE ENSAYO:	1	% LIMITE LIQUIDO:	0	% LIMITE PLASTICO:	0	% INDICE DE PLASTICIDAD:	<b>0</b>	CLASIFICACION DEL SUELO:	<b>ML</b>
RESULTADOS																
METODO UTILIZADO:	<b>B</b>															
NO. DE ENSAYO:	1															
% LIMITE LIQUIDO:	0															
% LIMITE PLASTICO:	0															
% INDICE DE PLASTICIDAD:	<b>0</b>															
CLASIFICACION DEL SUELO:	<b>ML</b>															
DESCRIPCION DEL SUELO: <p style="text-align: center;"><b>ARENA LIMOSA COLOR BEIGE SUELO NO PLASTICO</b></p>																
 JC <b>ANALISTA</b>	 Ing. Mario de Leon M. <b>JEFE DE LABORATORIO</b>															
Observaciones:																
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-SU-IE-02 / Rev 0

Fuente: Cementos Progreso.

## Anexo 5. Ensayo de penetración – CBR

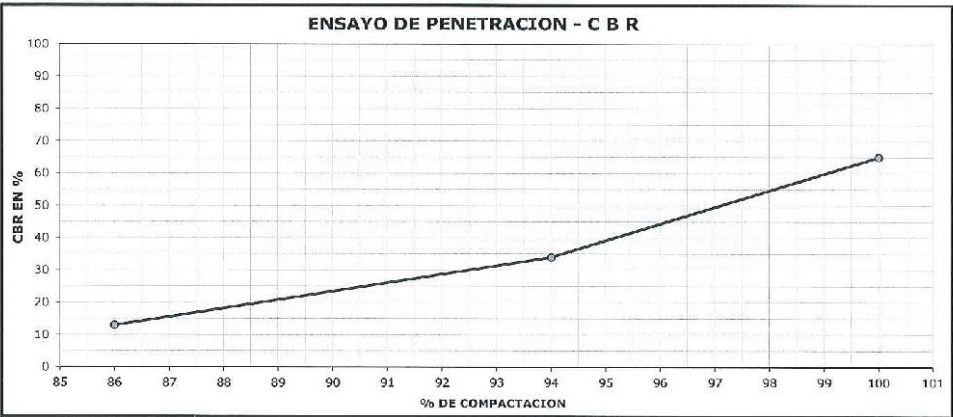
	<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:	20612-1
			FECHA OT:	2013/05/02
			PAGINA:	1 DE 1
			IMPRESION:	2013/05/21



<b>CLIENTE:</b>	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
<b>CONTACTO:</b>	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ
<b>MUESTRA:</b>	ARENO LIMOSO
<b>PROCEDENCIA:</b>	BANCO CHINAUTLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS

<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>	
<b>ENSAYO DE PENETRACION - CBR</b>	
<b>NORMA: AASHTO T-193</b>	

<b>DATOS DE ENSAYO</b>				
HUMEDAD OPTIMA %:	<b>10.0</b>	DENSIDAD SECA MAXIMA:	<b>93</b> Lb/pie <sup>3</sup> .	<b>1491</b> kg/m <sup>3</sup> .
No Golpes	p Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Expansión %	Compactacion %	CBR %
10	1286.5	0.0	86	13
30	1399.8	0.0	94	34
65	1484.0	0.0	100	65

DESCRIPCION DEL SUELO: **ARENO LIMO GRAVOSO COLOR BEIGE**

ENSAYO DE PENETRACION - C B R	
	

 JC <b>ANALISTA</b>	 Ing. Mario de Leon M. <b>JEFE DE LABORATORIO</b>
--	---

Observaciones: \* MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE




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 CFTFC.

SGL-CY-SU-TE-05 REV. 0



Fuente: Cementos Progreso.




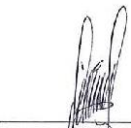

Anexo 6. **Análisis de mojado-secado de mezclas compactadas suelo cemento**

	<b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b> <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181		OT:	20780-1	
			FECHA:	2013-05-30	
			FECHA ENSAYO:	2013-08-09	
			FECHA IMPRESIÓN	2013-09-03	
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO				
CONTACTO:	LUDWING BENJAMIN LOPEZ				
MUESTRA:	ARENA LIMOSA				
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA				
PROYECTO:	TESIS				
<b>INFORME DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS</b>					
<b>ANALISIS DE MOJADO-SECADO DE MEZCLAS COMPACTADAS SUELO CEMENTO</b>					
<b>NORMA AASHTO T 135-97 (2001)</b>					
<b>DISEÑO DE LABORATORIO</b>			<b>DISEÑO CORREGIDO POR COMPACTACIÓN</b>		
% Humedad Optima	Densidad Maxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento	% Humedad Optima	Densidad Maxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento
10.00	1550	3%	8.0	1530	3%
% Maximo de cambio de volumen		% Maximo contenido de Humedad	% perdida de Suelo-Cemento		
0.7		1.0	0.9		
 ANALISTA		 Ing. Mario de León JEFE DE LABORATORIO			
Observaciones:		3% DE CEMENTO UGC			
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					


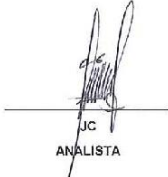

Continuación de anexo 6.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b> 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181		OT:	20780-3	
			FECHA OT:	2013-05-30	
			FECHA ENSAYO:	2013-09-03	
			FECHA IMPRESIÓN:	2013-09-16	
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO				
CONTACTO:	LUDWING BENJAMIN LOPEZ				
MUESTRA:	ARENA LIMOSA				
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA				
PROYECTO:	TESIS				
INFORME DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS					
<b>ANALISIS DE MOJADO-SECADO DE MEZCLAS COMPACTADAS SUELO CEMENTO</b>					
NORMA AASHTO T 135-97 (2001)					
<b>DISEÑO DE LABORATORIO</b>			<b>DISEÑO CORREGIDO POR COMPACTACIÓN</b>		
% Humedad Optima	Densidad Maxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento	% Humedad Optima	Densidad Maxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento
10.00	1550	3%	9.7	1550	3%
% Maximo de cambio de volumen		% Maximo contenido de Humedad	% perdida de Suelo-Cemento		
0.3		0.3	1.0		
 ANALISTA		 Ing. Mario de León JEFE DE LABORATORIO			
Observaciones:		3% DE CEMENTO CFB			
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					

Continuación de anexo 6.




	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181		OT:	20780-4	
			FECHA:	2013-05-30	
			FECHA ENSAYO:	2013-09-03	
			FECHA IMPRESIÓN:	2013-09-16	
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO				
CONTACTO:	LUDWING BENJAMIN LOPEZ				
MUESTRA:	ARENA LIMOSA				
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA				
PROYECTO:	TESIS				
INFORME DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS <b>ANÁLISIS DE MOJADO-SECADO DE MEZCLAS COMPACTADAS SUELO CEMENTO</b>					
NORMA AASHTO T 135-97 (2001)					
<b>DISEÑO DE LABORATORIO</b>			<b>DISEÑO CORREGIDO POR COMPACTACIÓN</b>		
% Humedad Óptima	Densidad Máxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento	% Humedad Óptima	Densidad Máxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento
10.00	1550	4%	9.7	1550	4%
% Máximo de cambio de volumen		% Máximo contenido de Humedad	% pérdida de Suelo-Cemento		
0.3		0.3	0.7		
 JC ANALISTA		 Ing. Mario de León JEFE DE LABORATORIO			
Observaciones:	4% DE CEMENTO CFB				
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					

Continuación de anexo 6.

	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181		OT:	20780-2	
			FECHA OT:	2013-05-30	
			FECHA ENSAYO:	2013-09-03	
			FECHA IMPRESIÓN:	2013-09-16	
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO				
CONTACTO:	LUDWING BENJAMIN LOPEZ				
MUESTRA:	ARENA LIMOSA				
PROCEDECENCIA:	BANCO CHINAUTLA				
PROYECTO:	TESIS				
INFORME DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS					
<b>ANALISIS DE MOJADO-SECADO DE MEZCLAS COMPACTADAS SUELO CEMENTO</b>					
NORMA AASHTO T 135-97 (2001)					
<b>DISEÑO DE LABORATORIO</b>			<b>DISEÑO CORREGIDO POR COMPACTACIÓN</b>		
% Humedad Optima	Densidad Maxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento	% Humedad Optima	Densidad Maxima Kg/m <sup>3</sup>	% Contenido de cemento
10.00	1550	4%	8.9	1538	4%
% Maximo de cambio de volumen		% Maximo contenido de Humedad	% perdida de Suelo-Cemento		
0.3		3.1	0.7		
 JC ANALISTA		 Ing. Mario de León JEFE DE LABORATORIO			
Observaciones:		4% DE CEMENTO UGC			
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.					



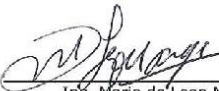
Fuente: Cementos Progreso.

Anexo 7. Resistencia a compresión no confinada de probetas de suelo

	<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:	20612-1					
			FECHA OT:	2013/05/02					
			PAGINA:	1 DE 1					
			IMPRESION:	2013/05/21					
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO								
CONTACTO:	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ								
MUESTRA:	ARENO LIMOSO								
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA								
PROYECTO:	TESIS								
<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>									
<b>RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA DE PROBETAS DE SUELO</b>									
<b>ASTM C-1632 Y D-1633</b>									
<b>DATOS DE ENSAYO</b>									
Fecha Hechura:	2013/05/11	Edad:	7	Fecha Rotura:	2013/05/18				
No.	Masa (Kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)	Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripcion del material
						N/mm <sup>2</sup>	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	1.71	101.9	116.1	24.5	0.905	2.7	394	28	MEZCLA CON 3% CEMENTO UGC
2	1.72	101.8	116.2	23.7	0.905	2.6	382	27	MEZCLA CON 3% CEMENTO UGC
3	16.95	101.9	116.1	31.2	0.905	3.5	501	35	MEZCLA CON 4% CEMENTO UGC
4	1.71	101.9	116.1	31.0	0.905	3.4	499	35	MEZCLA CON 4% CEMENTO UGC
5									
6									
 ANALISTA									
 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO									
Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE									
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-CI-SU-1E-06 REV. 0

Continuación de anexo 7.

	<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:	20612-2					
			FECHA OT:	2013/05/02					
			PAGINA:	1 DE 1					
			IMPRESION:	2013/05/21					
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO								
CONTACTO:	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ								
MUESTRA:	ARENA LIMOSA								
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA								
PROYECTO:	TESIS								
<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>									
<b>RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA DE PROBETAS DE SUELO</b>									
<b>ASTM C-1632 Y D-1633</b>									
<b>DATOS DE ENSAYO</b>									
Fecha Hechura:	2013/05/11	Edad:	7	Fecha Rotura:	2013/05/18				
No.	Masa (Kg)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)	Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripción del material
						N/mm <sup>2</sup>	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	1.71	101.9	116.9	30.1	0.905	3.3	485	34	MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB
2	1.70	102.0	116.8	30.6	0.905	3.4	492	35	MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB
3	1.71	101.7	116.8	39.0	0.905	4.3	630	44	MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB
4	1.73	101.9	116.8	38.6	0.905	4.3	621	44	MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB
5									
6									
 ANALISTA					 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO				
Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE									
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 CEIEC									



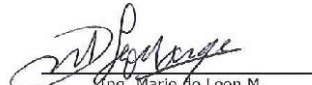
SGE-CI-50-II-06 REV. 0

Continuación de anexo 7.

	<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:	20612-2																																																																									
			FECHA OT:	2013/05/02																																																																									
			PAGINA:	1 DE 1																																																																									
			IMPRESION:	2013/03/10																																																																									
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO																																																																												
CONTACTO:	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ																																																																												
MUESTRA:	ARENA LIMOSA																																																																												
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA																																																																												
PROYECTO:	TESIS																																																																												
<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>																																																																													
<b>RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA DE PROBETAS DE SUELO</b>																																																																													
<b>ASTM C-1632 Y D-1633</b>																																																																													
<b>DATOS DE ENSAYO</b>																																																																													
Fecha Hechura:	2013/05/11	Edad:	28	Fecha Rotura:	2013/06/08																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">No.</th> <th rowspan="2">Masa (Kg)</th> <th rowspan="2">Diametro (mm)</th> <th rowspan="2">Altura (mm)</th> <th rowspan="2">Carga Maxima (KN)</th> <th rowspan="2">Factor de Correccion</th> <th colspan="3">Resistencia Corregida por Esbeltez</th> <th rowspan="2">Descripcion del material</th> </tr> <tr> <th>N/mm<sup>2</sup></th> <th>Lb/pulg<sup>2</sup></th> <th>Kg/cm<sup>2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.72</td> <td>101.6</td> <td>116.7</td> <td>36.0</td> <td>0.905</td> <td>4.0</td> <td>583</td> <td>41</td> <td>MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1.73</td> <td>101.7</td> <td>116.6</td> <td>37.3</td> <td>0.905</td> <td>4.2</td> <td>603</td> <td>42</td> <td>MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.73</td> <td>101.6</td> <td>116.6</td> <td>42.4</td> <td>0.905</td> <td>4.7</td> <td>686</td> <td>48</td> <td>MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1.72</td> <td>101.6</td> <td>116.7</td> <td>41.8</td> <td>0.905</td> <td>4.7</td> <td>677</td> <td>48</td> <td>MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					No.	Masa (Kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)	Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripcion del material	N/mm <sup>2</sup>	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	1	1.72	101.6	116.7	36.0	0.905	4.0	583	41	MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB	2	1.73	101.7	116.6	37.3	0.905	4.2	603	42	MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB	3	1.73	101.6	116.6	42.4	0.905	4.7	686	48	MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB	4	1.72	101.6	116.7	41.8	0.905	4.7	677	48	MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB	5										6									
No.	Masa (Kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)							Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripcion del material																																																														
					N/mm <sup>2</sup>	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>																																																																						
1	1.72	101.6	116.7	36.0	0.905	4.0	583	41	MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB																																																																				
2	1.73	101.7	116.6	37.3	0.905	4.2	603	42	MEZCLA CON 3% CEMENTO CFB																																																																				
3	1.73	101.6	116.6	42.4	0.905	4.7	686	48	MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB																																																																				
4	1.72	101.6	116.7	41.8	0.905	4.7	677	48	MEZCLA CON 4% CEMENTO CFB																																																																				
5																																																																													
6																																																																													
 ANALISTA					 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO																																																																								
Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE																																																																													
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-SU-1E-06 REV. 0

Continuación de anexo 7.

	<b>Laboratorio Central</b> <b>Centro Tecnológico</b> 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181		OT:	20612-1					
			FECHA OT:	2013/05/02					
			PAGINA:	1 DE 1					
			IMPRESION:	2013/03/10					
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO								
CONTACTO:	LUDWING BENJAMÍN LÓPEZ								
MUESTRA:	ARENA LIMOSA								
PROCEDENCIA:	BANCO CHINAUTLA								
PROYECTO:	TESIS								
<b>INFORME DE ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS</b>									
<b>RESISTENCIA A COMPRESION NO CONFINADA DE PROBETAS DE SUELO</b>									
<b>ASTM C-1632 Y D-1633</b>									
<b>DATOS DE ENSAYO</b>									
Fecha Hechura:	2013/05/11	Edad:	28	Fecha Rotura:	2013/06/08				
No.	Masa (Kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Carga Maxima (KN)	Factor de Correccion	Resistencia Corregida por Esbeltez			Descripcion del material
						N/mm <sup>2</sup>	Lb/pulg <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	
1	1.71	101.7	116.5	23.8	0.905	2.7	385	27	MEZCLA CON 3% CEMENTO UGC
2	1.70	101.7	116.5	24.1	0.905	2.7	389	27	MEZCLA CON 3% CEMENTO UGC
3	1.71	101.6	116.6	32.6	0.905	3.6	527	37	MEZCLA CON 4% CEMENTO UGC
4	1.72	101.6	116.6	34.2	0.905	3.8	554	39	MEZCLA CON 4% CEMENTO UGC
5									
6									
 JC ANALISTA		 Ing. Mario de Leon M. JEFE DE LABORATORIO							
Observaciones: * MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE									
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-CI-SU-IE-06 REV. 0

Fuente: Laboratorio Central, Centro Tecnológico.