



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

**ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUÍA TEMÁTICA DE BASES
Y SUB BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA
TRAMOS CARRETEROS**

Luis Pedro Herrera De Guise

Asesorado por Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUÍA TEMÁTICA DE BASES Y
SUB BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA
TRAMOS CARRETEROS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS PEDRO HERRERA DE GUISE
ASESORADO POR ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos.
EXAMINADOR	Ing. Jefry Valentín Rosales Juárez
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alba
EXAMINADOR	Ing. William Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Veliz 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:

ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUÍA TEMÁTICA DE BASES Y SUB BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA TRAMOS CARRETEROS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de noviembre de 2009.

Luis Pedro Herrera de Guise



Guatemala, julio de 2011

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Ordoñez:

De la manera más atenta me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado "ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUIA TEMÁTICA DE BASES Y SUB-BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA TRAMOS CARRETEROS" realizado por el estudiante universitario Luis Pedro Herrera de Guise. Considero que dicho trabajo de graduación ha sido finalizado de forma satisfactoria.

Sin otro particular me suscribo de usted.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ingeniero Civil Omar Enrique Medrano Mendez
Colegiado 6842
Jefe de Sección de Mecánica de Suelos
Centro de Investigaciones de Ingeniería



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



Guatemala,
30 de junio de 2011

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 **ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUÍA TEMÁTICA DE BASES Y SUB BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA TRAMOS CARRETEROS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Pedro Herrera de Guise, 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,

Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
Jefe del Departamento de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales al trabajo de graduación del estudiante Luis Pedro Herrera de Guise, titulado, ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUÍA TEMÁTICA DE BASES Y SUB BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA TRAMOS CARRETEROS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2011.

/bbdeb.

Más de 130^{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 **ESTUDIO DE LABORATORIO Y GUÍA TEMÁTICA DE BASES Y SUB BASES ESTABILIZADAS CON PUZOLANAS PARA TRAMOS CARRETEROS**, presentado por el estudiante universitario **Luis Pedro Herrera De Guise**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, octubre de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi padre

Carlos Alberto Herrera Sarti, quien me ha dado su apoyo incondicional en todo momento, gracias a su carácter y entereza se ha convertido en la persona más importante de mi vida.

Mi madre

Claudia Regina de Guise Galindo de Herrera, gracias a su apoyo y consejo porque el porvenir de un hijo es siempre obra de una madre.

Mis hermanos

Claudia, Mónica, Jorge, Carlos Fernando quienes representan un motivo para seguir adelante y me inspiran para ser mejor cada día.

Mis abuelos

Por los momentos de experiencia que viví con ellos, ya que no entiendes realmente algo a menos que seamos capaces de explicárselo a nuestros abuelos.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Que no manda cosas imposibles, sino que, al mandar lo que manda, te invita a hacer lo que puedas y pedir lo que no puedas y te ayuda para que puedas.

Mis padres

Por su amor, comprensión y amistad que me han brindado.

Mis hermanos

Por todos los momentos que hemos compartido juntos.

Mi familia

Por ayudarme siempre y en todos los momentos, por inculcarme siempre el estudio.

Mariela Medrano

Por enseñarme que conseguir la realización personal es dedicarse a metas desinteresadas y por darme su punto de apoyo que me hace pensar que moveré la Tierra.

Mi asesor

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez, por la asesoría en mi trabajo de graduación, pero sobre todo, hacerme entender que la enseñanza que deja huella no es la que se hace de cabeza a cabeza, sino de corazón a corazón.

Amigos y compañeros

Porque juntos compartimos ideas, inquietudes, alegrías, tristezas, ya que el verdadero amigo es aquél que está a tu lado cuando preferiría estar en otra parte.

Catedráticos

Por sus conocimientos que día a día impartieron durante las diferentes etapas de mis estudios, dentro y fuera de las aulas de clase.

Construplast S.A.

Por el aprendizaje obtenido y darme la oportunidad de seguir con mis estudios y dejarme las puertas de la sabiduría abiertas, aquéllas que nunca están cerradas.

Comisión Portuaria Nacional

Por la oportunidad brindada, el aprendizaje recibido día a día y a enseñarme que no basta con alcanzar la sabiduría, es necesario saber utilizarla.

La Facultad de Ingeniería

Por formarme como profesional.

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el templo del conocimiento.

A ustedes

Aquellas personas que estuvieron, están y estarán en mi vida, ya que solamente una vida dedicada a los demás merece ser vivida, porque en el fondo son las relaciones con las personas lo que da sentido a la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. DEFINICIÓN DE MATERIAL PUZOLÁNICO	
1.1. Materiales	1
1.2. Definición de las puzolanas	1
1.2.1. Clasificación	1
1.3. Descripción de las puzolanas	2
1.3.1. Puzolanas naturales	2
1.3.2. Puzolanas artificiales	3
1.4. Características mecánicas de los materiales	6
1.5. Sub-bases y bases	8
1.5.1. Sub-base	8
1.5.2. Base	9
1.5.2.1. Base de grava o piedra triturada	9
1.5.2.2. Base granular	11
1.5.3. Tipo de pavimentos	13
1.5.3.1. Pavimentos rígidos	13
1.5.3.2. Pavimentos flexibles	14

1.6.	Capa de rodamiento estabilizado con material puzolánico, ventajas y desventajas (teoría)	16
1.6.1.	Capa de rodamiento	16
1.6.2.	Estabilización con material puzolánico	16
1.6.2.1.	Estabilización	17
1.6.2.2.	Estabilización de una capa de rodamiento	17
2.	ESTUDIO DE LA REACTIVIDAD PUZOLÁNICA	
2.1.	Generalidades sobre la reactividad puzolánica	19
2.2.	Materiales en el estudio de la reactividad puzolana cal	21
2.2.1.	Puzolana	21
2.2.2.	Cal	21
2.2.3.	Agua	21
3.	ESTABILIZACION DE SUELOS Y TIPOS DE ESTABLIZACION	
3.1.	Estabilización de suelos	23
3.2.	Estabilización por compactación	23
3.3.	Estabilización con cal	23
3.4.	Estabilización con cemento	24
3.5.	Estabilización con productos asfálticos	24
3.6.	Estabilización por electro-osmosis	25
3.7.	Estabilización mecánica	25
3.8.	Estabilización con sal	25
3.9.	Estabilización con cal-sal	26
3.10.	Estabilización con productos químicos	26
3.11.	Estabilización térmica	27
3.11.1.	Estabilización térmica por calentamiento	27
3.12.	Estabilización por vibro flotación	27

4.	ESTABILIZACIÓN CON PUZOLANA Y CAL	
4.1.	Análisis de los factores de fraguado de los aglomerantes hidráulicos y puzolánicos	29
4.1.1.	Factores termodinámicos	29
4.1.1.1.	Sistema sílice-alúmina-cal	29
4.2.	Factores texturales	31
4.3.	Factores cinéticos	32
4.4.	Leyes de variación de la resistencia mecánica en función del tiempo	33
5.	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN EN OBRA	
5.1.	Tipos de estabilización	35
5.2.	Forma de colocación	36
5.2.1.	Proceso constructivo	36
5.2.1.1.	Pavimentos rígidos	36
5.2.1.2.	Pavimentos flexibles	37
5.2.1.2.1.	Preparación de la mezcla	37
5.2.1.2.2.	Preparación de la base	38
5.2.1.2.3.	Transporte de la mezcla	38
5.2.1.2.4.	Colocación de la mezcla y compactación	39
5.3.	Sub-rasante	40
5.3.1.	Sub-base	40
5.3.2.	Apoyo uniforme	41
6.	GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PAVIMENTO	
6.1.	Monitoreo una vez colocado en el sitio (teoría)	43

6.1.1.	Ensayos en laboratorio	44
6.1.2.	Ensayos en el campo	45
6.2.	Elementos de la estructura de un pavimento a tomar en cuenta	46
6.2.1.	Elementos técnicos	46
6.2.2.	Elementos económicos	46
6.2.2.1.	Economía general	47
7.	INVESTIGACIÓN DE LAS PUZOLANAS EN GUATEMALA	
7.1.	Aspecto geológico	49
7.2.	Verificación físico mecánica y química de la puzolana	51
7.3.	Aplicaciones	53
7.4.	Limitaciones de las investigaciones realizadas	54
8.	ENSAYOS EN LABORATORIO	
8.1.	Preparación de las muestras	55
8.2.	Análisis granulométrico	56
8.3.	Límites de Atterberg	57
8.4.	Ensayos de compactación (próctor modificado)	58
8.5.	Determinación del valor soporte (<i>CBR</i>)	59
9.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	
9.1.	Evaluación de las propiedades de las puzolanas naturales	61

10.	ANÁLISIS Y COMPARACION DE RESULTADOS	
10.1.	Resultados de compactación de M1, M2 y M3	69
10.2.	Resultados del la muestra de <i>CBR</i> de M1, M2 y M3	78
10.3.	Resultados de granulometría de M1, M2 y M3	91
10.4.	Tabla de resumen de resultados de M1, M2 y M3	94
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA	109
	ANEXOS	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Sección típica de un pavimento rígido	14
2. Sección típica de un pavimento flexible	15
3. Triángulo del diagrama ternario de hidratación	31
4. Curva granulométrica	56
5. Carta de plasticidad	58
6. Ensayo de compactación M1	70
7. Ensayo de compactación M2	70
8. Ensayo de compactación M3	71
9. Ensayo de compactación M1 + 3% cal	73
10. Ensayo de compactación M2 + 3% cal	73
11. Ensayo de compactación M3 + 3% cal	74
12. Ensayo de compactación M1 + 3% cal + suelo arcilloso	76
13. Ensayo de compactación M2 + 3% cal + suelo arcilloso	76
14. Ensayo de compactación M3 + 3% cal + suelo arcilloso	77
15. Razón soporte de California M1	79
16. Razón soporte de California M2	80
17. Razón soporte de California M3	80
18. Razón soporte de California muestra de suelo	81
19. Razón soporte de California M1 + 3% cal	84
20. Razón soporte de California M2 + 3% cal	84
21. Razón soporte de California M3 + 3% cal	85
22. Razón soporte de California suelo + 3% cal	85
23. Razón soporte de California M1 + suelo + 3% cal	88

24. Razón soporte de California M2 + suelo + 3% cal	89
25. Razón soporte de California M3 + suelo + 3% cal	89
26. Análisis granulométrico M1	92
27. Análisis granulométrico M2	93
28. Análisis granulométrico M3	93
29. Análisis granulométrico suelo	94

TABLAS

I. Clasificación de la puzolana (Norma francesa)	2
II. Descripción de las puzolanas	5
III. Requisitos de granulometría de una base de grava	11
IV. Requisitos de granulometría de una base granular	13
V. Límites de consistencia	57
VI. Resultados de ensayo M1	62
VII. Resultados de ensayo M2	64
VIII. Resultados de ensayo M3	66
IX. Resultados de ensayo suelo	68
X. Resultados de compactación M1, M2 y M3	69
XI. Resumen resultados de compactación M1, M2, y M3	72
XII. Resumen resultados de compactación M1, M2, M3 y suelo	75
XIII. <i>CBR</i> M1 M2 M3 y suelo	78
XIV. <i>CBR</i> M1 M2 M3 y suelo + CAL	82
XV. Resumen <i>CBR</i> M1 M2 M3 y suelo + CAL	86
XVI. Análisis granulométrico M1 M2 M3 y suelo	91
XVII. Resumen de resultados M1	94
XVIII. Resumen de resultados M2	95
XIX. Resumen de resultados M3	95
XX. Resumen de resultados suelo	96

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
CO₂	Dióxido de carbono
SiO₂	Dióxido de sílice
Fig.	Figura
F	Fuerza
CaOH₂	Hidróxido de calcio
Micro (μ)	Milésima parte del milímetro
mm	Milímetro
Al₂O₃	Óxido de aluminio
CaO	Óxido de calcio
Fe₂O₃	Óxido de hierro

GLOSARIO

Aglomerantes hidráulicos	Aquellos materiales que, en estado pastoso y con consistencia variable, tienen la propiedad de poderse moldear, de adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables
Bauxitas naturales	Roca arcillosa de color blanco y, a veces, rojizo, compuestas de combinaciones hidratadas de alúmina, óxidos de hierro y titanio. Se usa como materia prima para la obtención de aluminio.
Capa de rodamiento	Aquel material cuya función primordial será la de proteger la base, impermeabilizando la superficie de carreteras para evitar así posibles infiltraciones de agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores, además evita que se desgaste o desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Carpeta asfáltica de nivelación

Es una capa de mezcla de agregado y asfalto de espesor variable, utilizada para eliminar irregularidades de la superficie existente antes de cubrirla con un tratamiento nuevo, o con una carpeta de recubrimiento.

Carpeta asfáltica de recubrimiento

Consiste en una o más capas asfálticas aplicadas sobre el pavimento existente. La carpeta de recubrimiento generalmente consiste de una carpeta de nivelación, para corregir las irregularidades del pavimento viejo, seguida por una o varias carpetas de grosor uniforme, hasta obtener el espesor total necesario.

CBR

California Bearing Ratio (Razón Soporte de California), mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo.

Dióxido de sílice

Es un compuesto de silicio y oxígeno, llamado comúnmente sílice. Es uno de los componentes de la arena. Una de las formas en que aparece en la naturaleza es el cuarzo. Este compuesto ordenado espacialmente en una red tridimensional (cristalizado) forma el cuarzo y todas sus variedades. Si se encuentra en estado amorfo constituye el ópalo, que suele incluir un porcentaje elevado de agua, y el sílex.

Diatomeas

Son organismos fotosintéticos que viven en agua dulce o marina constituyendo una parte muy importante del fitoplancton. Uno de los rasgos característicos de las células de diatomeas es la presencia de una cubierta de sílice (dióxido de Silicio hidratado) llamado frústulo.

Escorias siderúrgicas

Es un subproducto generado durante el proceso siderúrgico, con propiedades específicas que, al ser tratado, lo convierten en un material muy valioso para otros usos, tales como la construcción de carreteras y obras públicas.

Fraguado

Es el endurecimiento de una mezcla diseñada para ese fin. Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar.

Gypse

Es una especie de mineral compuesto de sulfato de hidrato de calcio para formar $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Libro Azul	Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes (Libro Azul de Caminos), es el compendio que norma en forma general, las relaciones entre la Dirección General de Caminos y los contratistas, para todas sus obras.
LKD	<i>Lime klin dust</i> (LKD por sus singlas en ingles), es el residuo fino que resulta de la combustión de carbón y el tratamiento de caliza en un horno, para procesar la piedra en cal y que es removido de los gases de escape del horno.
Módulo de resiliencia	Es una medida de lo que puede llamarse la resistencia a la energía elástica del material y es de importancia en la selección de materiales para servicio, cuando las partes están sometidas a cargas de energía, pero cuando los esfuerzos deben mantenerse dentro del límite elástico.
Productos bituminosos	Materiales aglomerantes, de naturaleza orgánica.
PUS	Peso unitario seco, peso seco de la muestra, sobre su volumen.

Rocas piroclásticas

A las formadas por agregación de piroclastos; por ejemplo, la toba volcánica, formado por cenizas, o las ignimbritas, formadas por fragmentos heterogéneos arrastrados por flujo piroclástico. Las rocas piroclásticas son clasificadas entre las ígneas volcánicas, de acuerdo a su composición; pero por la forma en que se depositan, en estratos, presentan rasgos y propiedades más característicos de las rocas sedimentarias.

Sub-rasante

Es considerado como tal el suelo preparado y compactado para soportar una estructura o un sistema de pavimento.

Sub-suelo

El suelo situado debajo de una sub-rasante o terraplén. Es la parte de un perfil de suelos que queda abajo del horizonte.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo tratar aspectos generales de las puzolanas, tomando en consideración la clasificación y la descripción del material puzolánico; las características mecánicas de estos materiales, usados para estabilizar las bases y las sub bases. Centra su atención en el estudio de la reactividad puzolánica, específicamente en la explicación de la reactividad de este tipo de material en lo relacionado con las generalidades y los materiales utilizados en dicho proceso de reactividad.

Se trabajó sobre la estabilización de suelos y sus tipos, con énfasis en la de puzolana y cal, ya que el aglomerante puzolana-cal utilizado en el tratamiento de las arcillas, le proporciona características mecánicas muy satisfactorias a largo plazo, a pesar de un lento fraguado, este resultado de la aplicación del aglomerante mencionado es un elemento sustancial para el desarrollo de la investigación y posteriormente corroborado en ensayos de laboratorio que se documentan en la segunda parte de este trabajo. Se consideran y desarrollan aspectos técnicos, los cuales deben ser tomados en consideración en la preparación y colocación de la obra, estableciendo elementos teóricos y prácticos en su totalidad, así como generalidades sobre el diseño y construcción de un pavimento, sin olvidar que los aspectos técnicos deben complementarse con los económicos, ya que ambos son fundamentales y no deben ser considerados de forma aislada, sino como un todo al momento de gestar y decidir la utilización de la estabilización por puzolana-cal en la estructura de un pavimento.

En la segunda parte del trabajo de investigación, el apartado referente al estudio experimental, incluye todos los resultados de los ensayos realizados, se inicia evaluando las propiedades de las puzolanas naturales; la de las puzolanas y de la arcilla tratados con cal.

OBJETIVOS

General

Establecer una guía práctica para el estudio de la reactividad puzolánica de los materiales de construcción de carreteras a partir de los ensayos y teoría existente, así como una guía temática después de la construcción de la misma, para cualquier tipo de asfalto y agregado estabilizado con material utilizado para base puzolana.

Específicos

1. Determinar la factibilidad del uso de la puzolana extraída directamente de banco de materiales, para la estabilización con cal.
2. Evaluar las propiedades mecánicas de los suelos estabilizados con puzolana-cal.
3. Aplicar las Normas ASTM, AASHTO y sus especificaciones para realizar el control de calidad de cada uno de los ensayos.
4. Determinar resultados para lograr una guía completa sobre los tramos estabilizados con puzolana y cal con base al Libro Azul División 300.

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente trabajo de graduación es complementar ensayos hechos en el pasado con la utilización de material puzolánico con cal para la estabilización de bases y sub-bases para tramos carreteros y complementar con la planificación de una guía temática de dicha utilización, para expresar los pasos que se deben de tomar en cuenta, así como los ensayos que se realizarán, una vez hecho el trabajo.

Para su elaboración se realizaron pruebas de laboratorio que se llevaron a cabo en el Laboratorios CIEN, Ciencia y Tecnología en Control de Calidad, para determinar la factibilidad del uso del aglomerante puzolana-cal en el diseño de capas de pavimentación, tales como bases y sub-bases, así como una parte teórica donde se detallan los tipos de ensayos que se deberán de incluir después de haber usado el aglomerante en campo.

La aglomerante puzolana-cal utilizado para el tratamiento de las arcillas les da características mecánicas muy satisfactorias a largo plazo a pesar de un lento fraguado. Las experiencias realizadas en Estados Unidos y Europa, así como en los métodos de construcción utilizados, demuestran que esta técnica es comparable a las otras de estabilización que utilizan aglomerantes hidráulicos.

En forma general el presente trabajo de graduación comprende:

- Definición de diferentes estabilizaciones y aglomerantes utilizados en pavimentos.
- Características, control y apreciación de la reactividad de las puzolanas.
- Estudio de la reactividad de las puzolanas a la cal.
- Estudio y ensayos de laboratorio para el tratamiento de las arenas trituradas por el aglomerante puzolana y cal.

1. DEFINICIÓN DE MATERIAL PUZOLÁNICO

1.1. Materiales

Puzolanas: son materiales naturales muy livianos, resultantes de la erupción volcánica, se encuentran en forma de ceniza, pómez, escorias, bombas y lapilis. Por sí mismo no es reactivo, pero, reacciona con cal y agua a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes.

1.2. Definición de las puzolanas

Las puzolanas son materiales naturales muy livianos, resultantes de la erupción volcánica, se encuentran en forma de cenizas, pómez, escorias, bombas y lapilis, los yacimientos son en forma de cono regular, de pendiente generalmente inferior a 45 grados. Algunas puzolanas, suficientemente activas, entran en forma triturada en la composición de cementos. En forma de arena, junto con la cal, sirven para estabilizar granulados para pavimentos. La puzolana por sí misma no es reactiva, pero reacciona con cal y agua a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes.

1.2.1. Clasificación

Después de la extracción de las puzolanas, éstas son trituradas bajo la forma de arena de 3 a 5 mm. Con aproximadamente 12% de finos.

La clasificación de las puzolanas depende de su granularidad. Las curvas granulométricas deberán en 95% de los casos satisfacer la totalidad de las especificaciones definidas en la tabla No. 1.

Tabla I. **Clasificación de la puzolana (Norma francesa)**

Clase de Puzolana	I	II	III
Retenido en tamiz 5 mm	0%	0%	0%
Retenido en tamiz 4 mm	<10%	<10%	<10%
% entre 0.08 y 0.2 mm	>8%	>8%	>8%
Cantidad finos < 80 μm	6-10%	10-14%	14-18%

Fuente: libro azul de 2001.

1.3. Descripción de las puzolanas

1.3.1. Puzolanas naturales

Estas puzolanas pueden tener dos orígenes, el primero puramente mineral y el otro orgánico.

Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación de polvo y cenizas volcánicas que como material piro clástico incoherente, procedente de erupciones explosiva son ricos en vidrio y tienen estado especial de reactividad, son aptos para sufrir acciones endógenas (ceolitización y cementación) o exógenas (argilización) de las cuales, las primeras son favorables y las segundas desfavorables.

Por una continuada acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, es decir, en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas, líticas o vítreas, según su naturaleza.

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos, que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silícicos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas de diatomeas).

Dentro de la mineralogía y petrografía de las puzolanas naturales, todas las propiedades de éstas y en particular aquéllas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria de los aglomerantes hidráulicos, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales, a su vez, están íntimamente relacionadas con su origen formación.

1.3.2. Puzolanas artificiales

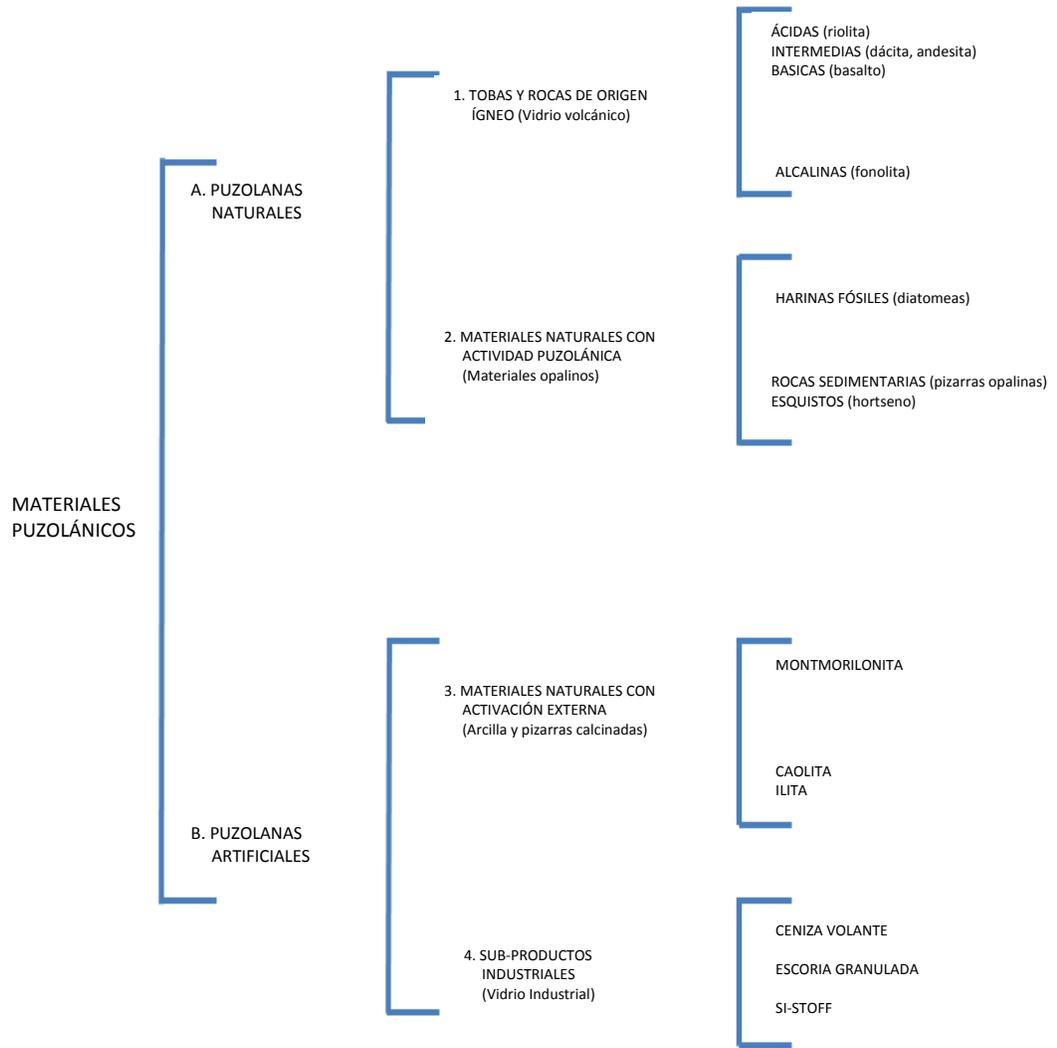
Se definen éstas como materiales que deben su condición a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta condición se distinguen dos grupos: uno, el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos y otro el constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales que en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas.

Al primero de estos grupos pueden asimilarse, por su analogía, las puzolanas designadas como mixtas o intermedias o semi-artificiales, es decir, aquéllas que, naturales por su origen, se ennoblecen posteriormente por

tratamiento. Representantes típicos de este grupo son el polvo de ladrillo obtenido de productos de desecho de la cerámica alfarera, las bauxitas naturales y las cenizas del cascabillo de arroz.

En el segundo grupo encajan los residuos de las bauxitas utilizadas para la obtención del aluminio y el polvo de chimeneas de altos hornos. También pueden incluirse en este grupo, aunque presentan grandes concomitancias con las escorias, las cenizas volantes y de parrilla de las centrales termo eléctricas y las cenizas de lignitos. Por extensión, las mismas escorias siderúrgicas podrían acoplarse en el grupo, con las salvedades hechas en otro lugar.

Tabla II. Descripción de las puzolanas



Fuente: libro azul de 2001.

1.4. Características mecánicas de los materiales

Para el estudio de estabilización con puzolana y cal se debe tener presente que la caliza presenta su máxima eficacia con los suelos arcillosos plásticos, variando desde los tipos granulares como arcillas o gravas, hasta las arcillas de grano fino. (Índice de plasticidad de 10-50 o más). La caliza reacciona también con muchos limos; sin embargo, no debe emplearse sola con suelos arenosos sin cohesión, como es el caso de las arenas de río. Los suelos arenosos y ciertos limos pueden hacerse reaccionar por la adición del 8% al 15% de puzolana, como cenizas volantes o cenizas volcánicas o incluso arcillas reactivas.

Los principales cambios que se producen en un suelo, como lo es la arena triturada durante la estabilización con puzolana-cal son los siguientes:

- Aumento considerable del ángulo de fricción.
- Una mejor trabajabilidad, una menor tendencia a la segregación y una menor tendencia a la exudación.
- Mayores resistencias, en general, a largo plazo, debido a un lento fraguado.
- Una mayor impermeabilidad y, en consecuencia, una menor tendencia al deslavado de la cal por aguas muy duras o ácidas (de bajo PH).

Como resultado de estos cambios, la capa estabilizada con puzolana-cal se convierte en una barrera más resistente a la humedad y un fuerte soporte para la construcción del pavimento que debe superponerse. Como la capa

estabilizada no se reblandece durante la lluvia, la construcción de las siguientes capas de la estructura del pavimento puede continuar con poco o ningún retraso, en época lluviosa.

Cuando se emplean materiales con características granulares, la capa estabilizada puede servir como capa de base o sub-base. Cuando se emplean suelos de grano fino como arcilla, es posible utilizar la capa estabilizada como parte superior del terraplén o sub-base pero nunca como base. En cualquiera de estas aplicaciones puede confiarse en la resistencia de la capa estabilizada, que repercutirá en un ahorro en el espesor total del pavimento.

La determinación de la cantidad de cal a emplearse, así como de puzolana, se basa en ensayos preliminares de laboratorio, siendo los principales:

- La distribución de los tamaños de las partículas, o granulometría.
- Ensayos de resistencia y estabilidad, como el *CBR*.

Las cantidades características de cal empleadas en obra son del 2 al 4% para suelos granulares y del 3 al 5% para suelos de grano fino (porcentajes sobre peso seco); sin embargo, se han usado con éxito para arcillas y gravas de baja plasticidad, cantidades tan pequeñas como el 1%.

Por último, la estabilización por medio de la puzolana-cal, puede ser aplicada con éxito a todos los tipos de vías, así sean, caminos rurales, calles urbanas o para elementos de la estructura de autopistas.

1.5. Sub-bases y bases

1.5.1. Sub-bases

Es la estructura del pavimento, cuya función es la de distribuir, soportar y transmitir uniformemente las cargas del tránsito a la sub-rasante, para no exceder los esfuerzos permisibles de la misma. Otra función de la capa de sub-base es la de abaratar el costo de construcción de un pavimento.

La capa de sub-base debe estar constituida de suelo granular, que llene los requisitos siguientes bajo las Normas del libro azul de 2001, en su sección 303:

- Valor soporte: el material debe tener un *CBR*, AASHTO T 193, mínimo de 30, efectuado sobre muestra saturada 95% de compactación, AASHTO T 180.
- Tamaño de partículas: no debe exceder de 70 milímetros ni exceder de $\frac{1}{2}$ espesor de la capa.
- Plasticidad y cohesión: la porción que pasa el tamiz 0.425 mm, no debe de tener un índice de plasticidad AASHTO T 90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T 89 mayor de 25.
- Impurezas: el material de sub-base debe estar exento de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de sub-base puedan causar fallas en el pavimento.

1.5.2. Base

Es la estructura del pavimento, destinada a distribuir y transmitir uniformemente las cargas del tránsito a las capas de sub-base o sub-rasante y sobre la cual se construye la carpeta de rodadura.

La base no estabilizada puede ser de grava o piedra triturada o granular.

1.5.2.1. Base de grava o piedra triturada

Consiste en piedra o grava de buena calidad triturada y mezclada con un material de relleno. El material de base debe llenar los requisitos siguientes bajo las normas del libro azul de 2001, en su sección 305:

- Valor soporte: debe tener un *CBR* determinado por el método AASHTO T 193, mínimo de 50 para la sub-base y de 90 para la base, efectuado sobre muestra saturada, a 95% de compactación determinada por el método AASHTO T 180.
- Abrasión: la porción de agregado retenida en el tamiz 4.75 mm (Nº 4), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASHTO T 96, mayor de 50 a 500 revoluciones.
- Caras fracturadas y partículas planas y alargadas. No menos del 50% en peso del material retenido en el tamiz 4.75 mm (Nº 4), deben de tener por lo menos una cara fracturada.
- Impurezas: el material de sub-base o base triturada debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que

incorporadas dentro de la capa de sub-base o base triturada puedan causar fallas en el pavimento.

- Graduación: el material para capa de sub-base o base triturada debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11 de los que se estipulan en la tabla III.
- Plasticidad y cohesión: el material de sub-base o base triturada, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (Nº 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la sub-base ni mayor de 3 para la base, ni un límite líquido, AASHTO T 89 mayor de 25, tanto para la sub-base como para la base, determinados ambos sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146.
- Material de relleno: cuando se necesite agregar material de relleno, en adición al que se encuentra en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe estar libre de impurezas y consistir en arena, polvo de roca, limo inorgánico u otro material con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz 2.00 mm (Nº 10).

Tabla III. **Requisitos de granulometría de una base de grava**

Tamiz	% en peso que pasa tamiz de malla cuadrada					
	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2"	100	100				
1½"			100	100		
1"	65-85	70-90	70-95	70-100	100	100
¾"	50-80	50-75	55-85	60-90	70-100	70-100
⅜"				45-75		50-80
No. 4	30-60	25-60	30-60	30-60	35-65	35-65
No. 10				20-50		25-50
No. 40	10-25	7-30	10-25	10-30	15-25	15-30
No. 200	3-10	0-15	3-10	5-15	3-10	5-15

Fuente: libro azul de 2001

1.5.2.2. Base granular

El material debe consistir en piedra o grava clasificada sin triturar, o triturada parcialmente, combinados con arena y material de relleno. El material de base deberá llenar los requisitos siguientes bajo las normas del libro azul del año 2001, en su sección 304:

- Valor soporte: debe tener un *CBR* determinado por el método AASHTO T 193, mínimo de 40 para la sub-base y de 70 para la base, efectuado sobre muestra saturada, a 95% de compactación determinada por el método AASHTO T 180.

- Abrasión: la porción de agregado retenida en el tamiz 4.75 mm (Nº 4), no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión determinado por el método AASHTO T 96, mayor de 50 a 500 revoluciones.
- Partículas planas o alargadas: no más del 25% en peso del material retenido en el tamiz 4.75 mm (Nº 4), pueden ser partículas planas o alargadas, con una longitud mayor de cinco veces el espesor promedio de dichas partículas.
- Impurezas: el material de sub-base o base granular debe estar exento de materias vegetales, basura, terrones de arcilla o sustancias que incorporadas dentro de la capa de sub-base o base granular puedan causar fallas en el pavimento.
- Graduación: el material para capa de sub-base o base granular debe llenar los requisitos de graduación, determinada por los métodos AASHTO T 27 y AASHTO T 11 de los que se estipulan en la tabla IV.
- Plasticidad y cohesión: el material de la capa de sub-base o base granular, en el momento de ser colocado en la carretera, no debe tener en la fracción que pasa el tamiz 0.425 mm (Nº 40), incluyendo el material de relleno, un índice de plasticidad mayor de 6 para la sub-base y base, determinado por el método AASHTO T 90, ni un límite líquido mayor de 25, tanto para la sub-base como para la base. Según AASHTO T 89.
- Material de relleno: cuando se necesite agregar material de relleno, en adición al que se encuentra naturalmente en el material, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión,

éste debe estar libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, polvo de roca, limo inorgánico u otro material con alto porcentaje de partículas que pasan el tamiz 2.00 mm (Nº 10).

Tabla IV. **Requisitos de granulometría de una base granular**

Tamiz	% en peso que pasa tamiz de malla cuadrada					
	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
2"	100	100				
1½"			100	100		
1"	70-90	60-85			100	100
¾"			60-90			
No. 4	25-60	20-50	30-60	20-50	35-65	40-70
No. 40					15-30	
No. 200	3-15	3-10	5-15	3-10	5-15	3-15

Fuente: libro azul de 2001

1.5.3. Tipos de pavimentos

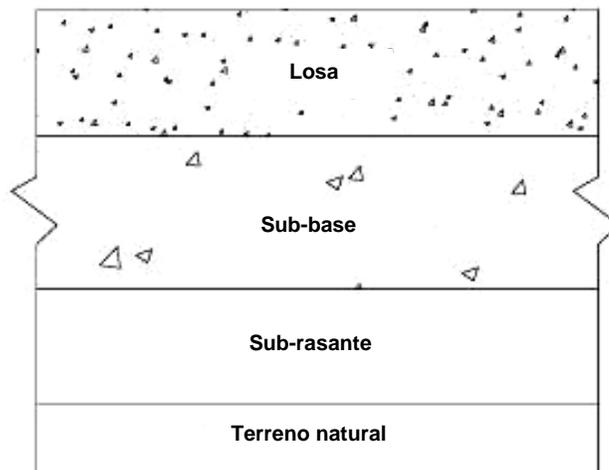
1.5.3.1. Pavimentos rígidos

Son hechos de una losa de cemento, rígida y resistente que reparte la carga recibida en una zona muy amplia de la sub-rasante.

Los principales elementos del pavimento rígido son:

- Sub-rasante
- Su-base
- Losa de concreto

Figura 1. **Sección típica de un pavimento rígido**



Fuente: elaboración propia.

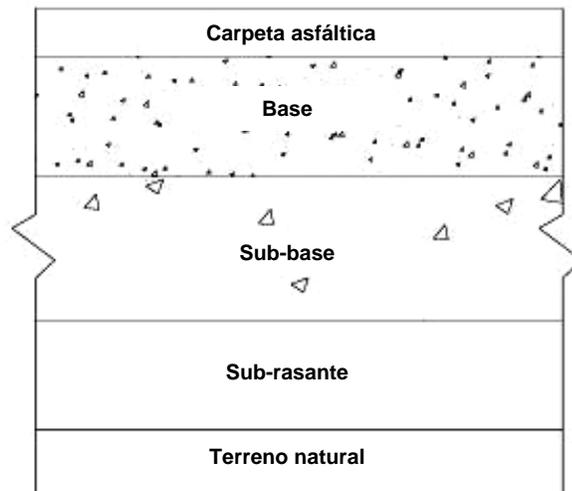
1.5.3.2. Pavimentos flexibles

Construidos de varias capas de suelo y una carpeta asfáltica superficial, que recibe y distribuye las cargas a través del espesor de esas capas, hasta aplicar esta carga en una pequeña superficie de la sub-rasante.

Los principales elementos de un pavimento flexible son:

- Sub-rasante
- Sub-base
- Base
- Carpeta asfáltica

Figura 2. **Sección típica de un pavimento flexible**



Fuente: elaboración propia.

1.6. Capa de rodamiento estabilizado con material puzolánico, ventajas y desventajas (teoría)

1.6.1. Capa de rodamiento

Su función es proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones de agua que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores, además evita que se desgaste o desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Asimismo, la capa de rodamiento contribuye en cierto modo a aumentar la capacidad soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (mayor a 3”).

Generalmente, la capa de rodamiento está compuesta por una mezcla bituminosa o en otros casos de concreto asfáltico.

1.6.2. Estabilización con material puzolánico

La estabilización del suelo, o en este caso de la capa de rodamiento cambia considerablemente las características del mismo, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que contiene la acción del agua.

En el presente estudio se hace una estabilización que relaciona la cal y la puzolana como principal activo, se investigó en tránsitos livianos (caminos rurales).

1.6.2.1. Estabilización

Cuando se añaden las cantidades adecuadas de cal y agua, el PH del suelo aumentará rápidamente arriba de 10.5, lo que permite romper las partículas de arcilla. La determinación de la cantidad de cal necesaria es parte del proceso de diseño y se estima por pruebas como ASTM d6276. se liberan la sílice y la alúmina y reaccionan con el calcio de la cal para formar hidratos de calcio-silicatos (csh) e hidratos de calcio-aluminatos (cah), csh y cah que son productos cementantes similares a aquéllos formados en el cemento portland. Ellos forman la matriz que contribuye a aumentar la resistencia de las capas de suelo estabilizadas con puzolana-cal.

Cuando se forma esta matriz, el suelo se transforma de un material arenoso, a una capa dura relativamente impermeable, con una capacidad de carga significativa. El proceso se inicia en unas horas y puede continuar durante años, en un sistema diseñado correctamente. La matriz formada es permanente, duradera, y significativamente impermeable, produciendo una capa estructural que es tan fuerte como flexible.

1.6.2.2. Estabilización de una capa de rodamiento (tránsito liviano) con puzolana y cal

La estabilización de una capa de tránsito liviano es generalmente en suelos con cantidades bajas de arcilla. La cal por sí misma puede reaccionar con suelos que contienen tan poca arcilla como 7% e índices de plasticidad tan bajos como 10. Si el suelo no es suficientemente reactivo, la cal puede ser combinada con una fuente adicional de sílice y alúmina. Tales puzolanas incluyen la ceniza volante y la escoria de alto horno. La sílice y alúmina adicional de las puzolanas reaccionan con la cal para formar la fuerte matriz

cementante que caracteriza a una capa de rodamiento (tráfico liviano) estabilizada con puzolana-cal. Las mezclas correctamente proporcionadas de cal y puzolanas pueden modificar o estabilizar casi cualquier suelo, pero comúnmente se utilizan para suelos con plasticidad de baja a media.

La ceniza volante es la puzolana más usada. Ésta es el residuo fino que es resultado de la combustión de carbón pulverizado en calderas de centrales eléctricas, la cual es transportada de la cámara de combustión a la chimenea de los gases.

El empleo de ceniza o polvo de horno de cal (*LKD* por sus siglas en inglés) es una alternativa cada vez más popular. El *LKD* es el residuo fino que resulta de la combustión de carbón y el tratamiento de caliza en un horno para procesar la piedra en cal y que es removido de los gases de escape del horno. El *LKD* por lo general, contiene una cantidad significativa de cal, aluminio y silicio por lo que es, en esencia, una pre mezcla de puzolana y cal. La cantidad de cal, silicio u aluminio en el *LKD* varía, principalmente dependiendo de la caliza, el combustible y el tipo de operaciones del horno durante el proceso de fabricación de cal.

2. ESTUDIO DE LA REACTIVIDAD PUZOLÁNICA

2.1. Generalidades sobre la reactividad puzolánica

La reactividad es el estudio de la acción que produce la cal en la puzolana. Esta acción se manifiesta en el cambio que se va produciendo en el mortero en el transcurso del tiempo, el cambio más importante es la capacidad que tendrá el mortero de resistir la carga aplicada y el tiempo en que eso se logra.

La actividad puzolánica se deriva de una composición química abundante en compuestos ácidos, sílice y sesquióxidos y, contrariamente, pobre en compuestos básicos, cal y magnesia.

De estos componentes de la puzolana es la sílice la más activa de reaccionar con la cal. En orden de importancia su principal componente es el dióxido de silicio (SiO_2) le sigue la alúmina (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3).

Muchos investigadores han concluido que la composición química de una puzolana no da un criterio adecuado suficiente para juzgar su calidad, por lo que siempre es necesario acudir a un estudio experimental para obtener un juicio más completo.

La resistencia mecánica de las mezclas granulares, tales como las gravas y las arenas estabilizadas con aglomerantes hidráulicos, es una función compleja del tiempo, que integra el contenido del aglomerante activo, la cinética propia de la hidratación del aglomerante y la forma de la distribución de los vacíos.

Los aglomerantes minerales utilizados en la construcción en Ingeniería Civil tienen en común la propiedad de endurecer cuando se mezclan con una cantidad de agua conveniente.

Esta transformación tiene relación con las reacciones químicas, a veces complejas, que dan nacimiento a compuestos hidratados. Esas neoformaciones tienen propiedades aglomerantes cuando de una parte, tienen una cohesión propia importante y de otra parte se adhieren con suficiente fuerza a la superficie de los granulados y eventualmente a las armaduras metálicas.

Dos sistemas químicos con esa propiedad son utilizados en gran escala, el primero es el *gypse*, obtenido por hidratación del yeso y de la anhidrita; el segundo es el de los silicatos de calcio hidratado, simples o complejos, como el cemento endurecido; por ejemplo. La posibilidad de cambio espontáneo de un sistema inicial que constituye la pasta al sistema final endurecido, es debido a una tensión, de orden termodinámico que se llama afinidad química y que corresponde a la diferencia de energía libre entre el estado inicial y el estado final.

2.2. Materiales utilizados para el estudio de la reactividad puzolana-cal

2.2.1. Puzolana

Se trata de localizar una puzolana natural de origen mineral, consistente en una ceniza volcánica, localizada en el Sur de Quetzaltenango en un banco de préstamo el cual es abundante, en esa parte se encuentran varios bancos con características muy similares.

2.2.2. Cal

Comercialmente, la cal es producida con piedra caliza quebrada y calcinada, o dolomitas. La estructura física y la composición química de diferentes piedras calizas varían considerablemente y en algunos casos puede afectar el producto final. Los gases calientes producidos por el gas de combustión, carbón o aceite, son pasados sobre un material crudo, reduciendo el material, de un carbono, a una forma de óxido. Esta cal en forma de óxido es conocida como cal viva.

La cal viva debe ser tratada con suficiente agua para producir la cal hidratada o forma hidróxido de la cal, la cual será utilizada en el estudio de reactividad puzolana-cal.

2.2.3. Agua

Se utiliza agua potable. El contenido de agua en la mezcla puzolana-cal no tiene mayor influencia en la reactividad, incide sólo en el costo de acarreo.

3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TIPOS DE ESTABILIZACIÓN

3.1. Estabilización de suelos

Es el tratamiento de suelos naturales, con el fin de aprovechar sus mejores cualidades, para que puedan resistir determinadas adversidades.

3.2. Estabilización por compactación

Consiste en el incremento artificial del peso específico seco del material por medios mecánicos, disminuyendo de esta manera el porcentaje de vacíos.

3.3. Estabilización con cal

Consiste en adicionar cal al suelo, de manera que ocurre un exceso de cal y un intercambio de catión. Produce una floculación y aglomeración de la arcilla a suelos de grano fino. La cal reacciona con el dióxido de carbono, formando agentes cementantes, como el carbonato de calcio y/o carbonato de magnesio. También al agregar una cantidad relativamente grande de cal, se forman hidratos cristalinos de silicatos de calcio o hidratos de aluminatos de calcio, que dan una ganancia a la resistencia de la mezcla.

3.4. Estabilización con cemento

Consiste en la adición de cemento al material, de manera que se produce una reacción puzolánica de los elementos silícicos y alumínicos para formar elementos cementantes.

3.5. Estabilización con productos asfálticos

Consiste en cubrir las partículas de suelo con el material asfáltico. Los materiales utilizados son:

- Productos bituminosos
- Sistemas anhidros de hidrocarburos
- Productos asfálticos
- Productos de la destilación y refinamiento del petróleo o asfaltos saturados
- Productos residuales de destilación del carbón, como: ciertos aceites, lignitos, turba y alquitranes.

3.6. Estabilización por electro-osmosis

Consiste en aplicar una corriente directa al material, debido a esto, el agua se mueve del ánodo al cátodo, provocando de esta manera, un drenaje del agua y estabilización del suelo.

3.7. Estabilización mecánica

Consiste en dos métodos para mejorar las características del suelo: el reordenamiento de las partículas y la adición o remoción de las partículas del suelo.

3.8. Estabilización con sal

Consiste en la adición de sal al suelo, de manera que produce una reacción coloidal y una alteración de las características de agua contenidas en el suelo, lo que redundará en una menor pérdida de humedad del mismo, un aumento en la máxima densidad compactada, una reducción del contenido óptimo del agua y un aumento considerable de la resistencia después de los días de curado.

3.9. Estabilización con cal-sal

Consiste en agregar cal y sal al suelo. La modificación lograda con la mezcla suelo y cal, no es afectada por la sal, sino por el contrario, una parte de la densidad compactada perdida de la mezcla suelo-cal, es recuperada por la mezcla suelo-cal-sal. Además, el contenido óptimo de humedad es reducido, la adición de sal reduce los cambios de volumen y se produce una ganancia de resistencia.

3.10. Estabilización con productos químicos

Los suelos pueden estabilizarse al agregarle los siguientes productos:

- Ácido fosfórico y fosfatos
- Acrilato de calcio
- Hidróxido de sodio
- Resinas y polímeros
- Silicatos de sodio
- Sulfatos de calcio (yeso) y cloruro de calcio.

3.11. Estabilización térmica

3.11.1. Estabilización térmica por calentamiento

Consiste en la aplicación de calor para provocar endurecimiento en las arcillas y una reducción en el contenido de agua.

3.12. Estabilización por vibro flotación

Es un método para densificar suelos granulares con drenaje libre, el proceso combina vibración mecánica con una saturación simultánea para mover, agitar y poner en circulación las partículas de arena, hasta ponerlas en su estado denso.

4. ESTABILIZACIÓN CON PUZOLANA Y CAL

4.1. Análisis de los factores de fraguado de los aglomerantes hidráulicos y puzolánicos

4.1.1. Factores termodinámicos

Los materiales que se endurecen al contacto con el agua poseen propiedades aglomerantes, cuando tienen cohesión propia y se adhieren a la superficie de otros materiales granulares no reactivos. El cambio de la pasta al sistema final endurecido, es debido a una tensión termodinámica llamada afinidad química, corresponde al diferencial de energía libre entre el estado inicial y el estado final. Cuando más grande es el diferencial de energía libre, la tendencia a la transformación es más fuerte; pero el diferencial de energía libre se ve afectado por la energía de activación. Debido a esto, las moléculas deben pasar de manera transitoria por un nivel superior (estado activado) prestando al medio, energía calorífica para sustituirla en suplemento del calor de reacción.

4.1.1.1. El sistema cal-sílice-alúmina-agua

Las fases hidratadas del sistema formado por cal, sílice, alúmina y agua, son definidas cualitativamente con un diagrama de equilibrio.

Los hidratos potenciales, que resultan de la hidratación total del aglomerante, tienen la misma composición bruta que el aglomerante anhidro del comienzo, por esto se representan en el mismo punto.

La subdivisión de zonas triangulares del diagrama (figura 3), representan las fases de los bordes del triángulo considerado.

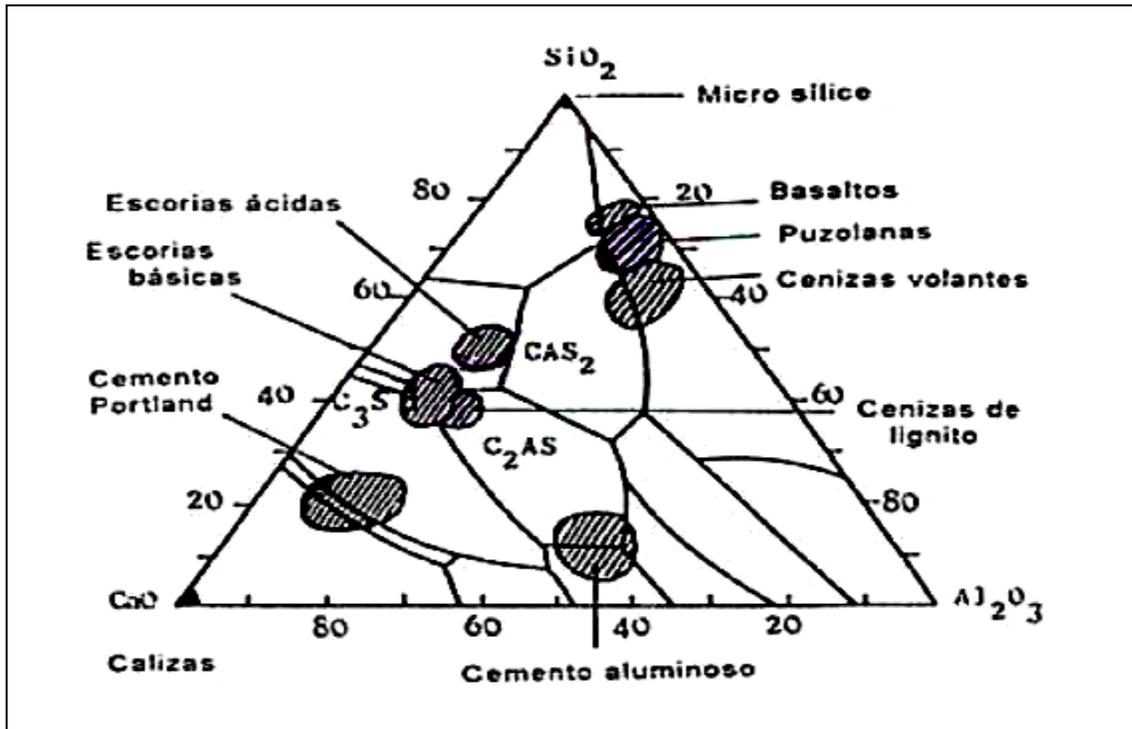
El clinker de la zona II dará nacimiento por hidratación al silicato de calcio hidratado CSH, al aluminato tetra cálcico hidratado C_4AH_{13} y a la cal apagada $Ca(OH)_2$.

La escoria situada en la zona I es posible hidratarla, agregándole sodio, de lo cual resultará, calcio hidratado C_2AsH_3 . Si se modifica la composición agregándole cal, dará los mismos hidratos que el clinker.

Las cenizas volantes y las puzolanas tienen una composición terciaria similar, localizada en el punto Z, situada en la zona O, Podrían hidratarse (a muy baja velocidad), sólo en sílice hidratado SiO_2 , con H_2O en hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$, y una cantidad menor de CSH, porque el punto Z está cerca del lado del triángulo opuesto al borde de CSH.

Si se agrega cal, el punto se halla a la zona I y II y se obtienen los mismos hidratos que las escorias o el clinker.

Figura 3. Triángulo del diagrama ternario de hidratación



Fuente: libro azul de 2001.

4.2. Factores texturales

Textura es el reflejo de la repartición espacial natural de los elementos que constituyen un material. La textura de un material es determinada por un análisis de porosidad.

La textura puede estar estimada en función de distribución de las distancias intergranulares. En un material granular no ligado, estas distancias son diferentes, pudiéndose reducir mediante la compactación.

La textura de una mezcla granular, depende en esencia de la repartición dimensional de sus elementos. Una mezcla con elementos del mismo diámetro tienen una estructura abierta, pero mientras se extiende la granulometría de la misma, la estructura tiende a cerrarse.

El fraguado de los aglomerantes hidráulicos está unido a un proceso de interacción entre la fase líquida intersticial y el aglomerante y su intensidad es proporcional a la superficie de contacto de sus granos.

El agua afecta la superficie del grano del aglomerante, moviéndose progresivamente en un espesor de 10 a 20 micrones, quedando el corazón intacto.

Si el aglomerante es triturado en forma fina, la superficie de contacto aglomerante anhidro-solución disminuye y la tasa de utilización del aglomerante es elevada. Por el contrario, si el aglomerante es de grano grueso se debe aumentar la dosificación del aglomerante.

4.3. Factores cinéticos

En el desarrollo de una capa de hidratos en la superficie del grano, la velocidad de crecimiento del espesor de esta capa, disminuye con el tiempo, hasta terminar por anularse, en consecuencia, terminará de hidratarse la capa que envuelve al grano.

4.4. Leyes de variación de la resistencia mecánica en función del tiempo

Al considerar un grano de aglomerante bajo la acción de una solución intersticial, los constituyentes del aglomerante se disuelven en forma de iones que se combinan de nuevo entre sí, para dar hidratos poco solubles.

Los hidratos aparecen en toda la superficie del grano del aglomerante, formando una pantalla con el aglomerante anhidro que está debajo de la solución. Los agentes de ataque (iones OH en el caso de las escorias y materiales puzolánicos), se difunden a través de la capa y los iones resultantes del ataque (Ca^{2+} , $\text{SiO}_4\text{H}_2^{2+}$, AlO_4H_4), hacen lo inverso.

La evolución de la resistencia es una función compleja del tiempo y abarca factores texturales y la cinética de hidratación, y presenta generalmente una expresión hiperbólica.

5. PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN EN OBRA

5.1. Tipos de estabilización

A continuación se describen los tipos de estabilización:

- Por compactación
- Con cal
- Con cemento Portland
- Con productos asfálticos
- Por electro-ósmosis
- Mecánica
- Con sal
- Con cal-sal
- Con productos químicos
- Térmica
- Con puzolana y cal

5.2. Forma de colocación

La forma de colocación de las bases y sub-bases estabilizadas con puzolana y cal, conlleva un proceso muy metódico y se podría decir que hasta mecánico, muy parecido a los métodos ya conocidos, a continuación se hace una breve descripción de dicho proceso.

5.2.1. Proceso constructivo

Las nuevas tecnologías de construcción de pavimentos, tanto rígidos como flexibles, (a estos últimos se les conoce también como articulados), se han desarrollado para cubrir diferentes necesidades de pavimentación y mejorar sustancialmente el comportamiento y confort de los caminos. Se pueden visualizar, básicamente, dos tecnologías: en pavimentos rígidos y en flexibles.

5.2.1.1. Pavimentos rígidos

Es importante, la preparación del terreno natural, el diseño y construcción de las sub-rasantes y la sub-base, para lograr la capacidad estructural y la comodidad de la marcha de vehículos en todos los tipos de pavimentos.

En el caso de los pavimentos de cemento, los requisitos pueden variar considerablemente, dependiendo del tipo del suelo de la sub-rasante, de las condiciones ambientales, del tráfico de diseño, entre otros parámetros de tránsito. Cualquiera que sea el caso, el objetivo deberá ser el poder obtener una condición de apoyo uniforme para el pavimento durante la vida útil de éste.

5.2.1.2. Pavimentos flexibles

Los procedimientos específicos que se describirán tienen el propósito principal de ser aplicables a la construcción de carpetas, aún cuando estos mismos procedimientos sean también, en general, aplicables a la construcción de capas de base y niveladoras. Los pasos fundamentales en la construcción de una carpeta asfáltica de alta calidad se puede listar como sigue:

- Preparación de la mezcla
- Preparación de la capa de base o de la capa niveladora
- Transporte y tendido de la mezcla para carpeta
- Construcción de las juntas
- Compactación y acabado final

5.2.1.2.1. Preparación de la mezcla

Para una carpeta asfáltica de alta calidad se usa mezcla en caliente, la cual se hace en una planta especial. El arreglo total de la planta deberá adecuarse a las necesidades para sostener cierto volumen de producción de mezclas calientes que sean uniformes, con un control muy rígido en los pasos para fijar el proporcionamiento y realizar la mezcla.

5.2.1.2.2. Preparación de la base

Es frecuente que la colocación de las carpetas de concreto asfáltico se haga sobre una base nueva o ya existente que requiera muy poca preparación antes de iniciar el tendido de la carpeta nueva, como pueden ser el barrido y limpieza total para eliminar el polvo suelto y otros materiales extraños. Aquí es donde la estabilización puzolana-cal juega un papel importante, tanto económico como en las propiedades de la base a utilizar, ya que genera una resistencia mayor y libre de humedad en los suelos arcillosos.

En otros casos, la base o carpeta existentes sobre la cual se va a colocar la mezcla necesita amplias medidas correctivas. Con más frecuencia cuando la superficie existente está desintegrada, rota o que su naturaleza es irregular, que los defectos específicos se puedan corregir por medio de la aplicación de parches de concreto asfáltico.

5.2.1.2.3. Transporte de la mezcla

La mezcla se carga en la planta, en camiones o remolques adecuados para su transporte hasta el sitio de trabajo. Se requiere que los vehículos que se utilicen tengan camas metálicas fuertes y lisas, las cuales se limpian previamente, para quitar todo el material indeseable.

La cama del vehículo puede rociarse con una ligera película de agua de cal, jabón en solución o alguna sustancia similar para impedir que se pegue la mezcla. No se deben de utilizar para este objeto aceites combustibles, ya que tienen efectos dañinos sobre la mezcla. Algunas veces es necesario que el vehículo tenga aislamiento térmico para evitar la pérdida excesiva de calor en la

mezcla durante su transporte y, con frecuencia se cubre el vehículo con lona para proteger la mezcla durante el tiempo de transporte.

5.2.1.2.4. Colocación de la mezcla y compactación

La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125 °C, esto se verifica con un termómetro de varilla. La mezcla se vacía en la máquina *finisher* o extendedora que formará una capa de mezcla asfáltica, con el espesor diseñado, se recomienda tener una cuadrilla de trabajadores operados con rastrillos que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas irregulares formadas longitudinalmente entre franjas.

En la colocación de la mezcla de concreto asfáltico, se debe poner especial atención a la construcción de las juntas entre las superficies viejas y las nuevas o entre días sucesivos de trabajo.

A una temperatura de entre 110 y 120 °C se le aplica una compactación con un rodillo ligero de entre 8 y 10 toneladas de peso; los rodillos se moverán paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia al centro, y del lado interior hacia el exterior en las curvas.

Durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas, tales como la aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto producida por el calentamiento excesivo, o bien, porque el material pétreo no perdió completamente la humedad, esta última causa se reduce con buena estabilización con puzolana-cal.

5.3. Sub-rasante

Para recibir el pavimento de concreto, el terreno natural debe ser debidamente nivelado y compactado. En la preparación del terreno de cimentación y/o sub-rasante intervienen los siguientes aspectos:

- Compactación de los suelos con valores de contenido de agua y de peso volumétrico, que garanticen un apoyo uniforme y estable para el pavimento.
- Siempre que sea posible, fijar la rasante lo más alto que se pueda y excavar zanjas laterales lo suficientemente profundas, como para aumentar la distancia vertical entre el nivel freático y el pavimento.
- Descarga lateral y mezclado de los suelos para lograr condiciones uniformes, en zonas donde se tengan cambios bruscos en sentido horizontal del tipo de suelo.
- Usar nivelación selectiva de la rasante en zonas de terraplén, a fin de colocar los mejores suelos cerca de la parte superior de la elevación final de la sub-rasante.
- Mejorar los suelos de muy baja calidad por medio de tratamiento a base de cemento y cal, de preferencia estabilizado con puzolana para dar un efecto aglomerante más económico que el cemento.

5.3.1. Sub-base

Para el diseño de pavimentos rígidos, con la experiencia obtenida en el comportamiento y de la tecnología moderna de los materiales, se fomenta el

uso integral y más económico de los suelos naturales que existen en el sitio de construcción del pavimento. Por lo tanto, el Ingeniero puede analizar las condiciones de diseño y decidir con un criterio racional si se necesita una capa de sub-base o si se pueden usar alternativas menos costosas, para satisfacer los requisitos de un buen comportamiento.

La función esencial de una sub-base es la de evitar el efecto de bombeo de los suelos de grano fino. Una capa de sub-base es obligada, en los casos en que se combinen suelos finos, agua y tránsito, de tal forma que se induzca el efecto de bombeo, por lo que la sub-base estabilizada con puzolana y cal es la más adecuada, tanto técnicamente como económicamente, ya que cubre las condiciones que se requieren en un momento determinado a menor costo.

Dichas condiciones frecuentemente se presentan durante el diseño de pavimentos importantes con mucho volumen de tránsito. Las condiciones necesarias para producir el efecto de succión no se tienen en caminos secundarios de bajo tránsito, en calles residenciales y en aeropuertos para aeronaves ligeras. En estos últimos casos, el uso de una capa de sub-base no se justifica desde el punto de vista económico y los resultados deseados se pueden lograr mediante la preparación adecuada y menos costosa de la sub-rasante.

5.3.2. Apoyo uniforme

En los pavimentos rígidos, el análisis de las propiedades del concreto demuestra que un solo principio se aplica a todos los aspectos del diseño de las sub-bases y de la sub-rasante. El concreto tiene un módulo de elasticidad que varía de 280,000 a 420,000 kg/cm², lo cual le provee un alto grado de rigidez. Además, el concreto para pavimentos posee una resistencia bastante alta como

viga, tal y como lo evidencia la resistencia a flexión a 28 días, que varía entre 38.5 y 52.5 kg/cm² (550-750 PSI), y puede alcanzar valores todavía mayores en concretos para pavimentos de apertura rápida al tránsito. Esta rigidez y resistencia a la flexión permiten a los pavimentos de cemento distribuir las cargas sobre áreas más grandes de la sub-rasante, las deflexiones son pequeñas y las presiones aplicadas a la sub-rasante son muy bajas.

Es por ello, que los pavimentos de cemento no necesitan un material de cimentación muy resistente. Resulta mucho más importante que el apoyo sea razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en la capacidad de soporte. Esto contrasta con el principio de diseño de los pavimentos flexibles, en los que se necesita de sub-base y de base sucesivamente más resistentes, a fin de distribuir las presiones mucho más altas transmitidas por las cargas sobre las ruedas a través de la superficie de asfalto.

6. GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PAVIMENTO

6.1. Monitoreo una vez colocado en el sitio (teoría)

Tanto la sub-rasante como la sub-base, son capas en las que se apoya la estructura del pavimento, la primera en pavimentos rígidos, mientras que la segunda en pavimentos flexibles, (en la mayor parte de veces), y la característica especial que define la propiedad de los materiales se conoce como módulo de resiliencia (M_r).

Inicialmente, cuando se comenzaron a efectuar los primeros diseños de pavimentos, este concepto estaba basado en las propiedades tales como:

- Granulometría
- Plasticidad
- Clasificación de suelos
- Resistencia al corte
- Susceptibilidad a las variaciones de temperatura
- Drenaje

Posteriormente se tomaron en cuenta las propiedades básicas de la sub-rasante como de la sub-base y se analizaron otro tipo de ensayos que permitieran conocer en mejor forma el comportamiento de estos suelos ya en el sitio. Se efectuaron ensayos utilizando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación, tales como el *CBR* y ensayos de compresión simple. Éstos se cambiaron por ensayos dinámicos y de repetición de cargas, como el del módulo de resiliencia, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones, y deformaciones una vez colocado en el sitio.

Las propiedades físico-mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y control de calidad.

La calidad de los suelos, en el caso de las sub-rasantes se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson (Módulo de elasticidad), valor soporte del suelo y el módulo de reacción de la sub-rasante; en lo referente a la sub-base estabilizada con puzolana-cal se recomienda el ensayo del valor soporte del suelo.

6.1.1. Ensayos en laboratorio

Los ensayos más comunes realizados para sub-bases, así como la sub-rasante en lo referente a suelos, según el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos son los siguientes:

- Relación de razón soporte de California (*CBR, California Bearing Ratio*) AASHTO T-193
- Valor de resistencia Hveem (Valor R) AASHTO T-246
- Ensayo de plato de carga (Valor k) AASHTO T-222
- Penetración dinámica con cono
- Módulo de resiliencia (M_r) para pavimentos flexibles AASHTO T-294
- Módulo de reacción (M_k) para pavimentos rígidos

6.1.2. Ensayos en el campo

Algunos ensayos que se pueden realizar en el campo y tener información para procesar una vez que estamos en el sitio son:

- Límite líquido AASHTO T-89, material inadecuado AASHTO M-145
- Límite plástico AASHTO T-90
- Hinchamiento AASHTO T-193
- Humedad de campo con carburo AASHTO T-217
- Compactación AASHTO T-180 y T-191

6.2. Elementos de la estructura de un pavimento a tomar en cuenta

Se deben tomar en cuenta dos elementos principales en la estructura de un pavimento, los cuales son:

- Técnicos
- Económicos

6.2.1. Elementos técnicos

- El tránsito (tránsito pesado).
- La capacidad soporte (varía de acuerdo a la época y al nivel freático).
- Condiciones climatológicas.
- Cualidades iniciales requeridas por la carretera.
- Propiedades permisibles para mantener éstas cualidades (políticas de mantenimiento de acuerdo a la estructura inicial).
- Propiedades de materiales adquiribles (un estudio de laboratorio indica posibles aplicaciones).

Estos elementos técnicos hacen posible definir varios tipos de estructuras.

6.2.2. Elementos económicos

- Costos de material

- Costos de producción e implementación
- Costos de mantenimiento

6.2.2.1. Economía general

Otros factores pueden jugar un papel importante, tales como:

- La ventaja de utilizar materiales del lugar
- Consideraciones de la economía de la energía

7. INVESTIGACIÓN DE LAS PUZOLANAS EN GUATEMALA

La investigación de las puzolanas en Guatemala data de 1980, como lo demuestra el listado de los trabajos de investigación realizados, que se incluyen en el apéndice. Algunos trabajos de aplicación se realizaron antes de los 80, aparentemente sin ninguna evaluación previa de laboratorio.

Los principales resultados de los estudios que se han realizado se presentan a continuación, de una manera muy general.

7.1. Aspecto geológico

Se han realizado estudios geológicos para determinar la ubicación y la distribución del material puzolánico existente en Guatemala. Los estudios muestran la situación geográfica, la estratigrafía y distribución, así como la datación de algunas muestras. Los estudios pueden dividirse en dos partes: a) Zona Norte, Centro y Oriente del país y b) Zona del Altiplano Occidental. En ambos casos, los estudios han abarcado el cinturón volcánico y parte de la Cordillera Central de Guatemala.

Zona Norte, Centro y Oriente

Los espesores observados oscilan entre 4 y 30 metros, teniendo una media de 15 metros y una desviación de 3 metros. El volumen de material potencialmente explotable mínimo, es de 24 mil millones de m³.

Después de haber visitado diferentes sitios posibles, se encontró que las zonas que mejor cumplen con los requisitos establecidos son las localizadas en Sanarate y El Progreso, en sus zonas cercanas. Estos bancos cuentan con un material (ceniza), bastante fino, lo que es explicable, ya que su centro de emisión está retirado. El volumen aproximado de este material es de 140 millones de m³.

Los bancos existentes al Sur de la ciudad de Guatemala, presentan buenas condiciones, tanto granulométricas, mineralógicas, como de acceso; sin embargo, algunos de ellos tienen una posición estratigráfica, que hace que su explotación sea poco recomendable. Lo mismo sucede con los bancos de tierra de diatomeas

Zona del Altiplano Occidental

Varios tipos de sedimentos volcánicos existen en las áreas visitadas. Se encuentran espesores de 10 metros aproximadamente, consisten en alternancia de capas finas y anchas que oscilan entre 10 y 70 centímetros con fragmentos de pómez de 1 centímetro de diámetro y líticos alrededor de 1.5 centímetros de diámetro.

Chimaltenango, Patzún, Tecpán, Patzicía, Zaragoza, en el departamento de Chimaltenango; Chiantla en el departamento de Huehuetenango; Cabricán, Huitán, Salcajá, San Juan Ostuncalco y Quetzaltenango en el departamento de Quetzaltenango; Chichicastenango y Santa Cruz en el departamento de El Quiché; Sololá y zonas aledañas, Godínez y Los Robles en el departamento de Sololá; San Cristóbal y San Francisco El Alto en el departamento de Totonicapán. La mayoría de estos bancos contienen entre 90 y 95% de ceniza.

7.2. Verificación físico-mecánica y química de la puzolana

La selección de las muestras se ha basado en el informe geológico realizado con anterioridad, en relación a la cantidad de material puzolánico existente en cada depósito y la facilidad de extracción para su explotación, así como su accesibilidad.

Los ensayos físicos y mecánicos se han realizado de acuerdo con las recomendaciones de ASTM C-593 (*Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime*) y de *U.S. Bureau, of Reclamation*, en cuanto a los requerimientos químicos.

Verificación física

Los resultados de la verificación física han sido muy variados. En general, no hay limitaciones muy rígidas para que una puzolana pueda o no utilizarse por el aspecto físico que presenta. En todo caso, la verificación física únicamente determina si es necesario efectuar molienda y el grado de molienda necesario en cada caso particular.

Los parámetros que generalmente se evalúan son: la fracción soluble en agua, el porcentaje que pasa el tamiz 30, el porcentaje de material retenido en el tamiz 200, y aunque las especificaciones adoptadas no lo recomiendan, se considera oportuno también, evaluar el porcentaje que retiene el tamiz 325.

Es imperioso establecer la gravedad y la superficie específica. También es necesario conocer el porcentaje de humedad, la pérdida por ignición, la contracción por secado y los requerimientos de agua.

Verificación química

Los resultados de la caracterización química de las puzolanas de origen natural mineral están en un rango bien definido de valores. En general se observa un contenido alto de SiO_2 , con cantidades importantes de Al_2O_3 .

La suma de SiO_2 y Al_2O_3 se sitúa en valores no menores de 70% para casi todas las muestras. Es importante observar también, que se han encontrado valores significativos de NaO y de K_2O , que van desde 2 hasta 8%.

Los parámetros que se recomiendan en la verificación química son: el contenido de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, contenido de Mg, contenido de SO_3 , álcalis como Na_2O .

Verificación mecánica

De acuerdo a los resultados obtenidos, la mayoría de puzolanas evaluadas son reactivas y adecuadas para uso con hidróxido de calcio.

Según la clasificación indú, las puzolanas de Guatemala pueden clasificarse como de actividad intermedia (4.1-5.5 Mpa), activas (5.5-6.9 Mpa) o bien como muy activas (mayor que 6.9 Mpa), según el banco que se estudie, ya que los valores encontrados oscilan entre 4.5 y 7.3 Mpa.

Según el criterio de la Sociedad Americana para Ensayo de Materiales, las puzolanas que se han analizado en Guatemala se clasifican como intermedias (2.6-5.6 Mpa) a activas (mayor de 7.0 Mpa).

Así, los sistemas para puzolanas naturales que utilizan el índice de resiliencia como parámetro de clasificación, ubican a las puzolanas de Guatemala, que se han ensayado hasta ahora, en el rango más alto de reactividad.

Para la verificación mecánica se han adoptado las recomendaciones de ASTM C-593. La determinación de la resiliencia en compresión se realiza en cubos de cinco centímetros de arista y bajo condiciones especiales de temperatura y humedad, que requieren de equipo especial. Las especificaciones indúes se consideran una buena referencia para la evaluación de la resiliencia a compresión, y sobre todo, para la interpretación de los resultados.

7.3. Aplicaciones

Existen varias aplicaciones en el campo, principalmente como morteros de levantado y como revestimientos. Sin embargo, la aplicación más importante hasta la fecha, en Guatemala es la construcción de tres viviendas en Pueblo Nuevo, municipio de Palencia, departamento de Guatemala, situado a 30 kilómetros al Nor-Este de la ciudad capital, sobre la carretera al Atlántico, localizado con una altitud de 1,330 m.s.n.m.

Las viviendas se construyeron con mano de obra del lugar, por ayuda y cooperación mutua y utilizando la puzolana local, después de haber sido procesada. Las viviendas se construyeron en junio de 1993 y se encuentran

actualmente habitadas y en proceso de evaluación bajo condiciones normales de uso. Un total de 107 metros cuadrados fueron construidos, para lo cual fue necesario procesar 15 toneladas de cemento puzolánico.

En la aplicación, el cemento puzolánico fue utilizado para la fabricación de bloques, para morteros de unión, para revestimientos, para fundición de soleras y pines. También se fundieron dos losas de pequeñas dimensiones con el mismo cemento.

Al final de la experiencia y procesando la información disponible, se determinó que la construcción de viviendas es técnica y económicamente conveniente, pues se pudo determinar que el costo de producción del cemento utilizado es menor que el precio del cemento Pórtland modificado tipo I PM, en el mercado nacional. Este costo puede disminuir si se consideran volúmenes altos de producción.

7.4. Limitaciones de las investigaciones realizadas

Fundamentalmente, los resultados de las investigaciones hasta ahora realizadas, están limitados por la carencia de algunos equipos de laboratorio y de producción adecuados.

8. ENSAYOS DE LABORATORIO

8.1. Preparación de las muestras

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

El primer paso consistió en el secado de las puzolanas para obtener una muestra lo mejor seca posible, se utilizó secado al sol.

El siguiente paso consistió en la trituración del material seco, hasta llevarlo a una condición óptima. Posteriormente cada una de las muestras fue tamizada para su utilización.

Este proceso fue necesario para la realización de los ensayos, exceptuando el análisis granulométrico, para el cual se tomó una muestra representativa de cada material en el estado en que fue extraído. Teniendo el material seco, triturado y tamizado, se procedió a la realización de los ensayos de laboratorio en muestras de puzolana sin adición de cal, y en muestras mezcladas con cal, de igual forma con la arcilla utilizada, en proporciones determinadas como porcentajes del 1%, 2% y 3% del peso seco de la muestra.

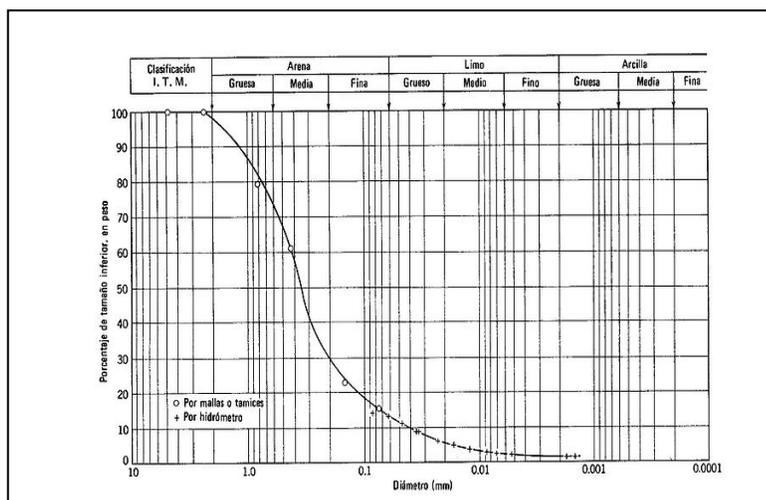
8.2. Análisis granulométrico

Norma AASHTO T-27

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

Para el presente estudio las muestras de suelo se sometieron durante 12 horas a secado al sol para obtener su condición seca; a lavado previo al tamizado para eliminar los finos, y secado antes de tamizar. Se determinaron únicamente los análisis granulométricos de las muestras, por lo que sólo se presentan los resultados de las muestras sin adición de cal.

Figura 4. Curva granulométrica



Fuente: sitio web: www.wikipedia.org.com. Curva granulométrica. 2010.

8.3. Límites de Atterberg

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

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

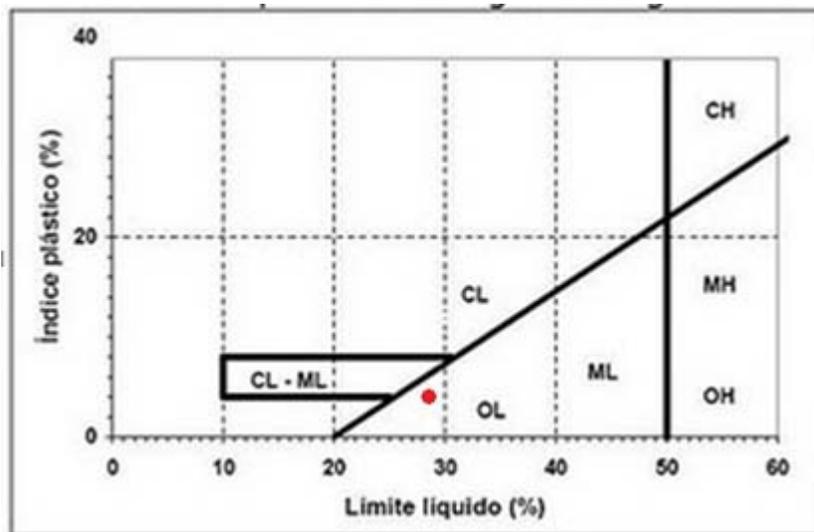
Tabla V. Límites de consistencia

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

Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. 2008.

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

Figura 5. **Carta de plasticidad**



Fuente: sitio web: www.wikipedia.org.com. Carta de plasticidad. 2010.

8.4. **Ensayo de compactación (próctor modificado)**

Norma AASHTO T-180

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

Para cada material existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico conocido como densidad máxima o peso unitario seco máximo (PUS), y dicha cantidad de agua necesaria se denomina humedad

óptima. Cuando se agrega cal a las muestras el contenido de humedad aumenta, debido a que la cal absorbe el agua, por lo que al aumentar la proporción de cal fue necesario también aumentar la cantidad de agua para mezclar en cada una de las muestras de puzolana analizadas.

8.5. Determinación del valor soporte (CBR)

Norma AASHTO T-193

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

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

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

9. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

9.1. Evaluaciones de las propiedades de las puzolanas naturales

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados a cada una de las muestras de puzolana antes de ser tratadas con cal, así como la muestra de la arcilla utilizada.

Las muestras de puzolana utilizadas se han clasificado según el lugar de donde fueron extraídas como M1, M2 y M3; siendo las muestras provenientes de un banco de muestra en Salcajá, Quetzaltenango; Jacaltenango, Huehuetenango; y El Jícaro, El Progreso.

Para la muestra proveniente de banco en Salcajá, Quetzaltenango los ensayos realizados muestran algunas particularidades. El análisis granulométrico indica un alto contenido de grava, se trata de una muestra granular con ligera presencia de finos, por lo que el porcentaje de arena y finos es bastante bajo. Al establecerse los límites de consistencia y de acuerdo con el IP obtenido se determinó, según el sistema unificado y el sistema P.R.A., como un GC-GM y A-1-b, respectivamente. También se puede observar que, debido a su condición granular, su porcentaje de *CBR* es relativamente alto, por lo que su calidad se encuentra entre excelente a buena, e inclusive se puede mejorar al estabilizarlo con cal.

Tabla VI. **Resultados de ensayo M1**

Resultados ensayos muestra 1			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
		%	
Puzolana			
Grava		56	
Arena		23,4	
Finos		20,6	
CLASIFICACIÓN			
Sistema unificado SCU		GC-GM	
Sistema P.R.A.		A-1-b	
LÍMITES DE ATTERBERG			
		%	
Límite líquido		13,5	
Límite plástico		12,5	
Índice de plasticidad		2,3	
ENSAYO DE COMPACTACIÓN			
	Kg/m ³	lb/p ³	
Densidad seca óptima (PUS)	1 423,2	87,3	
Humedad óptima %	17,8		
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	100	33	32,5
30	95,9	67	28
10	90,3	0	13

Fuente: elaboración propia.

La segunda muestra analizada fue la procedente de Jacaltenango, Huehuetenango. Al igual que la muestra 1, ésta también posee un alto porcentaje de grava, aunque un poco más baja que la primera. Esta puzolana se clasificó como granular y debido a los resultados obtenidos de los límites, se puede clasificar como no plástico y para el sistema unificado y P.R.A. la clasificación fue GC-GM y A-1-b.

Los porcentajes de *CBR* obtenidos en esta muestra son relativamente altos, con una diferencia muy pequeña con relación a la muestra 1 en un 33%, lo cual puede deberse al porcentaje de arena que contiene.

Tabla VII. **Resultados de ensayos M2**

Resultados ensayos muestra 2			
ANÁLISIS			
GRANULOMÉTRICO			%
Puzolana			
Grava		52	
Arena		27	
Finos		21	
CLASIFICACIÓN			
Sistema unificado SCU		GC-GM	
Sistema P.R.A.		A-1-b	
LÍMITES DE ATTERBERG			%
Límite líquido		15,5	
Límite plástico		13,7	
Índice de plasticidad		1,2	
ENSAYO DE COMPACTACIÓN			
		Kg/m ³	lb/p ³
Densidad seca óptima (PUS)		1 417,33	88,5
Humedad óptima %		15,5	
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	100	19	33
30	95,5	29	31
10	92,3	52	12

Fuente: elaboración propia.

Finalmente se realizaron los ensayos a la muestra de puzolana procedente de El Júcaro, El Progreso, y en la que se determinó de acuerdo al análisis granulométrico, un alto porcentaje en el contenido de grava, aunque ligeramente mayor al 59% del total, además en este caso, el porcentaje de finos fue un poco mayor en relación a las muestras anteriores, esta puzolana muestra presencia de grava alta y se caracterizó como una arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plástico.

Los porcentajes de *CBR* son relativamente bajos en comparación con las muestras anteriores; sin embargo, podrían modificarse con la adición de cal.

Todas estas diferencias pueden atribuirse a que este banco de material puzolánico se encuentra en la cadena volcánica de Oriente, mientras que las dos muestras anteriores del área de Occidente del país.

Tabla VIII. **Resultados de ensayos M3**

Resultados ensayos muestra 3			
ANÁLISIS			
GRANULOMÉTRICO			%
Puzolana			
Grava		59	
Arena		19	
Finos		22	
CLASIFICACIÓN			
Sistema unificado SCU		GC-GM	
Sistema P.R.A.		A-1-b	
LÍMITES DE ATTERBERG			%
Límite líquido		15,5	
Límite plástico		10,8	
Índice de plasticidad		2,9	
ENSAYO DE COMPACTACIÓN			
		Kg/m ³	lb/p ³
Densidad seca óptima (PUS)		1 379,25	86,1
Humedad óptima %		17	
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	99,8	21	28
30	94,5	33	18
10	93,6	46	11

Fuente: elaboración propia.

Para la muestra de suelo que se evaluó, se cataloga como limo arcilloso color café oscuro plástico, procedente de un banco de materiales en el departamento de Quetzaltenango. El análisis granulométrico indica un alto porcentaje de grava o material grueso, y un porcentaje de finos relativamente bajo. Al determinarse los límites de consistencia y de acuerdo con el IP obtenido se determinó, según el sistema unificado y el sistema P.R.A. como un suelo GC y A-1-b respectivamente. Al realizar la determinación de pH se obtuvo un valor de 7.8, por lo que se considera un suelo balanceado poco alcalino. También se puede observar que debido a su condición de limo arcilloso su porcentaje de *CBR* es bajo, el cual se puede mejorar al estabilizarlo con cal.

Tabla IX. **Resultados de ensayos suelo**

Resultados ensayos muestra			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
		%	
Arcilla			
Grava			51
Arena			21
Finos			28
CLASIFICACIÓN			
Sistema unificado SCU			GC
Sistema P.R.A.			A-1-b
LÍMITES DE ATTERBERG			
Límite líquido			19,5
Límite plástico			18,5
Índice de plasticidad			8,5
Ph			
Nivel de pH			7,8
ENSAYO DE COMPACTACIÓN			
		Kg/m3	lb/p3
Densidad seca óptima (PUS)		1 782,2	111,25
Humedad óptima %		14,5	
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	100	25	34
30	94,2	34	29
10	92	41	19

Fuente: elaboración propia.

10. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

10.1. Análisis y comparación de resultados de compactación de las muestras M1, M2 y M3

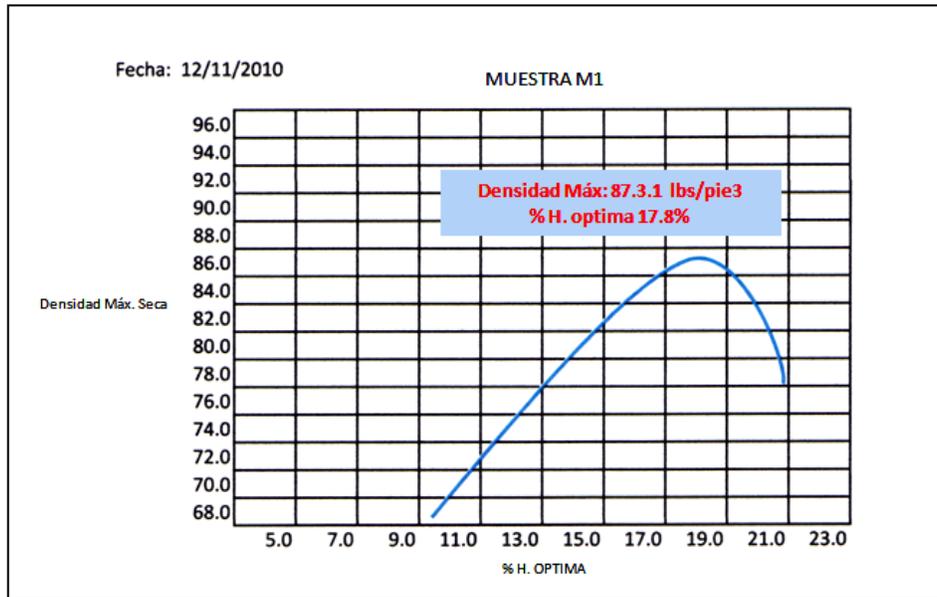
Tabla X. Resultados de compactación M1, M2 y M3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN m1		
	Kg/m3	lb/p3
Densidad seca óptima (PUS)	1 423,2	87,3
Humedad óptima %	17,8	
ENSAYO DE COMPACTACIÓN m2		
	Kg/m3	lb/p3
Densidad seca óptima (PUS)	1 417,33	88,5
Humedad óptima %	15,5	
ENSAYO DE COMPACTACIÓN m3		
	Kg/m3	lb/p3
Densidad seca óptima (PUS)	1 379,25	86,1
Humedad óptima %	17	

Fuente: elaboración propia.

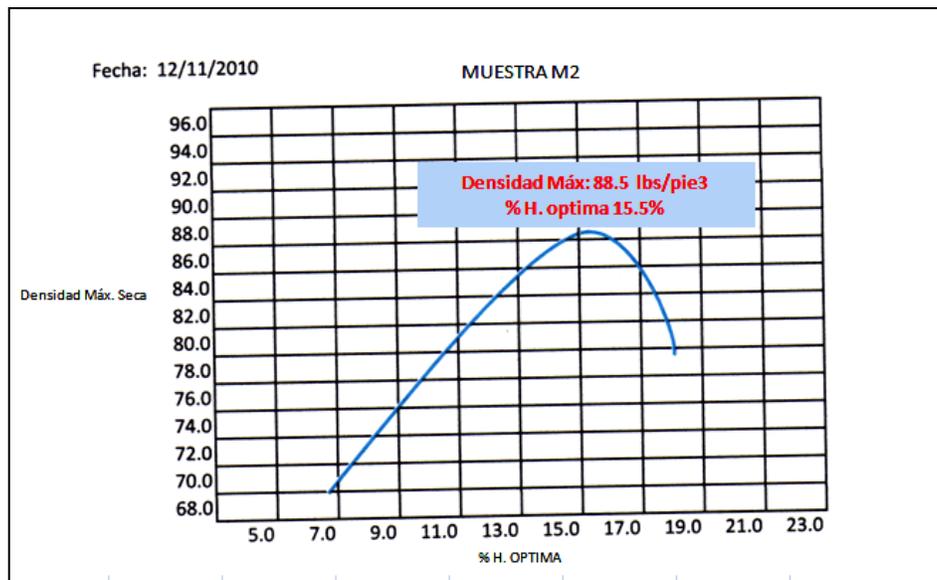
Las muestras presentan características muy similares, la mayoría de puzolanas del país muestran cambios no significativos, como se muestra en las figuras 6, 7 y 8.

Figura 6. **Ensayo de compactación M1**



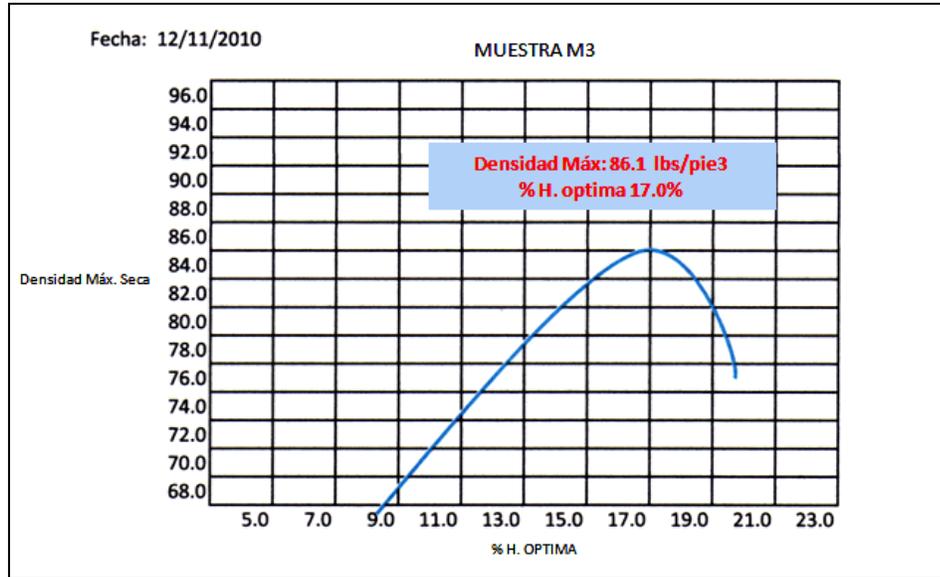
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Ensayo de compactación M2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Ensayo de compactación M3**



Fuente: elaboración propia.

En las figuras 6, 7 y 8 se puede visualizar que en las tres muestras se tienen porcentajes de humedad aceptables, y muy similares, los cuales pueden mejorar con la adición de cal.

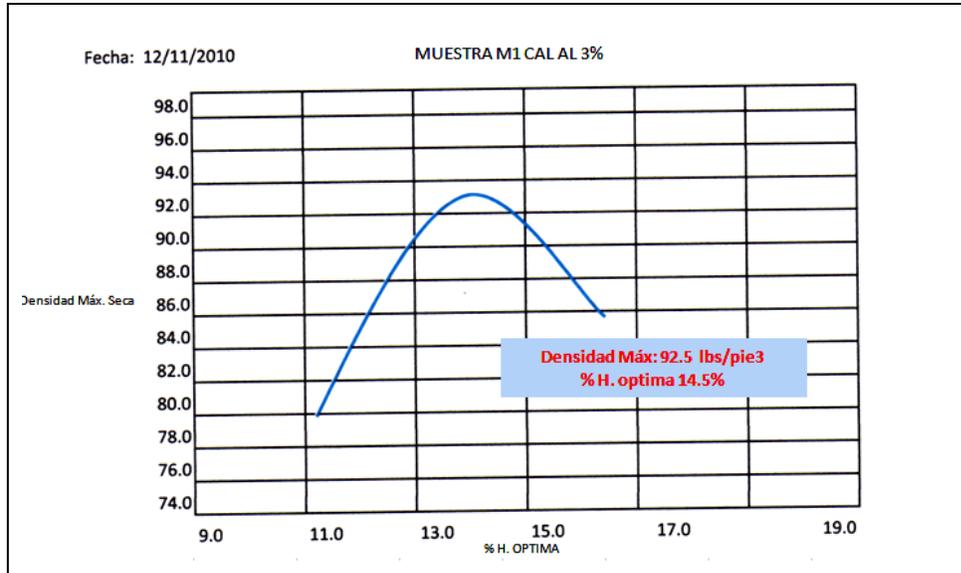
Tabla XI. Resumen resultados de compactación M1, M2 y M3

ENSAYO DE COMPACTACIÓN M1			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 449,81	90,5	15,3
2	1 469,03	91,7	14,9
3	1 481,85	92,5	14,5
ENSAYO DE COMPACTACIÓN M2			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 461,20	91,2	16,1
2	1 499,30	93,6	15,6
3	1 486,65	92,8	14,6
ENSAYO DE COMPACTACIÓN M3			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 417,77	88,5	16,5
2	1 435,40	89,6	16,1
3	1 459,25	91,1	15,9

Fuente: elaboración propia.

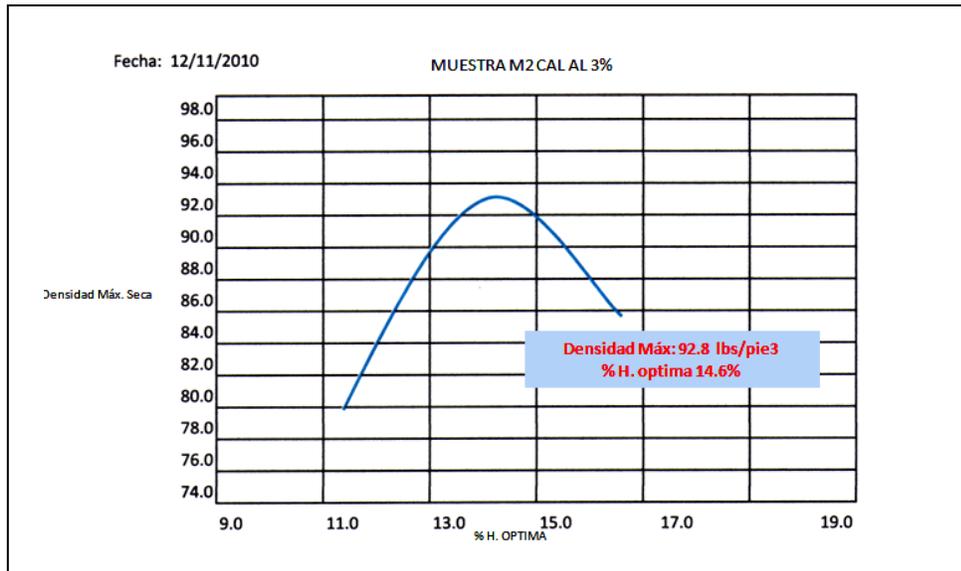
Se logra visualizar en las muestras M1 y M2 de puzolana, que tanto sus porcentajes de humedad óptima, así como su peso unitario seco (PUS), son muy semejantes, esto puede atribuirse a que los bancos de material puzolánico se encuentran en la cadena volcánica de Occidente, mientras que las muestra M3 sus porcentajes son un poco más bajos. Esta muestra es del área de Oriente del país.

Figura. 9. **Ensayo de compactación M1 + 3% cal**



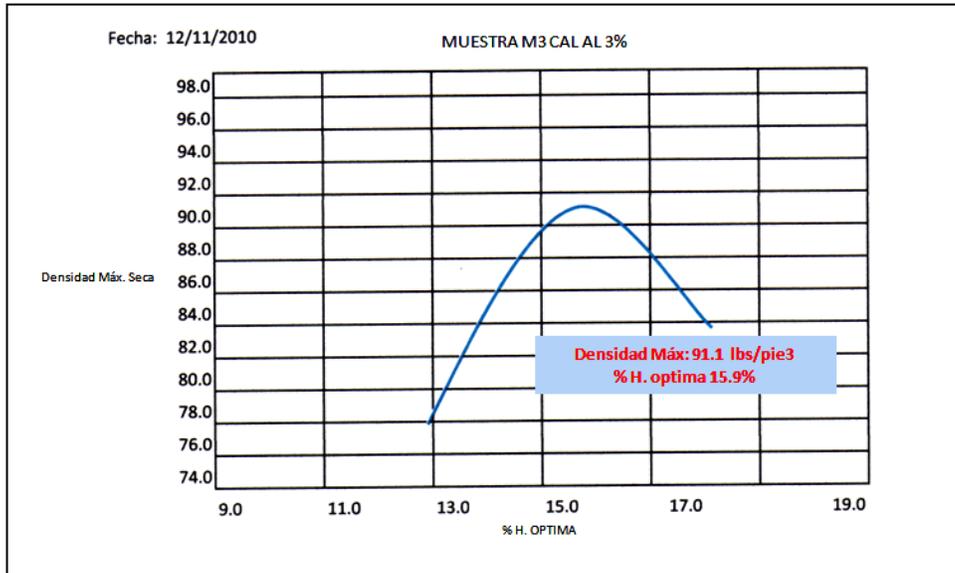
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Ensayo de compactación M2 + 3% cal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Ensayo de compactación M3 + 3% cal**



Fuente: elaboración propia.

En las figuras 9, 10 y 11 se observa que el porcentaje de humedad óptimo es muy similar en las dos primeras muestras, visualizando excelentes características de compactación en las tres, si se comparan con las muestras sin adición a cal, la variación en aumento no es significativo.

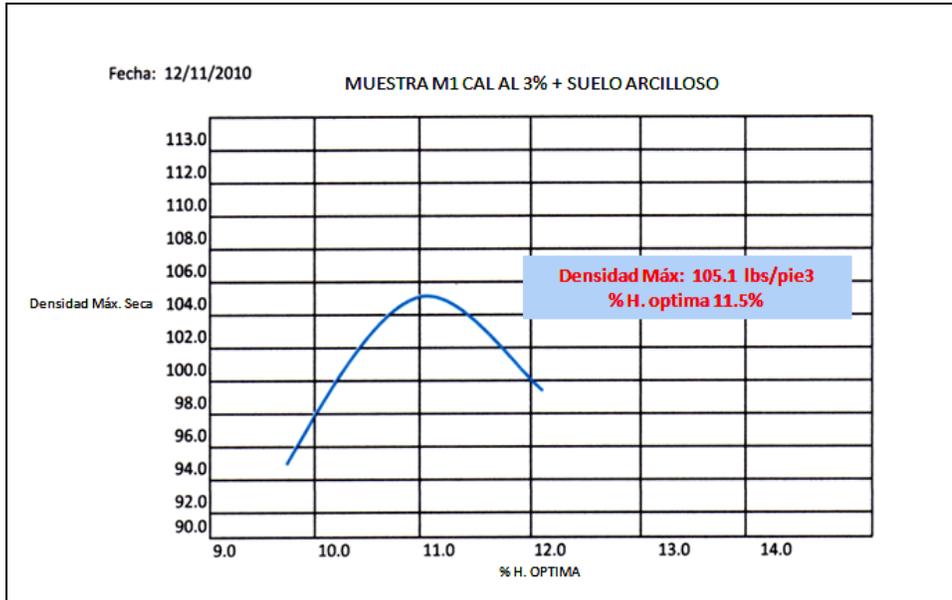
Tabla XII. **Resumen resultados de compactación M1, M2, M3 y suelo arcilloso**

ENSAYO DE COMPACTACIÓN SUELO			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 803,65	112,6	14,2
2	1 806,00	113	14
3	1 826,25	114	13,7
ENSAYO DE COMPACTACIÓN M1 + Suelo			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 593,99	99,5	12,5
2	1 642,05	102,5	11,5
3	1 683,70	105,1	11,5
ENSAYO DE COMPACTACIÓN M2 + Suelo			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 621,22	101,2	13,5
2	1 624,00	101,4	11,9
3	1 658,65	103,5	11,9
ENSAYO DE COMPACTACIÓN M3 + Suelo			
	PUS		
%CAL	Kg/m3	lb/p3	%H óptimo
1	1 600,39	99,9	13,9
2	1 631,00	101,5	14,1
3	1 642,05	102,5	14,0

Fuente: elaboración propia.

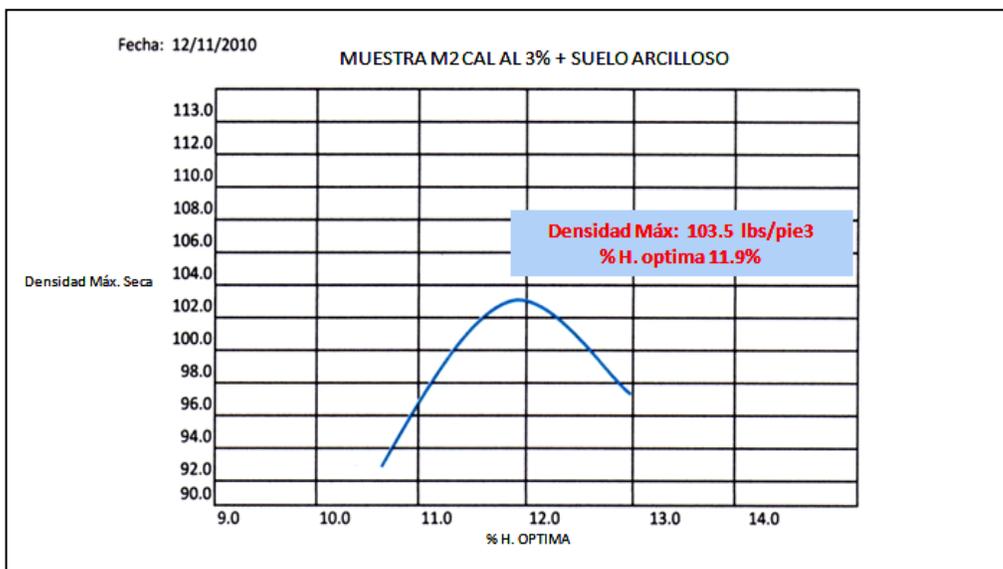
Se puede visualizar una mejora en las tres muestras en el momento de reacción con el suelo arcilloso en estos ensayos, lo cual se detalla en las gráficas 12,13 y14.

Figura 12. **Ensayo de compactación M1 + 3% cal + suelo arcilloso**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Ensayo de compactación M2 + 3% cal + suelo arcilloso**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Ensayo de compactación M3 + 3% cal + suelo arcilloso**



Fuente: elaboración propia.

En estos primeros ensayos en comparación de las muestras M1, M2 y M3 se puede ver una leve mejora de las puzolanas con sus porcentajes de cal respectivos, en el análisis de la muestra final con el suelo arcilloso, se observa, que tanto la densidad máxima seca, como la humedad óptima, tuvieron relativamente buenos resultados, por lo que, cuando se combina la puzolana, cal y arcilla la variación en aumento de cal no es significativa, pero, con base en lo que se observa, el comportamiento de la arcilla combinada con cal es bueno, ya que la arcilla es más plástica que la puzolana.

10.2. Análisis y comparación de resultados razón soporte califonia de las muestras M1, M2 y M3

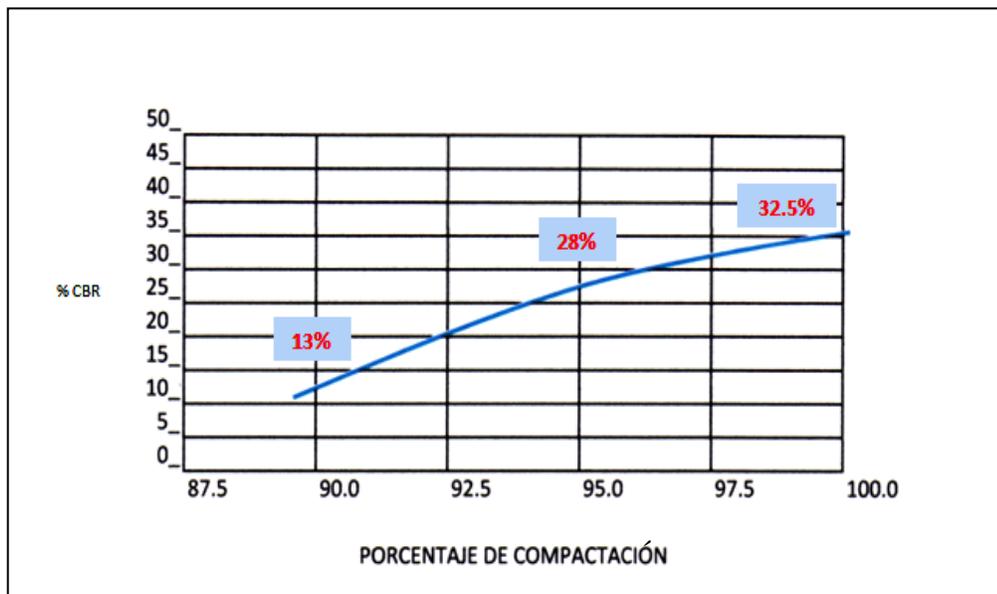
Tabla XIII. **CBR M1, M2, M3 y suelo**

RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA SUELO			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	100	25	34
30	94,2	34	29
10	92	41	19
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M1			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	100	33	32,5
30	95,9	67	28
10	90,3	0	13
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M2			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	100	19	33
30	95,5	29	31
10	92,3	52	12
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M3			
Golpes	%C	% Expansión	% CBR
65	99,8	21	28
30	94,5	33	18
10	93,6	46	11

Fuente: elaboración propia.

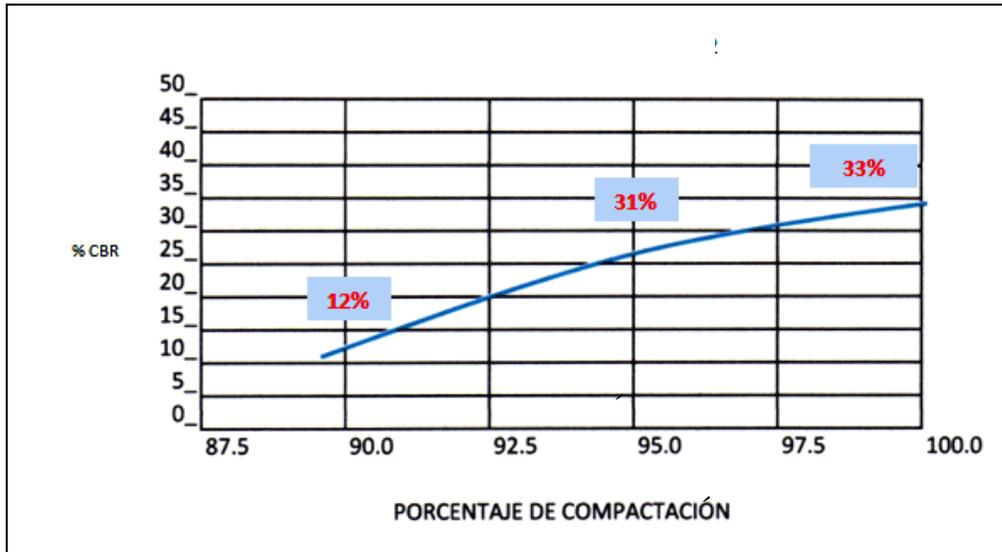
En todas las muestras, con excepción de la del suelo, el % de expansión es bastante cambiante, uno de los factores que pueden ser la causa de esta diferencia, es que estos bancos de material puzolánico se encuentran en la cadena volcánica de Occidente, mientras que las muestra M3 son del área de Oriente del país y además, que el valor soporte es una medida comparativa de la resistencia del suelo, en condiciones controladas de densidad y humedad, simulando las condiciones extremas a las que se podría exponer el suelo, con lo que en los ensayos de compactación de M2 son un poco más bajos que el de las demás muestras en comparación, en las figuras 15, 16, 17 y 18 se describe esta característica más detalladamente:

Figura 15. Razón soporte California M1



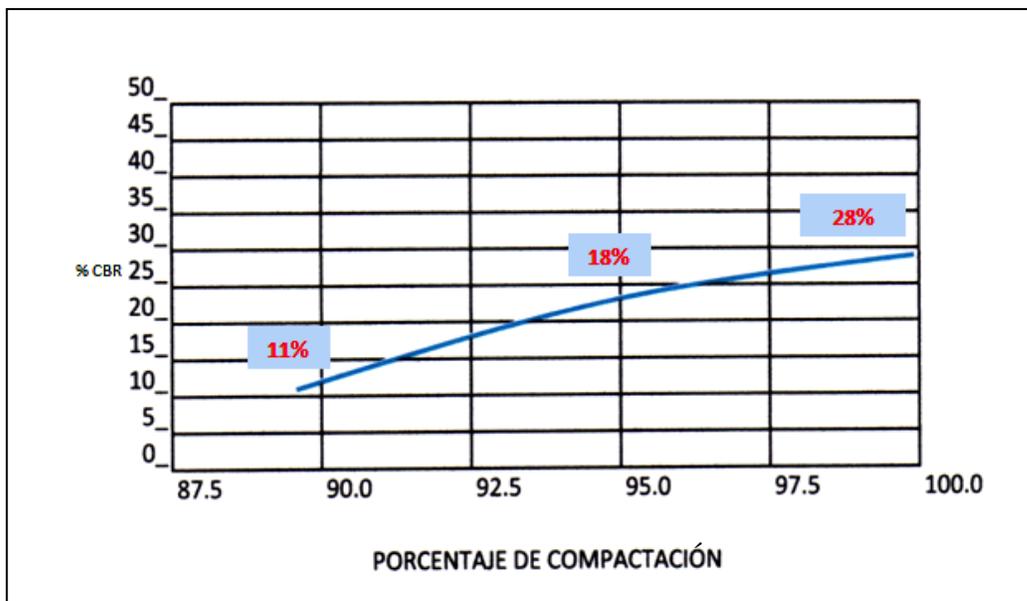
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Razón soporte California M2



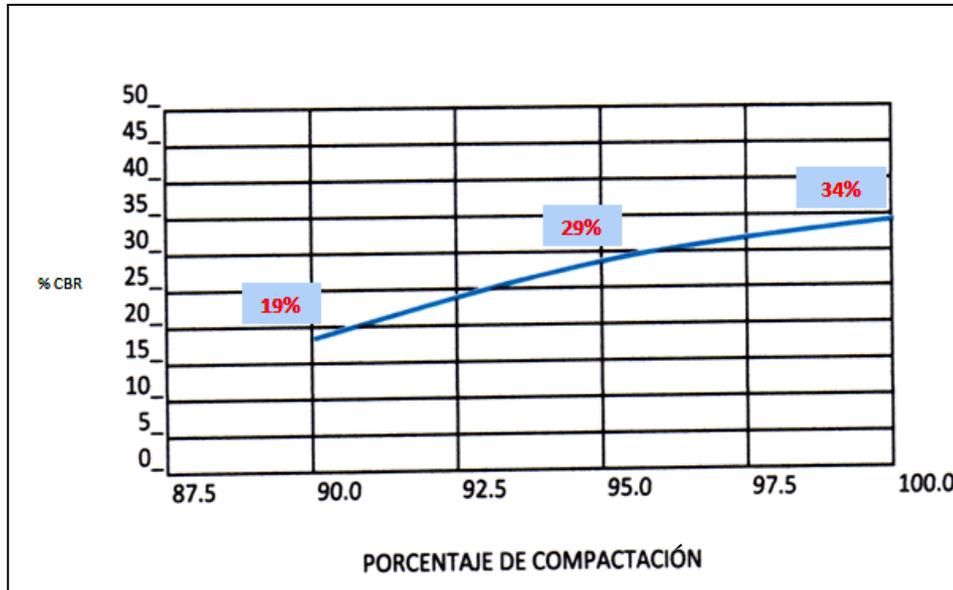
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Razón soporte California M3



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Razón soporte California suelo



Fuente: elaboración propia.

Las muestras de puzolana la M3 es la más baja en lo referente a los porcentajes de *CBR*, por lo que es posible encontrar que la compactación, antes y después de la prueba fue muy semejante, su contenido de humedad de un 17% es el más alto de las tres muestras.

Tabla XIV. **CBR M1, M2, M3 y suelo + cal**

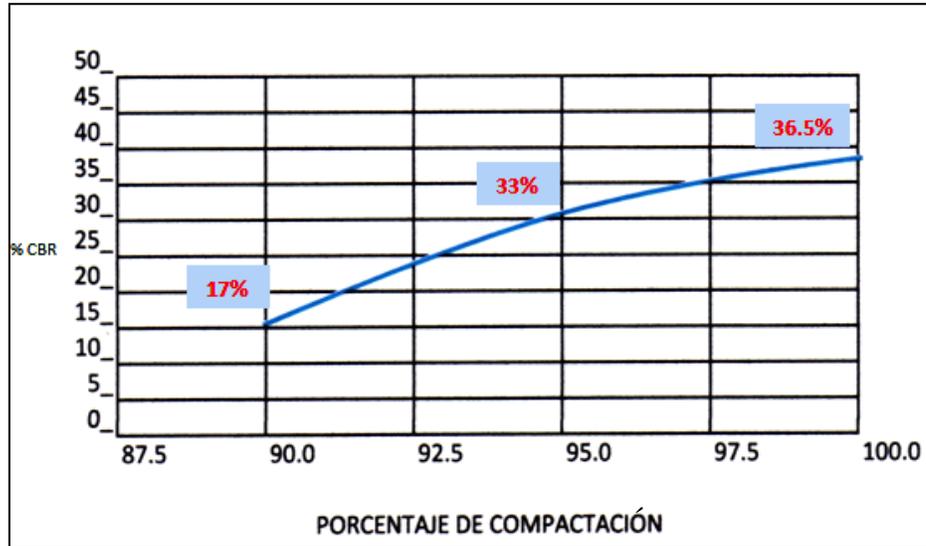
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M1			
65			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	100	21	34
2	100	28	36
3	100	76	36,5
30			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	96	35	31
2	96	42	32
3	97	9.86	33
10			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	92	45	15
2	92	30	16
3	93	14.1	17
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M2			
65			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	99,9	75	33
2	99,8	22	35
3	100	25	32
30			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	95	10	24
2	95	34	28
3	98	29	29
10			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	90	15	18
2	94	44	15
3	95	46	15

Continuación tabla XIV.

RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M3			
65			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	100	27	28
2	100	22	31
3	100	23	30
30			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	99	33	21
2	94	31	24
3	98,5	37	25
10			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	95	40	15
2	91	47	18
3	94	41	16
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA SUELO			
65			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	100	27	36
2	100	24	36
3	100	76	37
30			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	98	31	25
2	96	33	29
3	97	10	28
10			
GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	94	42	18
2	92	43	20
3	93	14	21

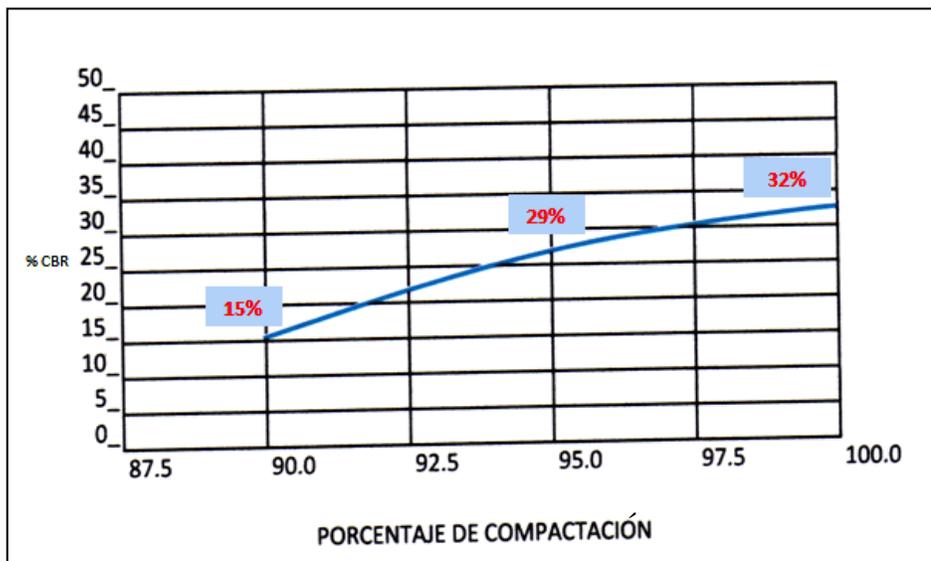
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Razón soporte California M1 + 3% cal



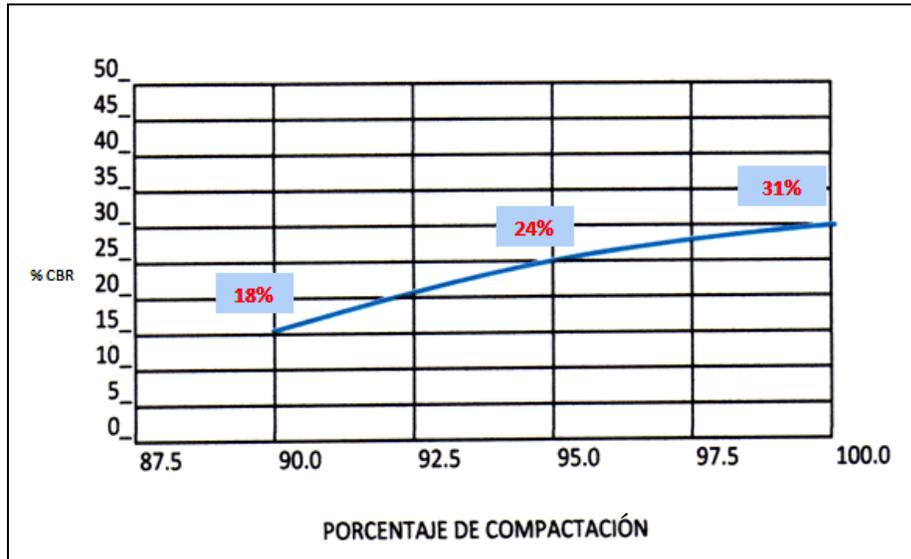
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Razón soporte California M2 + 3% cal



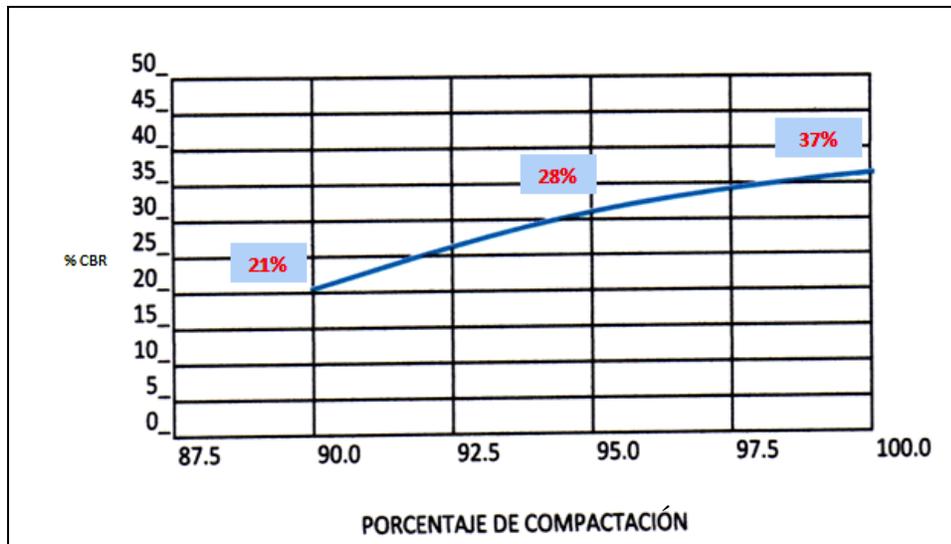
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Razón soporte California M3 + 3% cal



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Razón soporte California suelo + 3% cal



Fuente: elaboración propia.

De los resultados se infiere que con la adición a cal en los porcentajes de 1%, 2% y 3%, el incremento de compactación es relativamente pequeño, por lo que es importante tomar en cuenta las características de granulometría de las puzolanas para que sean las correctas que se utilicen en el proyecto.

Tabla XV. Resumen **CBR M1, M2, M3 y suelo + cal**

RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M1 + Suelo			
65 GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	100	29	38
2	100	32	40
3	99,8	32	41
30 GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	98	35	33
2	99	33	35
3	99,8	33	35
10 GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	96	36	21
2	97	35	22
3	96,5	35	23
RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M2 + Arcilla			
65 GOLPES			
%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	100	21	40
2	100	32	40
3	99,8	32	41
30 GOLPES			

Continuación tabla XV.

%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	99	37	33
2	99,8	33	35
3	99,8	33	35

**10
GOLPES**

%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	90	42	22
2	97	35	22
3	96,5	36	23

**RAZÓN SOPORTE CALIFORNIA M3 +
Arcilla**

**65
GOLPES**

%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	100	25	31
2	100	25	32
3	100	27	31

**30
GOLPES**

%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	98	33	25
2	98	33	25
3	96	33	28

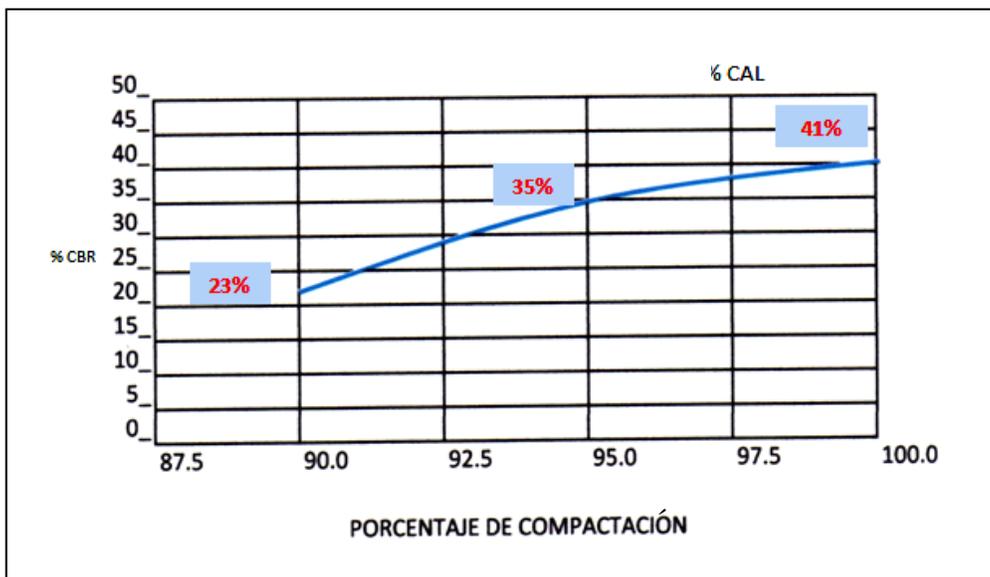
**10
GOLPES**

%CAL	%C	%Expansión	%CBR
1	95	42	17
2	94	43	19
3	92	41	19

Fuente: elaboración propia.

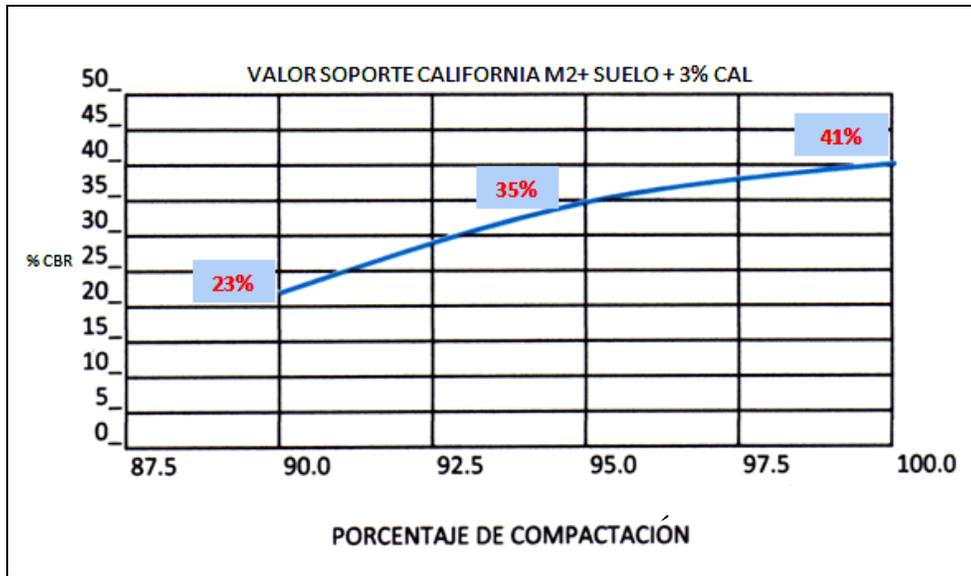
Se realizaron los ensayos combinados con cal 1%, 2% y 3%, y al fusionarlo con el suelo se observan características excelentes con porcentaje de expansión y de *CBR* muy buenos, para mejores resultados de bases y sub-bases para tramos carreteros, en las figuras 23, 24 y 25 se describe la similitud de todas las características finales de los materiales en estudio.

Figura 23. Razón soporte California M1 + suelo + 3% cal



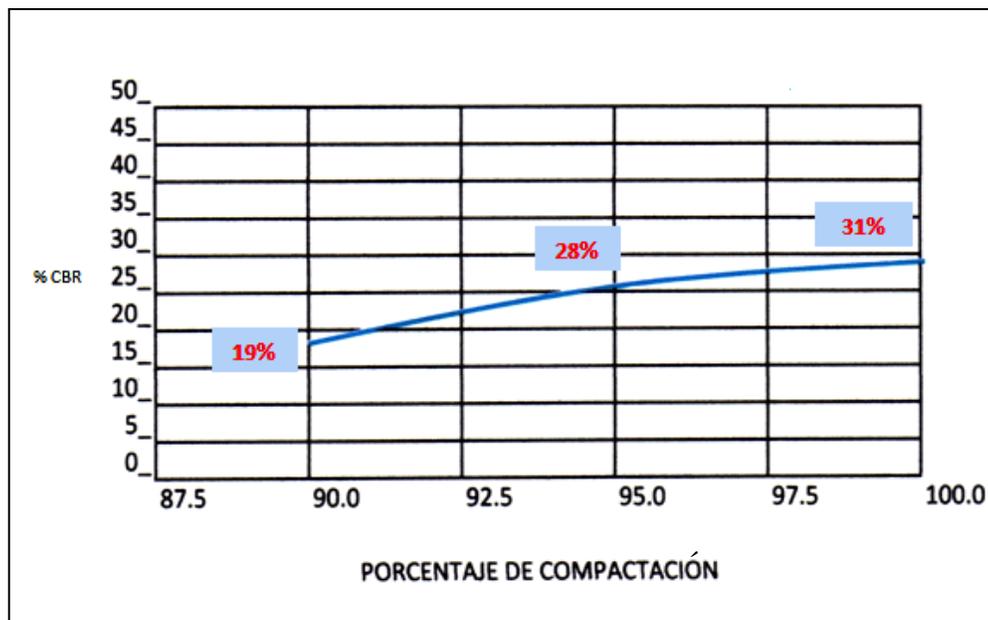
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Razón soporte California M2 + suelo + 3% cal



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Razón soporte California M3 + suelo + 3% cal



Fuente: elaboración propia.

En la primera muestra se obtuvo un leve incremento en la densidad seca del suelo, como también en el porcentaje de *CBR*; en la segunda muestra se obtuvo un incremento en la densidad seca del suelo y en el porcentaje de *CBR*. En general el aumento en la adición de cal no es significativo, pero si existe una mejora, ya que la arcilla es más plástica que la puzolana; para la muestra M3 el incremento en la densidad seca del suelo fue moderado, y el incremento en el porcentaje de *CBR* fue significativo, en comparación con la muestra sin la adición de cal, pero, como en las muestras anteriores, el aumento en las propiedades no es significativo.

En general, con la adición de cal en las muestras se aprecia un cambio poco significativo en comparación con las muestras que no tienen la adición de cal; sin embargo, es posible visualizar una mejora en la estabilización de los mismos.

10.3. Análisis y comparación de resultados de los ensayos de granulometría de las muestras M1, M2 y M3

Tabla XVI. Análisis granulométrico M1, M2, M3 y suelo

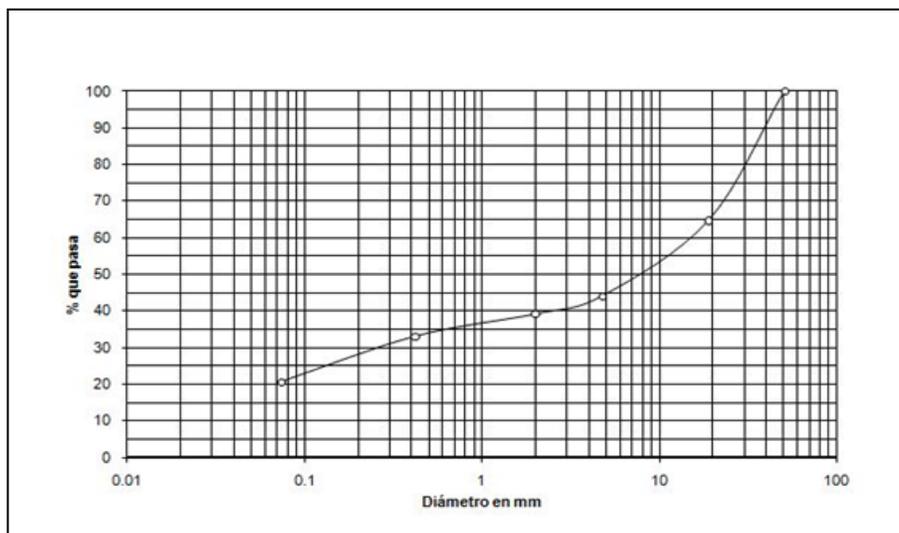
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		%
Arcilla		
Grava		51
Arena		21
Finos		28
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		%
Puzolana M1		
Grava		56
Arena		23,4
Finos		20,6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		%
Puzolana M2		
Grava		52
Arena		27
Finos		21
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		%
Puzolana M3		
Grava		59
Arena		19
Finos		22

Fuente: elaboración propia.

El análisis granulométrico consistió en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen, como se observa en la tabla XVI; los resultados son representados en forma gráfica por medio de una curva de distribución granulométrica, determinando de este modo, el porcentaje de gravas, arenas y finos presentes en la muestra de suelo, como se describe en las figuras 26, 27, 28 y 29.

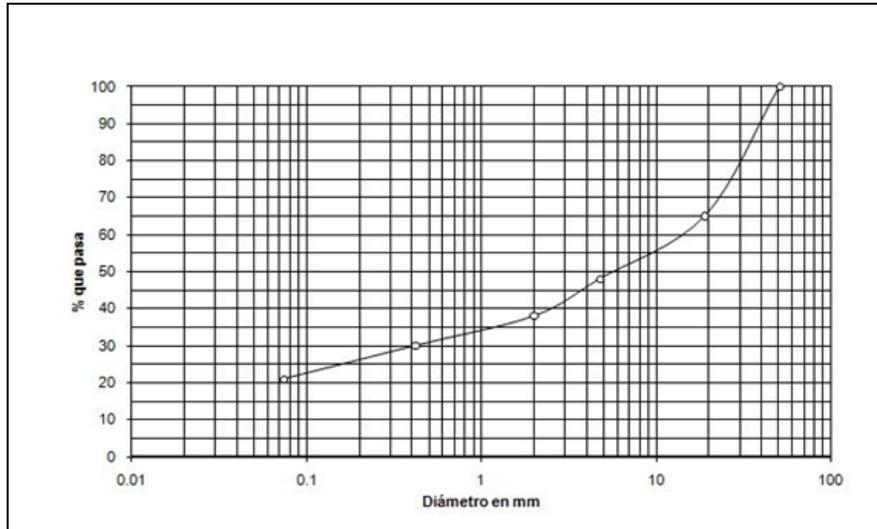
Para el presente estudio las muestras de suelo se sometieron durante 12 horas al sol para obtener su condición seca; a lavado previo al tamizado para eliminar los finos, y secado antes de tamizar. Se determinaron únicamente los análisis granulométricos de las muestras, por lo que sólo se presentan los resultados de las muestras sin adición de cal.

Figura 26. **Análisis granulométrico M1**



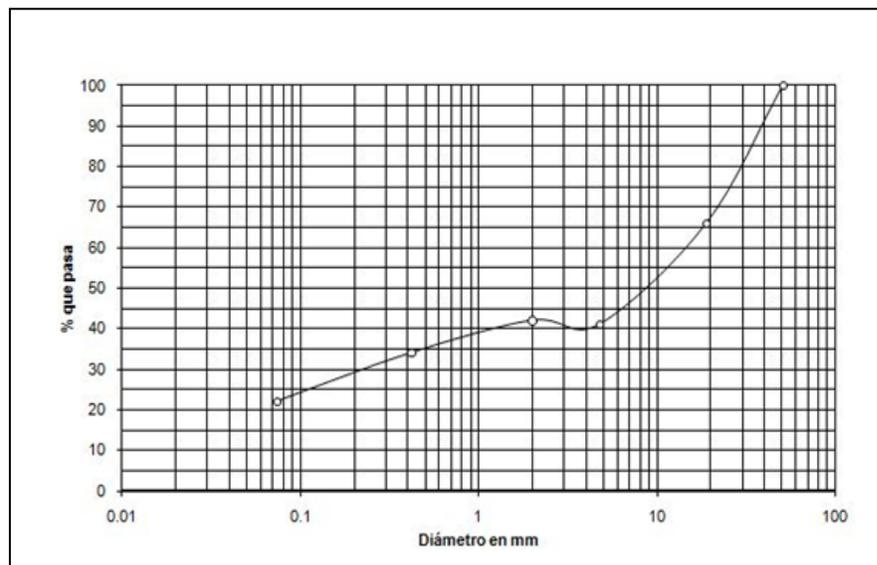
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Análisis granulométrico M2**



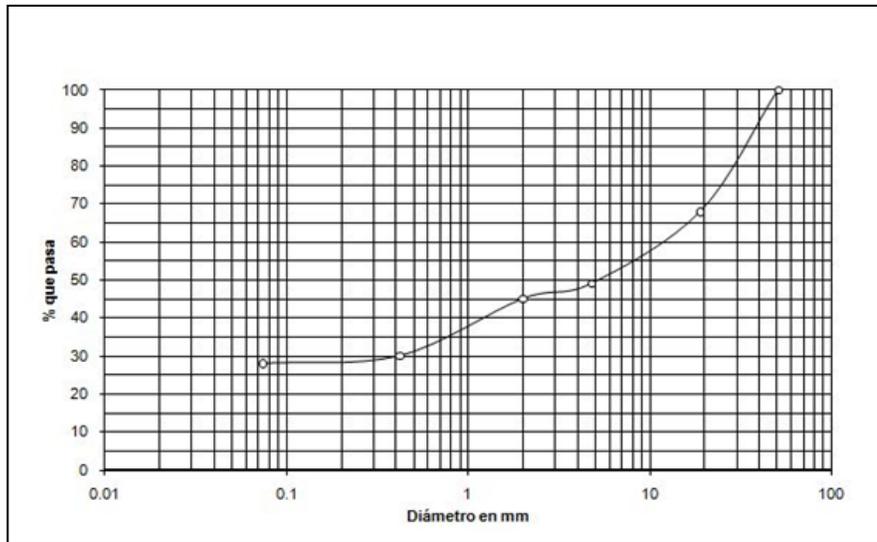
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Análisis granulométrico M3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Análisis granulométrico suelo**



Fuente: elaboración propia.

10.4. Tablas de resumen de resultados para M1, M2 y M3

Tabla XVII. **Resumen resultados M1**

RESUMEN DE DATOS				
MUESTRA 1: PUZOLANA 1				
PROCEDENCIA: SALCAJÁ, QUETZALTENANGO				
ENSAYO	0%	1% CAL	2% CAL	3%CAL
Ensayo de compactación				
PUS (lb/p ³)	87,3	92,5	91,7	90,5
% H óptimo	17,8	14,5	14,9	15,3
CBR				
a la compactación (kg/m ³)	1 423,2	1 481,85	1 469,03	1 449,81
a la compactación (lb/p ³)	87,3	92,5	91,7	90,5
%CBR	32,5	34	36	36,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Resumen resultados M2

RESUMEN DE DATOS				
MUESTRA 2: PUZOLANA 2				
PROCEDENCIA: JACALTENANGO, HUEHUETENANGO				
ENSAYO	0%	1% CAL	2% CAL	3%CAL
Ensayo de compactación				
PUS (lb/p ³)	88,5	92,8	93,6	91,2
% H óptimo	15,5	14,6	15,6	16,1
CBR				
a la compactación (kg/m ³)	1 417,33	1 486,65	1 499,3	1 461,2
a la compactación (lb/p ³)	88,5	92,8	93,6	91,2
%CBR	33	33	35	32

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Resumen resultados M3

RESUMEN DE DATOS				
MUESTRA 3: PUZOLANA 3				
PROCEDENCIA: EL JÍCARO, EL PROGRESO				
ENSAYO	0%	1% CAL	2% CAL	3%CAL
Ensayo de compactación				
PUS (lb/p ³)	86,1	91,1	89,6	88,5
% H óptimo	17	15,9	16,1	16,5
CBR				
a la compactación (kg/m ³)	1 379.25	1 459.25	1 435.4	1 417.77
a la compactación (lb/p ³)	86,1	91,1	89,6	88,5
%CBR	28	28	31	30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resumen resultados suelo**

RESUMEN DE DATOS				
MUESTRA: ARCILLA				
PROCEDENCIA: XENACOJ, QUETZALTENANGO				
ENSAYO	0%	1% CAL	2% CAL	3%CAL
Ensayo de compactación				
PUS (lb/p ³)	111,25	114	113	112,6
% H òpt	14,5	13,7	14	14,2
CBR				
a la compactación (kg/m ³)	1 782,2	1 826,25	1 806	1 803,65
a la compactación (lb/p ³)	111,25	114	113	112,6
%CBR	34	36	36	37

Fuente: elaboración propia.

En el análisis comparativo se aprecia un buen comportamiento de la puzolana y arcilla sin cal, ya que tendría un beneficio económico con buenas características de consolidación del suelo, es importante tomar en cuenta las características de granulometría de las puzolanas para que éstas sean las que se utilicen en un proyecto determinado, ya que si aumenta el módulo de finura, las mismas pueden cambiar, es decir, entre más fina sea la puzolana, mejores propiedades de consolidación se obtienen.

Los ensayos realizados en las puzolanas fueron proctor y *CBR* individuales y combinadas con cal al 1%, 2% y 3%, después con 30% arcilla con sus respectivas proporciones de cal.

Los ensayos realizados en la arcilla fueron proctor y *CBR* individuales y combinados con cal al 1%, 2% y 3%.

Se puede observar que cuando se combina puzolana, cal y arcilla la variación en aumento de cal no es significativa, pero con base al comportamiento de la arcilla combinada con cal es bueno, ya que la arcilla es más plástica que la puzolana. Se debe tener extrema precaución una vez puesto el material, ya que la uniformidad del colocado y los porcentajes exactos de cada material, servirán para que los resultados obtenidos en laboratorio sean lo más semejante posible al momento de la colocación final en campo.

CONCLUSIONES

1. Se realizaron ensayos a cada una de las muestras de puzolana, al suelo natural y ensayos a las muestras de puzolana y suelo estabilizadas con cal, con distintos porcentajes de cal. Las tres muestras de puzolana poseen características que determinan su aptitud para ser estabilizados con cal y obtener resultados satisfactorios, aunque sus características propias varíen una de la otra. Los índices de plasticidad de las puzolanas están en un rango de 4%, aceptado según la norma francesa NF 98-100 y NF 98-101 donde indica un porcentaje sobre el índice de plasticidad del 3% al 6% siendo este último una puzolana de excelente calidad, mientras que la muestra del suelo en un rango de 10% se considera un suelo con cohesión moderada-alta, por lo que se puede observar que la arcilla es más plástica que las muestras de puzolana, de lo anterior se puede concluir que el comportamiento de la arcilla combinada con cal es bueno.
2. Del estudio de la reactividad de la puzolana con cal se comprueba que existe un fenómeno de fraguado con un inicio, relativamente rápido, de resistencia, lo cual de manera instintiva se visualiza que la reactividad puzolánica es una buena opción para la estabilización de suelos, para capas de bases y sub-bases.
3. Los resultados de los ensayos muestran que el suelo tiene una baja resistencia a la compresión, además de ser plástico; características propias de los suelos arcillosos, por lo tanto se tendría un buen

comportamiento de la puzolana y arcilla con buenas características de consolidación del suelo.

4. De acuerdo a las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes (libro azul de caminos), los materiales estabilizados (en este caso las puzolanas) son aptos para sub-bases, pues las características de plasticidad en la porción que pasa el tamiz 0.425 mm, no debe tener un índice de plasticidad AASHTO T 90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T 89 mayor de 25, según especificaciones de la sección 303.04 en su inciso "c". Con respecto al valor soporte el material debe tener un *CBR*, AASTHO T 193, mínimo de 30, efectuando sobre muestra saturada a 95% de compactación, AASHTO T 180, según las especificaciones de la sección 303.04 en su inciso "b". Sin embargo se pudo observar un buen comportamiento de la puzolana y arcilla sin cal, con buenas características, ya que la variación en aumento de cal no fue significativo.
5. Las características mostradas en los ensayos realizados a las muestras de puzolana M1, y M2 fueron muy similares, (% de humedad optima, PUS) se considera que dichas características son debido a su localización, ya que se encuentran en la cadena volcánica de Occidente, las características fisicoquímicas de las puzolanas de esta área que resaltan son: el porcentaje de humedad que se encuentra entre un 4 y 7%, su densidad aparente entre 0.8 y 1.0 g/cm³ y su densidad real puede variar entre 2.30 a 2.50 g/cm³. Por otro lado la muestra M3 sus características varían un poco, ya que esta muestra es del área de Oriente del país, su porcentaje de humedad está entre 5 y 12%, su densidad aparente entre 0.8 y 1.4 gr/cm³ y su densidad real entre 2.35 a 2.80 g/cm³ lo que significa que tiene una densidad menor que las muestras de Occidente, así como sus compuestos químicos como el

SiO₂ que en las muestras de Occidente está en un 48% y las de Oriente en un 65%, factores a tomar en cuenta, en la realización de un proyecto determinado. Por lo que, Guatemala es una región con un excelente porcentaje de este material puzolánico, sus características disciernen unas de otras y un factor importante es la localización de dichos bancos en las distintas regiones del país.

6. El comportamiento físico de los suelos de grano fino, en especial los arcillosos, en este caso el suelo arcilloso con un mínimo del 25% que pasa el tamiz 200 y un índice de plasticidad igual o mayor que el 10% son considerados aptos para la estabilización con cal; se ve afectado de manera favorable debido a la reacción química que se genera al estabilizarlos con cal. Los suelos arcillosos cambian de volumen por variaciones de humedad y temperatura, esto los hace inestables y deficientes, por esto sus propiedades mecánicas al estabilizarlas químicamente con cal, evita el deterioro y asegura un suelo completamente trabajable. Estas reacciones provocan cambios en las propiedades mecánicas de los suelos como se ha visto en los resultados de los ensayos realizados con los porcentajes de 1%, 2% y 3%, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de los suelos arcillosos obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia.
7. Al analizar los resultados de los ensayos realizados a las muestras de puzolana, como a la de suelo y compararlos con los obtenidos en las muestras estabilizadas con cal, se apreció claramente una mejoría, del comportamiento.

- De los ensayos de compactación se observó que las densidades se comportaron de maneras variables, pero en general tuvieron disminuciones, mientras que sus porcentajes de humedad óptima fueron en aumento en todos los casos. Este comportamiento se debe a la acción de la cal sobre las muestras, en el caso del suelo, produce floculación o aglomeración de las partículas de arcilla, produciendo mayor absorción de agua, razón por la que el porcentaje de humedad aumenta con el incremento en la proporción de cal. La reacción anteriormente mencionada depende también de la composición propia de cada muestra.
 - En cuanto a los porcentajes de *CBR* los resultados fueron positivos para las muestras ensayadas, porque éstos aumentaron considerablemente, en algunos casos a un valor de 100% (M1 y M2).
8. El interés económico que puede representar el empleo de puzolanas en la técnica de construcción de carreteras es evidente, dado que los bancos de materiales se encuentran en el lugar y al pequeño porcentaje de cal que se necesita para lograr una buena estabilización.
9. Sí es posible obtener o lograr la factibilidad en el uso de la puzolana extraída directamente del banco de materiales, en especial el que se encuentra en Xenacoj, Quetzaltenango para la estabilización con cal por la ubicación en la que se encuentra; lo anterior debido a que el material en las muestras de puzolana posee características que determinan su aptitud para ser estabilizados, (lo cual es concordante con el contenido de la Norma francesa NF 98-100 y NF 98-101), además de permitir el consumo directo del material en el lugar del proyecto lo que permitirá disminución de costos.

10. Las puzolanas reaccionan muy bien como material de base y sub-base, (Norma francesa NF 98-100 y NF 98-101), que en los casos de arcilla, la adición de cal puede omitirse, ya que los resultados obtenidos, tuvieron excelentes características de consolidación en los ensayos respectivos, pues su variación fue poco significativa.

RECOMENDACIONES

1. Cada puzolana tiene un comportamiento distinto, si se quiere usar para la construcción de carreteras deberán realizarse los estudios teóricos y experimentales; entre estos estudios están los de granulometría, proctor y *CBR*, primero individuales y luego a las mezclas.
2. Para estudios similares a éste, realizar otros ensayos en laboratorio como el de mojado y secado, según ASSHTO T-135, donde la pérdida de peso máximo deberá ser del 14% para capas de base, así también ensayos de impermeabilidad, los cuales servirán para medir la resistencia de estos materiales a la acción de los agentes atmosféricos.
3. Para un futuro estudio sobre un tramo experimental de carretera, utilizar galgas (medidores de deformación por resistencia) para medir los esfuerzos y deformaciones en las diferentes capas de la estructura, cuyo principio se basa en el efecto de una medición de deformación cuando se le somete a una fuerza, es decir en un esfuerzo piezorresistivo, ya que este sistema de medición es muy usado en la construcción para ver los asentamientos que tienen las estructuras en estudio, generalmente al siguiente mes de ser colocadas, ejemplo, el hormigón, lamentablemente este equipo no se encuentra en Guatemala, y el único lugar donde se encontraba era en el CII (Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala) pero por falta de mantenimiento este equipo dejó de funcionar.

4. Las investigaciones sobre la puzolana continúan en Guatemala, por lo cual deberá hacerse un mayor esfuerzo para averiguar los beneficios que este material puede brindar, los objetivos pueden alcanzarse rápidamente si participan conjuntamente los laboratorios de la Dirección General de Caminos y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Hasta la fecha se han realizado algunos estudios de tesis sobre la puzolana como investigaciones de parte del CII (Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala), y también en el ámbito profesional como ejemplo de esto está Cemento puzolánico, Fase III que fue realizado en el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo de Canadá y Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Ing. Quiñónez de la Cruz; Dr. Ing. Rodolfo Hernández en estudio de selectos puzolánicos estabilizados con cal donde se propone una metodología basada en las especificaciones LCPC-SETRA de Francia; entre otros trabajos bajo la misma temática, es necesario un estudio que englobe los resultados, procedimientos, objetivos y demás datos y tomarlos en cuenta en futuras aplicaciones.
6. Realizar un estudio de campo con el propósito de localizar la mayor cantidad de bancos de puzolana existentes, así como el volumen de cada uno y sus ensayos respectivos.
7. Tener una buena colocación en obra, ya que esto es vital para que los resultados obtenidos en laboratorio se asemejen lo mejor posible al los que se pueden obtener en campo, porque la colocación en campo debe ser uniforme; el objetivo será el obtener una condición de apoyo uniforme para el pavimento durante la vida útil de éste, cuyos factores a

tomar en cuenta son la preparación de la mezcla, preparación de la capa de base o de la capa niveladora, transporte y tendido de la mezcla para carpeta, juntas y la compactación final con su acabado final.

BIBLIOGRAFÍA

1. CORONADO ITURBIDE, Jorge. *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: AID, Internacional, 2002. 755 p.
2. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Ingenieros Constructores de Centro América, 2001. 807 p.
3. LEMUS DAHINTEN, Pedro Enrique. "Estabilización de material, tipo selecto con cal". Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992. 125 p.
4. MECÁNICA DEL SUELO Y CIMENTACIONES. Especificaciones generales sobre mecánica de suelos. Vol. I y II. México: McGraw-Hill / Interamericana de México, 2006. 362 p.
5. Ministerio de Urbanismo y Transportes. *Dirección para la realización de ensayos para carreteras con arenas con auxilio de conglomerantes hidráulicos*. Francia: s.e., 1985. 558 p.

6. MUNDUATE GARCÍA, Cristian Lorena. “Determinación de características cementantes y de uso para mezclas puzolana-cal-arena de río” Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1987. 145 p.

7. SOLARES DÍAZ, Jorge Ovidio. “Método de estabilización de suelos”. Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1978. 155 p.

ANEXOS



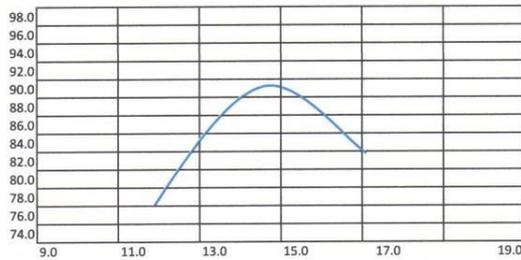
PRUEBA DE COMPACTACION

Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Tel. (502)2385-2583

TRABAJO: HOJA No: 3
PROYECTO: PROFUNDIDAD:
LUGAR: MUESTRA: M-3 Puzolana+ 2% cal
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

TIPO DE ENSAYO	AASHO MODIFICADO	A	No. De Capas	5	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
		B	No. De Golpes	25		
T-180-86		C	Peso del Martillo	10,0	14.9	91.7 Lbs/pie3
		D		Lbs.		1,469.03 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010



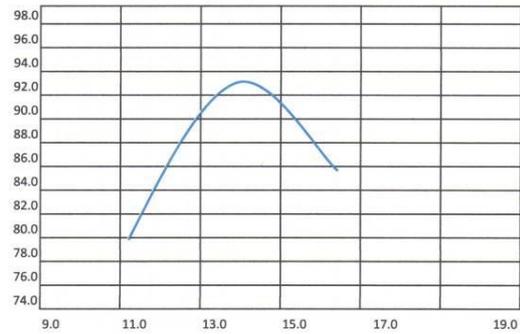
PRUEBA DE COMPACTACION

Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Tel. (502)2385-2583

TRABAJO: HOJA No: 4
PROYECTO: PROFUNDIDAD:
LUGAR: MUESTRA: M-4 Puzolana+ 3% cal
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

TIPO DE ENSAYO	AASHO MODIFICADO	A	No. De Capas	5	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
		B	No. De Golpes	25		
T-180-86		C	Peso del Martillo	10,0	14.5	92.5 Lbs/pie3
		D		Lbs.		1,481.85 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: 2ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:		FECHA: 12/12/2010	
LUGAR:		MUESTRA: M-1 Puzolana		PROF:	
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.					
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10	
		Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %	
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba
		86.1	86.1	99.3	100.0
1	15.5	14.5	89.2	88.3	89.8
2	17.8	16.5			
3	16.5	15.1			
Densidad Seca Maxima: 87.3 Lbs/Pie3		C.B.R. a 90% De Compactacion=		13.00%	
Humedad Optima: 17.80%		C.B.R. a 95% De Compactacion=		28.00%	
		C.B.R. a 100% De Compactacion=		32.50%	





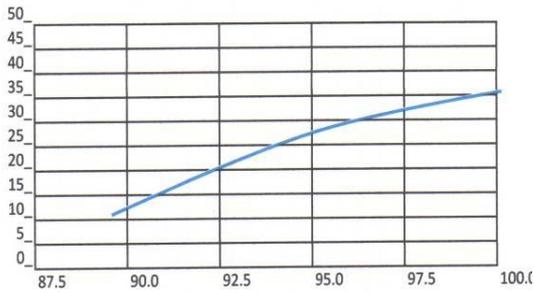
**PRUEBA DE PENETRACION
C.B.R.**

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

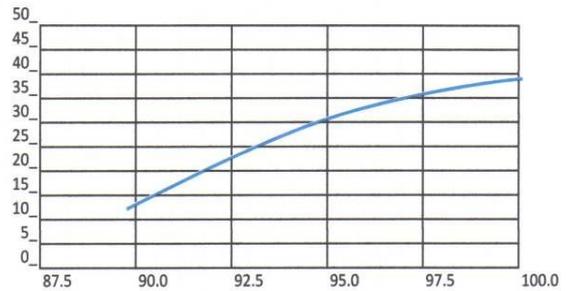


**PRUEBA DE PENETRACION
C.B.R.**

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION

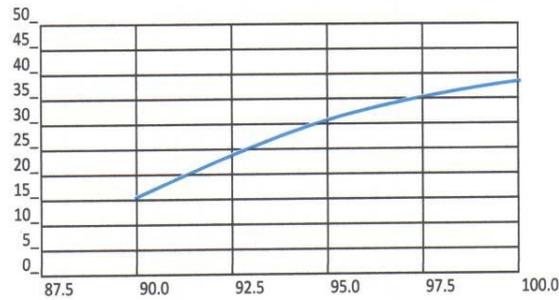


PORCENTAJE DE COMPACTACION



**PRUEBA DE PEN
C.B.R.**

Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-3 Puzolana + 2% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	15.1	14.5	90.5	89.5	99.0	100.0	976	0.030	32.5	
2	14.9	14.8	91.7	91.2	94.1	96.0	881	0.045	29.4	
3	13.5	13.2	88.5	87.5	89.9	92.0	381	0.032	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		16.00%						
Maxima: 91.7 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		32.00%						
Humedad Optima: 14.90%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		36.00%						



AB



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-2 Puzolana + 1% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	14.7	14.0	86.1	88.5	99.0	100.0	976	0.021	32.5	
2	15.3	14.2	90.6	90.1	94.1	96.0	881	0.035	29.4	
3	15.0	14.9	89.8	90.1	89.9	92.0	381	0.045	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		15.00%						
Maxima: 90.6 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		31.00%						
Humedad Optima: 15.30%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		34.00%						



AB



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-3 Puzolana + 2% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	15.1	14.5	90.5	89.5	99.0	100.0	976	0.030	32.5	
2	14.9	14.8	91.7	91.2	94.1	96.0	881	0.045	29.4	
3	13.5	13.2	88.5	87.5	89.9	92.0	381	0.032	12.7	
Densidad Seca		C.B.R.		a 90% De Compactacion=		16.00%				
Maxima: 91.7 Lbs/Pie3		C.B.R.		a 95% De Compactacion=		32.00%				
Humedad Optima: 14.90%		C.B.R.		a 100% De Compactacion=		36.00%				



ASB



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-2 Puzolana + 1% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	14.7	14.0	86.1	88.5	99.0	100.0	976	0.021	32.5	
2	15.3	14.2	90.6	90.1	94.1	96.0	881	0.035	29.4	
3	15.0	14.9	89.8	90.1	89.9	92.0	381	0.045	12.7	
Densidad Seca		C.B.R.		a 90% De Compactacion=		15.00%				
Maxima: 90.6 Lbs/Pie3		C.B.R.		a 95% De Compactacion=		31.00%				
Humedad Optima: 15.30%		C.B.R.		a 100% De Compactacion=		34.00%				



ASB



PRUEBA DE COMPACTACION

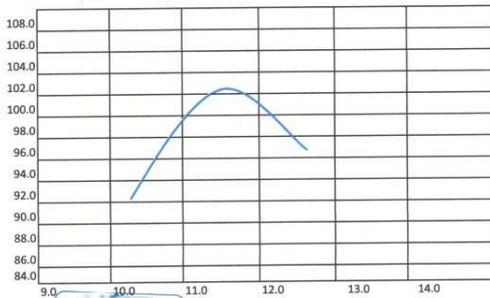
Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.

HOJA No: 14
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-14 Puzolana+ 2% cal arcilla

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

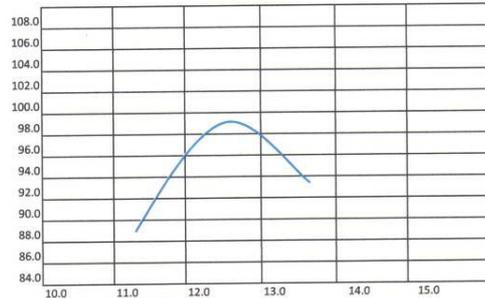
Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.

HOJA No: 13
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-13 Puzolana+ 1% cal arcilla

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

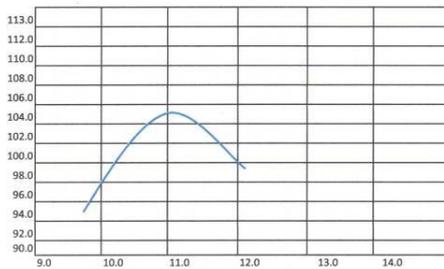
Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.

HOJA No: 15
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-14 Puzolana+ 2% cal arcilla

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

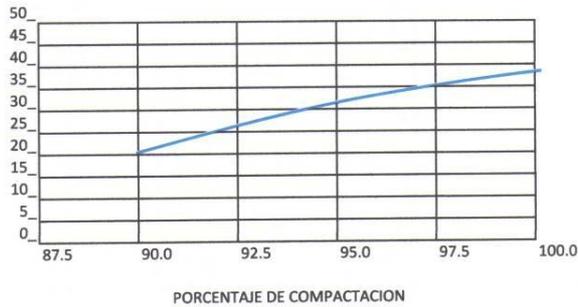
Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-15 Puzolana + 1% cal + arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	11.5	11.2	92.5	90.5	99.9	100.0	976	0.045	32.5	
2	12.5	12.1	99.5	98.8	96.5	98.0	881	0.054	29.4	
3	12.1	11.9	96.5	95.5	93.5	96.0	381	0.056	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		21.00%						
Maxima: 99.5 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		33.00%						
Humedad Optima: 12.50%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		38.00%						



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

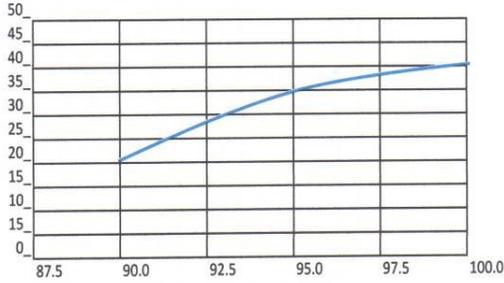
TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-16 Puzolana + 2% cal + arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	10.9	10.5	99.9	99.8	99.8	100.0	976	0.048	32.5	
2	11.5	11.2	102.5	101.5	96.9	99.0	881	0.049	29.4	
3	11.1	11.1	100.0	99.8	94.5	97.0	381	0.052	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		22.00%						
Maxima: 102.5 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		35.00%						
Humedad Optima: 11.50%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		40.00%						





**PRUEBA DE PENETRACION
C.B.R.**

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

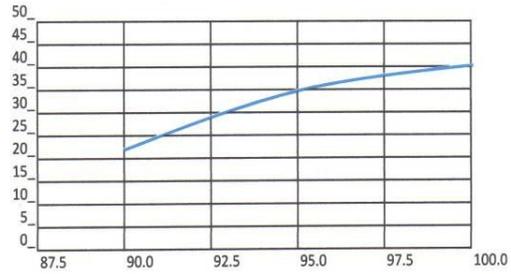


PORCENTAJE DE COMPACTACION



**PRUEBA DE PENETRACION
C.B.R.**

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-17 Puzolana + 3% cal + arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
		0,1"	0,2"	0,1"	0,2"					
1	11.0	10.9	101.2	100.2	99.7	99.8	976	0.049	32.5	
2	11.5	11.4	105.1	104.2	95.5	99.8	881	0.050	29.4	
3	11.0	10.9	102.2	101.2	93.2	96.5	381	0.054	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		23.00%						
Maxima: 105.1 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		35.00%						
Humedad Optima: 11.50%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		41.00%						



RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO
Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg

Fecha: 12/12/2010

Cliete:
Proyecto:
Lugar:

Lugar o Estacionamiento	Muestra	Profundidad en Metros	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO LAVADO EN EL TAMIZ No. 200													Límites Atterberg		
			PORCENTAJE QUE PASA EN PESO SECO													Límite Líquido en %	Límite Plástico en %	Índice de Plasticidad en %
			Tamices U.S. Standard															
3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200							
75.000	50.800	38.100	25.400	19.100	12.700	9.520	4.760	2.000	0.420	0.180	0.074							
Diámetro de la partícula en mm																		
Puzolana	M-2	---	100	88	75	68	65	54.0	50	48.0	38	30.0	25	21	15.5	13.7	1.2	

LABORATORIO CIEN
CIENCIA Y TECNOLOGIA EN CONTROL DE CALIDAD



Handwritten signature



PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

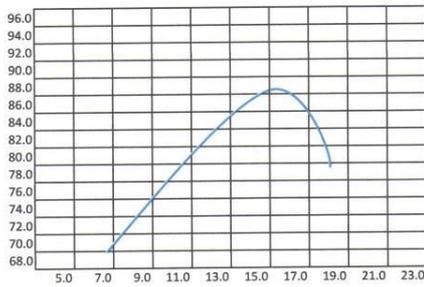
TRABAJO: PROYECTO: LUGAR: LUGAR O STA:

HOJA No: 1 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-1 Puzolana

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA. Values include 15.5, 88.5, 1,417.33.

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

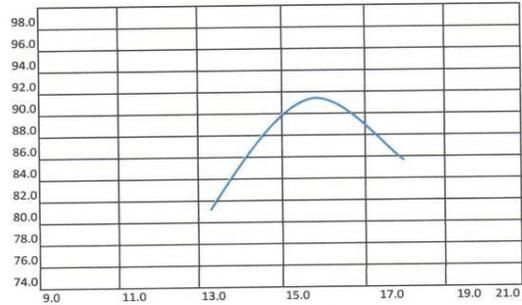
TRABAJO: PROYECTO: LUGAR: LUGAR O STA:

HOJA No: 2 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-2 Puzolana+ 1% cal

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA. Values include 16.1, 91.2, 1,461.2.

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

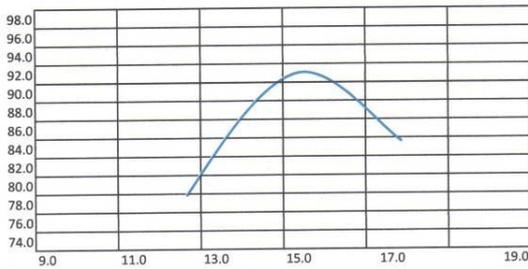
TRABAJO: PROYECTO: LUGAR: LUGAR O STA:

HOJA No: 3 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-3 Puzolana+ 2% cal

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA. Values include 15.6, 93.6, 1,499.3.

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

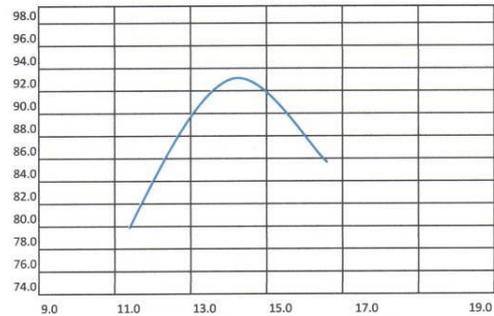
TRABAJO: PROYECTO: LUGAR: LUGAR O STA:

HOJA No: 4 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-4 Puzolana+ 3% cal

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA. Values include 14.6, 92.8, 1,486.65.

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA:12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-1 Puzolana				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	15.4	14.7	85.9	86.2	99.5	100.0	976	0.023	32.5	
2	16.1	15.9	88.5	85.9	96.5	95.5	881	0.036	29.4	
3	16.4	15.1	91.2	88.1	92.5	92.3	381	0.065	12.7	
Densidad Seca Maxima: 91.2 Lbs/Pie3		C.B.R. a 90% De Compactacion=		12.00%						
Humedad Optima: 16.10%		C.B.R. a 95% De Compactacion=		31.00%						
		C.B.R. a 100% De Compactacion=		33.00%						



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

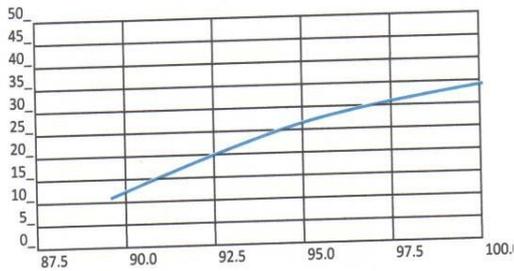
Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA:12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-2 Puzolana + 1% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	15.9	15.8	87.5	88.5	98.0	99.9	976	0.230	32.5	
2	16.1	15.3	91.6	90.1	91.2	98.0	881	0.031	29.4	
3	16.8	15.8	91.1	90.1	90.0	94.0	381	0.046	12.7	
Densidad Seca Maxima: 91.2 Lbs/Pie3		C.B.R. a 90% De Compactacion=		18.00%						
Humedad Optima: 16.10%		C.B.R. a 95% De Compactacion=		24.00%						
		C.B.R. a 100% De Compactacion=		33.00%						



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

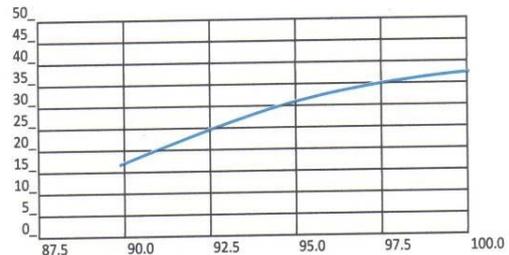


PORCENTAJE DE COMPACTACION



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosciem@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-3 Puzolana + 2% cal				PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.											
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie ³		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %		
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion		
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"	
1	15.2	14.9	94.1	89.5	99.5	99.8	976		0.023	32.5	29.4
2	15.6	15.2	91.2	91.2	95.6	95.0	881		0.035	29.4	12.7
3	14.9	14.2	89.2	87.5	91.1	94.0	381		0.045	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		15.00%							
Maxima: 93.6 Lbs/Pie ³		C.B.R. a 95% De Compactacion=		28.00%							
Humedad Optima: 15.60%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		35.00%							



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

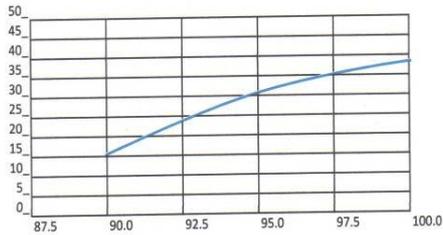
Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosciem@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-3 Puzolana + 3% cal				PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.											
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie ³		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %		
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion		
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"	
1	14.1	14.0	91.2	89.8	98.0	100.0	976		0.025	32.5	29.4
2	14.6	14.2	93.5	92.5	95.2	98.0	881		0.029	29.4	12.7
3	15.2	14.9	91.2	90.1	90.1	95.0	381		0.045	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		15.00%							
Maxima: 92.8 Lbs/Pie ³		C.B.R. a 95% De Compactacion=		29.00%							
Humedad Optima: 14.60%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		32.00%							



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosciem@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

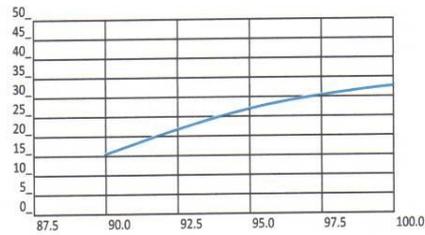


PORCENTAJE DE COMPACTACION



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosciem@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION





PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

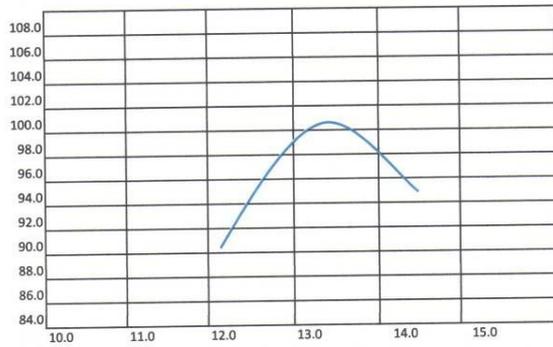
TRABAJO: PROYECTO: LUGAR: LUGAR O STA:

HOJA No: 13 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-13 Puzolana+ 1% cal arcilla

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, Lbs., DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

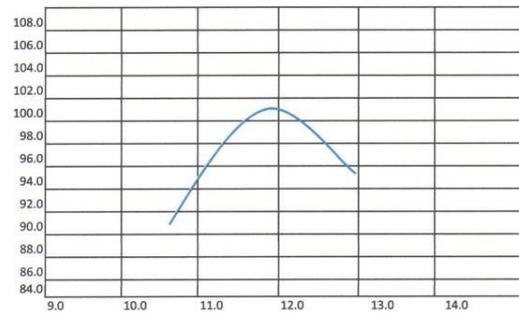
RABAJIO: RABAJIO: ROYECTO: UGAR:

HOJA No: 14 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-14 Puzolana+ 2% cal arcilla

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, Lbs., DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

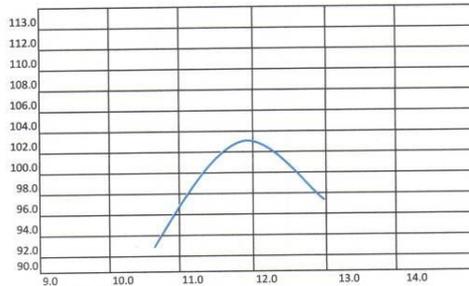
TRABAJO: PROYECTO: LUGAR: LUGAR O STA:

HOJA No: 15 PROFUNDIDAD: MUESTRA: M-14 Puzolana+ 2% cal arcilla

DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, Lbs., DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosci@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-15 Puzolana + 1% cal + arcilla				PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.											
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %		
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion		
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"	
1	13	12.9	93.5	95.2	99.9	100.0	976		0.025	32.5	
2	13.1	13.0	94.5	99.8	95.2	99.0	881		0.045	29.4	
3	13.6	13.1	96.5	94.6	93.2	90.0	381		0.051	12.7	
Densidad Seca				C.B.R. a 90% De Compactacion=		22.00%					
Maxima:		101.2 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		33.00%					
Humedad Optima:		13.10%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		40.00%					



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

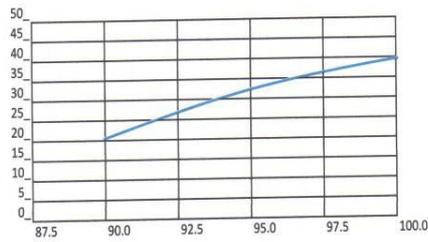
Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosci@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-16 Puzolana + 2% cal + arcilla				PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.											
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %		
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion		
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"	
1	10.9	10.5	99.9	99.8	99.8	100.0	976		0.048	32.5	
2	11.9	11.2	102.5	101.5	96.9	99.0	881		0.049	29.4	
3	11.1	11	100.0	99.8	94.5	97.0	381		0.052	12.7	
Densidad Seca				C.B.R. a 90% De Compactacion=		22.00%					
Maxima:		101.4 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		35.00%					
Humedad Optima:		11.90%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		40.00%					



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosci@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriosci@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION





Dirección: Zave, 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

TRABAJO:		PROYECTO:		FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-17 Puzolana + 3% cal + arcilla		PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.									
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10					
				Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras	Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba			A Penetracion	
						0,1"	0,2"	0,1"	0,2"
1	11.0	10.9	101.2	100.2	99.7	99.8	976	0.049	32.5
2	11.9	11.4	105.1	104.2	95.5	99.8	881	0.050	29.4
3	11.0	10.9	102.2	101.2	93.2	96.5	381	0.054	12.7
Densidad Seca				C.B.R. a 90% De Compactacion=		23.00%			
Maxima:		103.5 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		35.00%			
Humedad Optima:		11.90%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		41.00%			



RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO
Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg

Fecha: 12/12/2010

Cliente:
Proyecto:
Lugar:

Lugar o Estacionamiento	Muestra	Profundidad en Metros	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO LAVADO EN EL TAMIZ No. 200											Límites Atterberg			
			PORCENTAJE QUE PASA EN PESO SECO											Límite Líquido en %	Límite Plástico en %	Índice de Plasticidad en %	
			Tamices U.S. Standard														
3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200						
Puzolana	M-1	---	100	90	78	68	66	58.0	51	41.0	42	34.0	28	22	15.5	10.8	2.9

LABORATORIO CIEN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN CONTROL DE CALIDAD



PRUEBA DE COMPACTACION

Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Tel. (502)2385-2583



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave, 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

ABAJA:
OYECTO:
GAR:
GAR O STA:

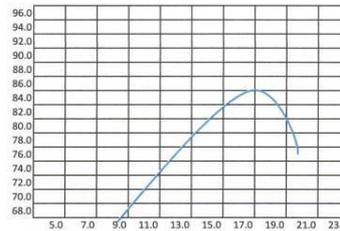
HOJA No: 1
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-1 Puzolana

SCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.



TIPO DE ENSAYO	A	No. De Capas	5	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
	B	No. De Golpes	25		
	C	Peso del Martillo	10,0		
	D		Lbs. 17,0		
					86.1
					1,379.25 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE COMPACTACION

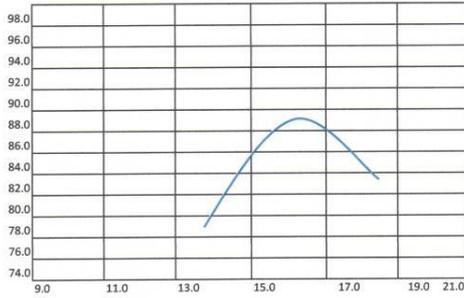
Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratorio cien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

HOJA No: 2
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-2 Puzolana+ 1% cal

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA, and a final density value.

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

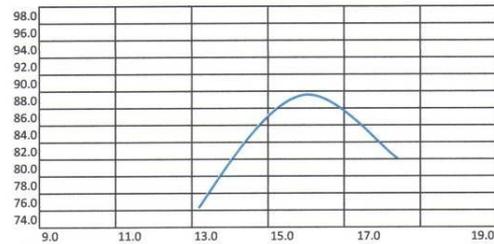
Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratorio cien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

HOJA No: 3
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-3 Puzolana+ 2% cal

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA, and a final density value.

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

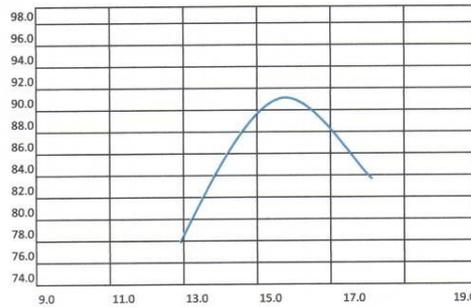
Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratorio cien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.

HOJA No: 4
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-4 Puzolana+ 3% cal

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA, and a final density value.

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-1 Puzolana				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Días de Saturación: 4				
Contenido de Humedad de Compactación en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactación en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Después Prueba	Antes Prueba	Después Prueba	A Penetración			A penetración	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	16.4	16.1	86.5	86.9	99.2	99.8	976		0.021	32.5
2	17.0	16.5	89.1	88.5	98.5	94.5	881		0.032	29.4
3	17.5	17.1	90.2	89.2	94.2	93.6	381		0.045	12.7
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactación=		11.00%						
Maxima: 86.1 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactación=		18.00%						
Humedad Optima: 17.00%		C.B.R. a 100% De Compactación=		28.00%						



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

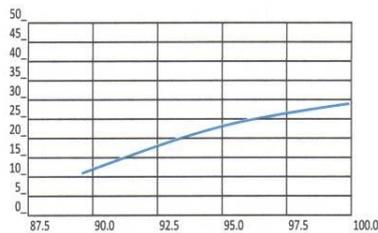
Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-2 Puzolana + 1% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Días de Saturación: 4				
Contenido de Humedad de Compactación en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactación en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Después Prueba	Antes Prueba	Después Prueba	A Penetración			A penetración	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	15.7	15.2	88.5	88.6	98.3	100.0	976		0.025	32.5
2	16.5	16.1	92.5	90.5	92.2	99.0	881		0.031	29.4
3	16.8	16.2	92.2	91.1	91.1	95.0	381		0.038	12.7
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactación=		15.00%						
Maxima: 88.5 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactación=		21.00%						
Humedad Optima: 16.50%		C.B.R. a 100% De Compactación=		28.00%						



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION

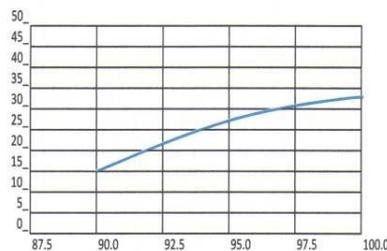


Signature



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION



Signature



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-3 Puzolana + 2% cal				PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.											
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %				Carga en Libras		C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion		Inchamiento	A penetracion		
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"	
1	15.8	15.5	98.5	91.1	99.1	100.0	976		0.018	32.5	
2	16.1	15.9	92.5	92.2	94.5	94.0	881		0.025	29.4	
3	16.5	15.2	92.1	88.5	90.1	91.0	381		0.038	12.7	
Densidad Seca		C.B.R.		a 90% De Compactacion=		18.00%					
Maxima: 89.6 Lbs/Pie3		C.B.R.		a 95% De Compactacion=		24.00%					
Humedad Optima: 16.10%		C.B.R.		a 100% De Compactacion=		31.00%					



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

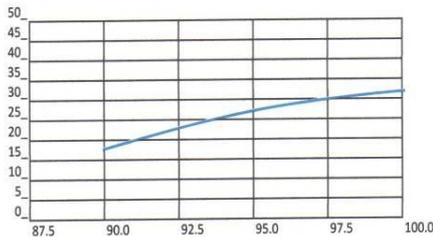
Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010					
LUGAR:		MUESTRA: M-3 Puzolana + 3% cal				PROF:					
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con poco limo, con trazas de grava fina, no plastico.											
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4					
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %				Carga en Libras		C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion		Inchamiento	A penetracion		
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"	
1	15.2	15.0	92.1	91.1	99.0	100.0	976		0.018	32.5	
2	15.9	15.5	94.6	93.6	96.2	98.5	881		0.029	29.4	
3	16.1	15.8	92.3	91.1	91.1	94.0	381		0.032	12.7	
Densidad Seca		C.B.R.		a 90% De Compactacion=		16.00%					
Maxima: 91.1 Lbs/Pie3		C.B.R.		a 95% De Compactacion=		25.00%					
Humedad Optima: 15.90%		C.B.R.		a 100% De Compactacion=		30.00%					



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

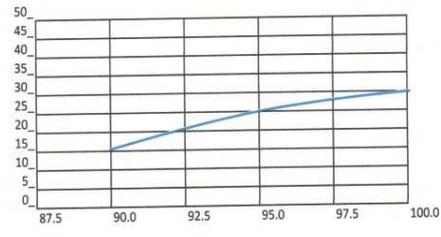


PORCENTAJE DE COMPACTACION



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION





PRUEBA DE COMPACTACION

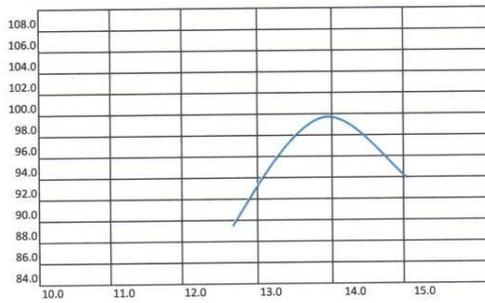
Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de
grava fina, plastico.

HOJA No: 13
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-13 Puzolana+ 1% cal
arcilla

TIPO DE ENSAYO	AASHO MODIFICADO T-180-86	A	No. De Capas	5	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
		B	No. De Golpes	25		
		C	Peso del Martillo	10,0	13.9	99.9 lbs/ple3
		D	Lbs.			1,600.39 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

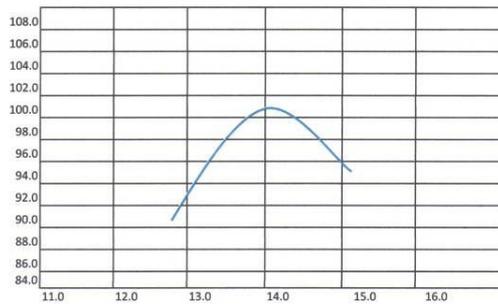
Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de
grava fina, plastico.

HOJA No: 14
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-14 Puzolana+ 2% cal
arcilla

TIPO DE ENSAYO	AASHO MODIFICADO T-180-86	A	No. De Capas	5	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
		B	No. De Golpes	25		
		C	Peso del Martillo	10,0	14.1	101.5 lbs/ple3
		D	Lbs.			1,631.00 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010



PRUEBA DE COMPACTACION

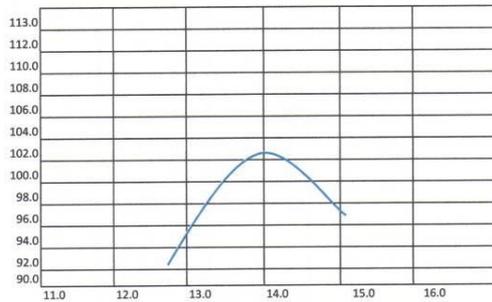
Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratoriocien@gmail.com
Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:
DESCRIPCION DE MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de
grava fina, plastico.

HOJA No: 15
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-14 Puzolana+ 2% cal
arcilla

TIPO DE ENSAYO	AASHO MODIFICADO T-180-86	A	No. De Capas	5	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
		B	No. De Golpes	25		
		C	Peso del Martillo	10,0	14.0	102.5 lbs/ple3
		D	Lbs.			1,642.05 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-15 Puzolana + 1% cal +arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: / Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.			No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10			Dias de Saturacion: 4		
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	13.2	13.0	94.5	95.6	99.8	100.0	976		0.021	32.5
2	13.9	13.5	95.5	98.6	94.6	98.0	881		0.028	29.4
3	14.2	14.0	96.5	95.5	94.6	95.0	381		0.035	12.7
Densidad Seca			C.B.R. a 90% De Compactacion=		17.00%					
Maxima: 99.9 Lbs/Pie3			C.B.R. a 95% De Compactacion=		25.00%					
Humedad Optima: 13.90%			C.B.R. a 100% De Compactacion=		31.00%					



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

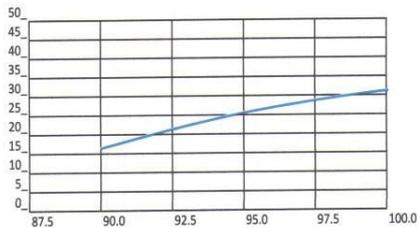
TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-16 Puzolana + 2% cal +arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: / Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.			No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10			Dias de Saturacion: 4		
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/pie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
									0,1"	0,2"
1	13.9	13.2	98.8	99.8	98.5	100.0	976		0.026	32.5
2	14.1	14	99.5	98.6	95.2	98.0	881		0.035	29.4
3	15.1	14.9	98.5	98.6	94.3	94.0	381		0.045	12.7
Densidad Seca			C.B.R. a 90% De Compactacion=		19.00%					
Maxima: 101.5 Lbs/Pie3			C.B.R. a 95% De Compactacion=		25.00%					
Humedad Optima: 14.10%			C.B.R. a 100% De Compactacion=		32.00%					



Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

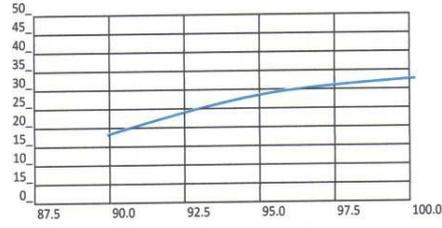


PORCENTAJE DE COMPACTACION



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PORCENTAJE DE COMPACTACION





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-17 Puzolana + 3% cal + arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Arena fina con limo, con trazas de grava fina, plastico.										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Después de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/plie3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	13.9	13.8	99.8	99.5	99.6	100.0	976		0.028	32.5
2	14.0	13.9	98.5	96.5	94.2	96.0	881		0.036	29.4
3	14.5	14.1	99.2	98.5	92.5	92.0	381		0.045	12.7
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		19.00%						
Maxima: 102.5 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		28.00%						
Humedad Optima: 14.00%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		31.00%						



RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO
Análisis Granulométrico y Límites de Atterberg

Fecha: 12/12/2010

Ciudad:
Proyecto:
Lugar:

Lugar o Estacionamiento	Muestra	Profundidad en Metros	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO LAVADO EN EL TAMIZ No. 200											Límites Atterberg					
			PORCENTAJE QUE PASA EN PESO SECO											Límite Líquido en %	Límite Plástico en %	Índice de Plasticidad en %			
			Tamices U.S. Standard																
			3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 20	No. 40	No. 60	No. 80	No. 100			
			75.000	50.800	38.100	25.400	15.100	12.700	9.520	4.750	2.000	0.420	0.180	0.074					
			Diámetro de la partícula en mm																
			100	90	80	76	68	61.0	56	49.0	45	30.0	25	28	18.5	19.5	8.5		
Arcilla	M-1	---																	

LABORATORIO CIEN
CIENCIA Y TECNOLOGIA EN CONTROL DE CALIDAD



[Handwritten Signature]



PRUEBA DE COMPACTACION

Dirección: 2Ave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Tel. (502)2385-2583

TRABAJO:
PROYECTO:
LUGAR:
LUGAR O STA:

HOJA No: 1
PROFUNDIDAD:
MUESTRA: M-1 Arcilla

DESCRIPCION DE MUESTRA: Limo arcillo color café oscuro plastico

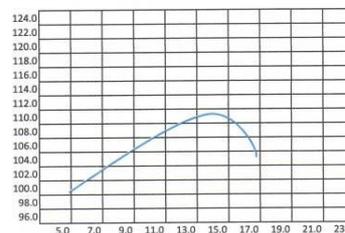
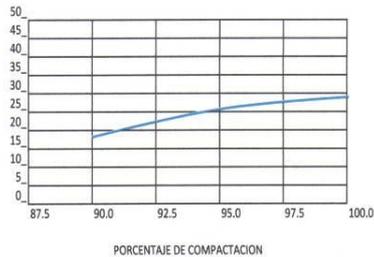


PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TIPO DE ENSAYO	AASHO MODIFICADO	A	No. De Capas	S	HUMEDAD OPTIMA EN %	DENSIDAD MAXIMA SECA
T-180-86	C	D	5	25	10.0	111.25 Lbs/plie3
					14.5	1,782.2 Kg/m3

Fecha: 12/11/2010



[Handwritten Signature]



[Handwritten Signature]



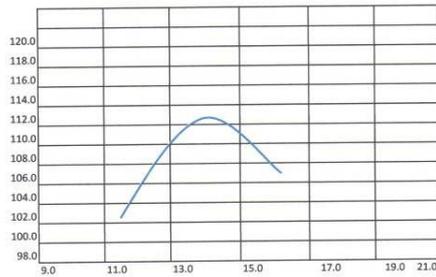
PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO: HOJA No: 2
PROYECTO: PROFUNDIDAD:
LUGAR: MUESTRA: M-2 1% cal
DESCRIPCION DE MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010



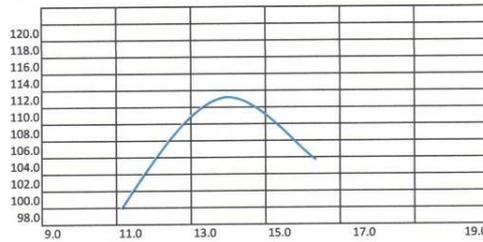
PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO: HOJA No: 3
PROYECTO: PROFUNDIDAD:
LUGAR: MUESTRA: M-3 + 2% cal
DESCRIPCION DE MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010



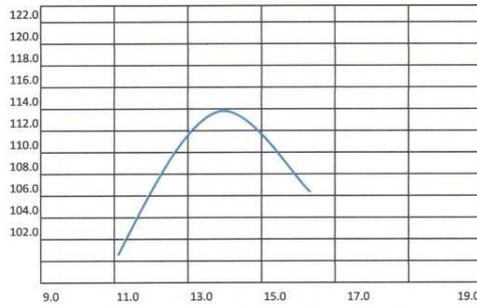
PRUEBA DE COMPACTACION

Direccion: 2Ave. 8-29 Zona 14 Guatemala, C.A. laboratoriocien@gmail.com Tel. (502)2385-2583

TRABAJO: HOJA No: 4
PROYECTO: PROFUNDIDAD:
LUGAR: MUESTRA: M-4 + 3% cal
DESCRIPCION DE MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico

Table with 6 columns: TIPO DE ENSAYO, AASHO MODIFICADO, A, B, C, D, No. De Capas, No. De Golpes, Peso del Martillo, HUMEDAD OPTIMA EN %, DENSIDAD MAXIMA SECA

Fecha: 12/11/2010





PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-1 Arcilla				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/ple3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	14.1	13.9	86.5	86.1	99.6	100.0	976	0.018	32.5	12.7
2	14.5	14.1	87.3	86.9	94.5	94.2	881	0.025	29.4	
3	15.9	15.5	89.2	88.3	91	92.0	381	0.030		
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		19.00%						
Maxima: 111.25 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		29.00%						
Humedad Optima: 14.50%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		34.00%						



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583

TRABAJO:		PROYECTO:				FECHA: 12/12/2010				
LUGAR:		MUESTRA: M-2 + 1% cal				PROF:				
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10		Dias de Saturacion: 4				
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Densidad Seca en Lbs/ple3		Grado de Compactacion en %		Carga en Libras		Inchamiento	C.B.R. EN %	
		Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion			A penetracion	
						0,1"	0,2"		0,1"	0,2"
1	14.2	14.0	88.5	88.1	99.0	100.0	976	0.025	32.5	12.7
2	14.6	14.3	91.3	90.1	95.1	98.0	881	0.028	29.4	
3	15.1	14.9	90.1	90.0	88.8	94.0	381	0.038		
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		18.00%						
Maxima: 111.6 Lbs/Pie3		C.B.R. a 95% De Compactacion=		25.00%						
Humedad Optima: 14.60%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		36.00%						



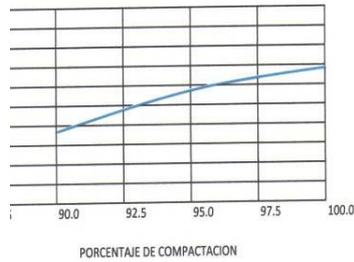
PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

Dirección: Zave. 8-29 Zona 14
Guatemala, C.A.
laboratorioscienc@gmail.com
Teléfono: 2385-2583



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

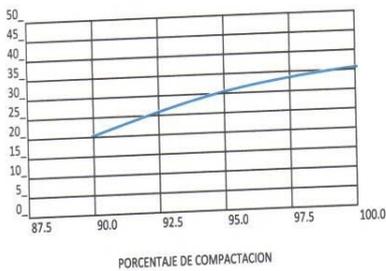
TRABAJO:		PROYECTO:		FECHA: 12/12/2010						
LUGAR:		MUESTRA: M-3 + 2% cal		PROF:						
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10						
		Densidad Seca en Lbs/pie ³		Grado de Compactacion en %						
				Carga en Libras						
				Inchamiento						
				C.B.R. EN %						
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion		Inchamiento	A penetracion	
						0.1"	0.2"		0.1"	0.2"
1	13.8	13.6	92.5	91.2	100.0	100.0	976	0.025	32.5	
2	14.0	13.8	92.5	91.3	95.2	96.0	881	0.035	29.4	
3	15.1	14.6	89.5	88.5	91.1	92.0	381	0.045	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		20.00%						
Maxima: 113.0 Lbs/Pie ³		C.B.R. a 95% De Compactacion=		29.00%						
Humedad Optima: 14.00%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		36.00%						



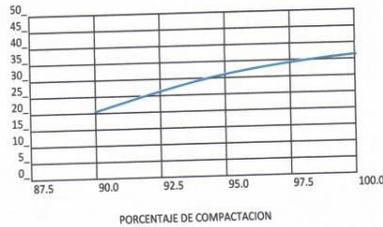
Handwritten signature



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.



PRUEBA DE PENETRACION C.B.R.

TRABAJO:		PROYECTO:		FECHA: 12/12/2010						
LUGAR:		MUESTRA: M-3 + 3% cal		PROF:						
DESCRIPCION DE LA MUESTRA: Limo arcillo colo café oscuro plastico										
Peso de Martillo = 10 Lbs.		No. De Capas: 5		No. De Golpes: 65-30-10						
		Densidad Seca en Lbs/pie ³		Grado de Compactacion en %						
				Carga en Libras						
				Inchamiento						
				C.B.R. EN %						
Contenido de Humedad de Compactacion en %	Contenido de Humedad Despues de Prueba en %	Antes Prueba	Despues Prueba	Antes Prueba	Despues Prueba	A Penetracion		Inchamiento	A penetracion	
						0.1"	0.2"		0.1"	0.2"
1	13.1	12.9	95.2	94.2	98.9	100.0	976	0.270	32.5	
2	13.6	13.5	94.5	93.5	94.5	97.0	881	0.035	29.4	
3	14.2	13.9	89.8	88.5	91.2	93.0	381	0.050	12.7	
Densidad Seca		C.B.R. a 90% De Compactacion=		21.00%						
Maxima: 114.0 Lbs/Pie ³		C.B.R. a 95% De Compactacion=		28.00%						
Humedad Optima: 13.60%		C.B.R. a 100% De Compactacion=		37.00%						



Handwritten signature

