

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS
PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

HERNÁNDEZ LARA, JOSUÉ ARÍSTIDES

MEJÍA RAMÍREZ, DAVID REMBERTO

ZELAYA AMAYA, CÉSAR EDUARDO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, DICIEMBRE DE 2016

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
AUTORIDADES

LIC. LUIS ARGUETA ANTILLÓN
RECTOR INTERINO

ING. CARLOS ARMANDO VILLALTA
VICE-RECTOR ACADÉMICO INTERINO

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA
SECRETARIA GENERAL

LICDA. NORA BEATRIZ MELÉNDEZ
FISCAL GENERAL INTERINA

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

AUTORIDADES

ING. JOAQUÍN ORLANDO MACHUCA

DECANO

LIC. CARLOS ALEXANDER DÍAZ

VICE-DECANO

LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ

SECRETARIO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ING. JUAN ANTONIO GRANILLO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
DOCENTE DIRECTOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL

TITULO:
PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS
PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

PRESENTADO POR:

HERNÁNDEZ LARA, JOSUÉ ARÍSTIDES

MEJÍA RAMÍREZ, DAVID REMBERTO

ZELAYA AMAYA, CÉSAR EDUARDO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:
INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
DOCENTE DIRECTOR

CIUDAD UNIVERSITARIA DE ORIENTE, DICIEMBRE DE 2016.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
DOCENTE DIRECTOR

TRIBUNAL CALIFICADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

INGA. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA
DOCENTE ASESOR

ING. JOSÉ LUIS CASTRO CORDERO
TRIBUNAL CALIFICADOR

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS
TRIBUNAL CALIFICADOR

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por habernos dado la fortaleza, todas las bendiciones y su iluminación en nuestros caminos para el logro de nuestras metas profesionales.

A la Universidad de El Salvador por habernos formado y brindado la oportunidad de crecer intelectualmente y a la vez forjarnos como personas de bien.

A los diferentes profesionales que con su valiosa colaboración enriquecieron este trabajo brindándonos su apoyo para la elaboración del mismo, especialmente a:

Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides. (UES)

Ing. José Miguel Landaverde. (UES)

Tec. Carlos Edgardo Morataya (UES).

Inga. Ana Cecilia Díaz de Flamenco. (UES)

Ing. Ramón Evelio López. (UES)

Ing. José Luis Castro Cordero. (UES)

Ing. Guillermo Moya Turcios. (UES)

Inga. Milagro de María Romero de García. (UES)

En general a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta a la realización del presente trabajo de graduación.

DEDICATORIA

A DIOS.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita misericordia y su inmenso amor incondicional.

A mi madre María Eva Lara de Hernández.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, su entrega a Dios y por sus oraciones que me han fortalecido y permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su gran amor.

A mi padre Galileo Hernández.

Por el ejemplo que ha inculcado en mi por su perseverancia y entrega a Dios que lo caracterizan, por su ayuda inigualable y su inmenso amor.

A mis hermanos.

Maer Yony por ser un ejemplo en mi vida de su conducta y excelentes valores, Melvin Eliseo por ser alguien dinámico y muy agradable, Erick Galileo por ser uno de las personas más lindas y responsables que conozco en general a ellos porque sin su apoyo y su ayuda no hubiese llegado hasta aquí.

A mis familiares.

Gracias por todos aquellos que directa o indirectamente influyeron en la elaboración de esta tesis. ¡Gracias a ustedes!

A la Universidad de El Salvador y en especial a la **Facultad Multidisciplinaria Oriental** por permitirme ser parte de una generación de gente productiva para el país.

JOSUÉ ARÍSTIDES HERNÁNDEZ LARA

DEDICATORIA

A DIOS.

Por ser quien me permitió la vida y la oportunidad de realizar la presente investigación, así como la fuerza y la valentía para superar todos los obstáculos que se me presentaron a lo largo de la carrera.

A mi madre Sandra Jeannette Ramírez.

Por ser la persona quien me dio la vida y siempre confió en mí, brindándome su apoyo incondicional tanto económico como moralmente, y que siempre me brindo buenos consejos que me permitieron poder culminar con la carrera.

A mi abuela María Zoila Ramírez.

Por ser mi segunda madre, ya que con ella compartí la mayor parte de mi vida y quien estuvo a mi lado durante toda la carrera brindándome su apoyo incondicional, siempre dándome ánimos con sus sabios consejos en los momentos más difíciles tanto de la carrera como de mi vida.

DAVID REMBERTO MEJÍA RAMÍREZ

DEDICATORIA

A DIOS.

Por darme la vida y haberme permitido culminar mis estudios universitarios, que a pesar de todas los obstáculos y dificultades que se me presentaron en toda mi carrera, el me dio la paciencia y perseverancia necesaria para la culminación de mi carrera. Gracias a ti mi Dios, hoy soy un profesional.

A mis padres.

César Armando Zelaya Álvarez y **Concepción de María Amaya de Zelaya** primero por haberme regalado la vida, así como también por los buenos consejos que me han dado día a día. Ustedes han sido los pilares fuertes e importantes en mi formación como profesional. Gracias mi Dios por tener unos excelentes padres, los AMO.

A mis hermanos, tíos/as, primos/as, en especial a mi abuelo **José Armando Zelaya** (Q.D.D.G.), en fin a toda la familia en general, ya que todos ellos aportaron un granito de arena en mi formación como profesional.

A todas las personas que incondicionalmente me brindaron su ayuda y apoyo en todo momento para el logro de este triunfo profesional.

CÉSAR EDUARDO ZELAYA AMAYA

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	i
-------------------	---

CAPITULO I GENERALIDADES

1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.2 OBJETIVOS.....	7
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2.2 OBJETIVOS ESPÈCIFICOS.....	7
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.3.1 ALCANCES.....	8
1.3.2 LIMITACIONES.....	9

CAPITULO II MARCO REFERENCIAL

2.1 DEFINICION Y CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....	10
2.2 ESTRUCTURACION DE LOS PAVIMENTOS.....	11
2.2.1 ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDO.....	11
2.2.2 ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	12
2.3 FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO.....	12
2.3.1 PAVIMENTO RÍGIDO.....	12
2.3.1.1 SUB –BASE.....	12
2.3.1.2 CAPA DE RODAMIENTO.....	12
2.3.2 PAVIMENTO FLEXIBLE.....	12
2.3.2.1 SUB- BASE.....	12
2.3.2.2 BASE.....	13

2.3.2.3 CAPA DE RODAMIENTO.....	13
2.3.3 TERRACERÍAS.....	13
2.3.3.1 TERRENO NATURAL O DE CIMENTACIÓN.....	13
2.3.3.2 CAPA SUB- RASANTE.....	13
2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS.....	14
2.4.1 EL TRÁNSITO.....	14
2.4.2 LA SUB RASANTE.....	14
2.4.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE.....	16
2.4.2.1.1 HUMEDAD Y DENSIDAD.....	16
2.4.2.1.2 TIPO DE SUELO Y SUS PROPIEDADES.....	16
2.4.3 EL CLIMA.....	16
2.4.4 LOS MATERIALES DISPONIBLES.....	16
2.5 CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS PAVIMENTOS.....	17
2.6 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	18
2.7 DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.....	19
2.8 TIPOLOGIA DE DAÑOS.....	20
2.8.2 GRIETAS LONGITUDINALES.....	21
2.8.3 DESPOSTILLAMIENTO EN JUNTAS.....	21
2.8.4 ESCALONAMIENTO EN JUNTAS.....	22
2.8.5 BACHES.....	23
2.8.6 FRAGMENTACIÓN MÚLTIPLE.....	23
2.9 GENERALIDADES DE LOS SUELOS.....	24
2.9.1 CONCEPTO Y ORIGEN DEL SUELO.....	25
2.9.2 TIPOS DE SUELOS.....	25
2.9.2.1 SUELOS RESIDUALES.....	26
2.9.2.2 SUELOS TRANSPORTADOS.....	26
2.9.3 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS.....	27
2.9.3.1 LAS GRAVAS.....	27
2.9.3.2 LAS ARENAS.....	28

2.9.3.3 LOS LIMOS.....	28
2.9.3.4 LAS ARCILLAS.....	29
2.9.4 COMPOSICIÓN DE SUELOS.	29
2.9.5 DEFINICIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS.....	30
2.9.6 CONCEPTOS Y ENSAYOS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS.	30
2.9.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN BASE A NORMA AASHTO M-145-91.....	32
2.9.8 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS ASTM D 2487-00.....	35
2.10 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.	40
2.10.1 PARÁMETROS DE NATURALEZA.	40
2.10.1.1 VARIACIÓN VOLUMÉTRICA.	40
2.10.1.2 PERMEABILIDAD.	41
2.10.1.3 GRANULOMETRÍA.....	41
2.10.1.4 PLASTICIDAD.....	41
2.10.1.5 LÍMITES DE ATTERBERG.	41
2.10.1.6 ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP).....	43
2.10.2 PARÁMETROS DE ESTADO DEL SUELO.....	43
2.10.2.1 RESISTENCIA MECÁNICA.....	43
2.10.2.2 COMPACTACIÓN.....	44
2.10.2.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACIÓN.....	45
2.10.2.3 CAPACIDAD PORTANTE (ENSAYO CBR).....	46
2.11 DEFINICION DE LA ESTABILIZACION DE SUELOS.	48
2.12 USOS DE LA ESTABILIZACIÓN.	48
2.13 ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL.	49
2.14 TIPO DE SUELOS PARA ESTABILIZAR CON CAL.....	51
2.15 DEFINICIÓN DE LA CAL.....	51
2.15.1. PROPIEDADES DE LA CAL.....	52
2.15.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CAL.	52
2.15.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA CAL.	53
2.15.2 CALES UTILIZADAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	53

2.15.2.1 CALES VIVAS.....	53
2.15.2.2 CALES HIDRATADAS.....	54
2.15.2.3 CALES EN FORMA DE LECHADA.....	54
2.15.3 ACCIÓN DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE.....	54
2.16 ANÁLISIS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN UNA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL.....	55
2.17 PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO-CAL.....	56
2.17.1 RESISTENCIA.....	56
2.17.2 PLASTICIDAD.....	56
2.18 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE CAL.....	57
2.19 DISEÑO DEL TRATAMIENTO.....	58
2.20 FORMULA DE TRABAJO.....	59
2.20.1 PROCESOS ALTERNATIVOS PARA LOGRAR LA ESTABILIZACIÓN CON CAL.....	60

CAPITULO III
ENSAYOS DE LABORATORIO A LA MEZCLA SUELO-CAL, SUELO NATURAL Y DETERMINACION DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CAL

3.1 DESCRIPCION DEL TRAMO DE ESTUDIO.....	62
3.2 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA EL ANALISIS DEL SUELO, PREVIO Y POSTERIOR A SU ESTABILIZACION.....	64
3.2.1 MUESTREO DEL SUELO.....	65
3.2.2 REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS A TAMAÑO DE ENSAYO AASHTO T 248-02.....	66
3.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318-00.....	69
3.2.4 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO ASTM D 854-02.....	76
3.2.5 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS POR HIDROMETRÍA ASTM D 422-63.....	82
3.2.6 CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA CARRETERAS AASHTO M 145-91 (2000).....	94

3.2.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA FINES DE INGENIERÍA (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487-00.	96
3.2.8 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD – DENSIDAD DE LOS SUELOS AASHTO T180-01.	99
3.2.9 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (CBR) AASHTO T 193-99.....	105
3.2.10 DETERMINACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS ASTM D 2435-96.	112
3.3 SELECCIÓN DE LA MUESTRA A ESTABILIZAR.....	120
3.4 SELECCIÓN DEL AGENTE ESTABILIZANTE.	120
3.5 METODO DE EADES Y GRIM PARA LA DETERMINACION DE LA PROPORCION SUELO-CAL REQUERIDA PARA ESTABILIZAR EL SUELO (ASTM D 6276-99).....	125
3.6 ANÁLISIS DE LA MEZCLA SUELO-CAL.....	129
3.7 ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA SUELO-CAL.....	129
3.7.1 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG.....	129
3.7.2 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SOLIDOS..	131
3.7.3 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS POR HIDROMETRÍA.	132
3.7.4 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD – DENSIDAD DE LA MEZCLA SUELO – CAL.	133
3.7.5 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE RELATIVO (CBR) A LA MEZCLA SUELO – CAL.	134
3.7.6 DETERMINACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS.	135
3.8 ANALISIS DE RESULTADO.....	137
3.8.1 LIMITES DE ATTERBERG.....	137
3.8.2 GRANULOMETRÍA POR LAVADO.....	137
3.8.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SOLIDOS.....	137
3.8.4 RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD (PROCTOR).....	138
3.8.5 VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.).....	138
3.8.6 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.....	139

CAPITULO IV DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS RIGIDOS

4.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.....	141
4.1.1 SELECCIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO	141
4.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO	142
4.1.3 COSTOS DEL CICLO DE VIDA	142
4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	142
4.3 DISEÑO DE ESPESOR DE LA LOSA CONCRETO HIDRAULICO	152
4.3.1 ESPESOR UTILIZANDO SUBRASANTE EN ESTADO NATURAL	152
4.3.2 ESPESOR DE LOSA UTILIZANDO SUBRASANTE ESTABILIZADA CON 5% DE CAL.....	162

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	165
5.2 RECOMENDACIONES	167
5.3 BIBLIOGRAFIA	168
5.4 ANEXOS.....	170
ANEXO A-1	170
ANEXO A-2	171
ANEXO A-3	181
ANEXO A-4	186
ANEXO A-5	206
ANEXO A-6	211
ANEXO A-7	221
ANEXO A-8	251
ANEXO B-1	297
ANEXO B-2	299
ANEXO B-3	300

ANEXO B-4	304
ANEXO B-5	306
ANEXO B-6	312

INTRODUCCIÓN

Cuando se trata de cimentaciones superficiales como la construcción de una estructura para un pavimento, por ejemplo, en muchas ocasiones nos encontramos con que el suelo del sitio, al nivel en que requerimos apoyar nuestra estructura, se encuentra formado por un material de características inadecuadas.

En este caso nos referiremos específicamente a un suelo arcilloso de características plásticas, sabiendo que estos tienen el riesgo de sufrir cambios volumétricos debido a los cambios en su contenido de humedad, y con una baja capacidad para soportar carga estructural.

Entonces, cuando se presenta este tipo de problemas es necesario pensar en darle una solución, muy a menudo lo que más se utiliza es el desalojo de todo el material arcilloso y reemplazarlo por otro tipo de suelo adecuado para el fin de una obra de construcción vial. Una mejor alternativa de solucionar este problema sería el tratamiento de los suelos arcillosos mediante la estabilización, proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que se pueda aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. Con el diseño y técnica de construcción apropiada, la estabilización de suelos arcillosos para materiales utilizados como estructura de pavimento es de gran importancia ya que mejora las características y propiedades del suelo entre estas se pueden mencionar: el hinchamiento, la capacidad portante y permeabilidad.

Esta investigación estará enfocada en el estudio de la estabilización de suelos arcillosos con cal, para ser utilizado como capa subrasante de pavimentos rígidos, ya que de la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento. La función de la subrasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Como parámetro de evaluación de esta capa se empleará la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito.

La investigación está estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I - Generalidades:

En este se describe la importancia de la investigación, así como también, lo que se pretende alcanzar y las limitantes que se tienen para realizarla. Además se mencionan las normas que se utilizaran para cumplir con los objetivos.

Capítulo II - Marco Teórico:

Muestra una recopilación bibliográfica teórica referente al tema como lo son la estructuración de los pavimentos e importancia de sus capas, tipos de suelo, propiedades físicas y mecánicas de estos asimismo la clasificación de estos en base a las normas respectivas. Además detalla la descripción de los procesos de estabilización con cal en suelos arcillosos, mencionando las propiedades que tienen la mezcla, sus ventajas y desventajas, y una breve reseña de procesos alternativos que pueden ser también utilizados para la estabilización con cal.

Capítulo III:

Se realiza la mezcla suelo-cal en base a los procedimientos de laboratorios regidos por las especificaciones de las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y AASHTO (American Association of State Highway and Transport Oficial) correspondientes a cada ensayo.

Capítulo IV:

Este comprende el proceso y valores necesarios para la determinación de los espesores de losa de un pavimento rígido, además se detalla el proceso utilizado en el programa winpas 12 para encontrar los espesores de losa utilizando distintos valores de CBR en la subrasante.

Capítulo V:

En este se presentan una serie de conclusiones y recomendaciones producto del desarrollo de la investigación, así como la bibliografía utilizada para la esta.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas zonas alrededor del mundo las vías terrestres que son fundamentales en el desarrollo de los países están en franco deterioro, causando preocupación y dificultades a los gobiernos de los países, estados, provincias, hasta los niveles regionales. Debido a la falta de financiamiento en muchos países deben ser establecidos métodos de construcción y mantenimiento de vialidades eficientes desde el punto de vista costo-efectividad. De ahí que nace la inquietud de realizar proyectos de infraestructura vial acordes a los requerimientos de seguridad, capacidad y estética.

Los suelos expansivos resultan ser un gran problema para la construcción, porque los incrementos del volumen no se presentan de una manera uniforme, sino todo lo contrario al producirse incrementos en distintas zonas y al momento de contraerse generan asentamientos, que pueden dañar severamente las estructuras.

El suelo predominante en la facultad es de tipo arcilloso¹, y se sabe de estos que son los más peligrosos para cimentar tanto en viviendas como carreteras. Se sabe que el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Entonces, si el suelo va a ser empleado para apoyar a una cimentación de un pavimento, las principales características indeseables de una arcilla plástica serán: Un índice plástico demasiado alto que significa un alto valor de expansión (o bien su opuesta contracción), así como una capacidad para soportar carga estructural que será demasiado baja cuando hay saturación, el cual es un fenómeno que siempre ocurre en un proyecto de campo y es muy difícil de controlar ya que no se puede impermeabilizar el suelo en su totalidad.

Al encontrarse suelos de este tipo se puede optar a un procedimiento llamado estabilización de suelos que se define como el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que se pueda aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar las condiciones de carga a las cuales estará sometida y los climas más severos.

El empleo de Estabilización química de suelos se ha convertido en una muy seria alternativa a considerar en estos momentos, a partir de contar con una gran cantidad de

¹: Tesis “Clasificación de Arcillas presentes en los bancos de Guatajiagua, departamento de Morazán, Y Facultad Multidisciplinaria Oriental”

vialidades que han sido evaluadas y construidas con este método en los últimos años con resultados alentadores.

El estudio de la subrasante es muy importante a la hora de diseñar un pavimento rígido, como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento-retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construye un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para la cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La subrasante es la capa de terreno de una estructura vial que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Debido a que la subrasante es la parte que sostiene la estructura, es de vital importancia que cumpla con las condiciones de resistencia requeridas para poder soportar las cargas a las cuales estará sometido.

Cuando en la construcción de ciertas obras civiles se presentan suelos arcillosos se necesita, en algunos casos, la substitución de dicho material entonces lo que realmente se quiere con esta investigación es de poner en practica la mejora de las propiedades de éste para asegurar la calidad y buen funcionamiento de las mismas mediante la estabilización con cal.

Se pretende analizar las alternativas de estabilización de suelos correspondientes a la cal, para lograr mejoras en las propiedades mecánicas del suelo de tipo arcilloso presente en la Facultad Multidisciplinaria Oriental, debido a su alta presencia en el lugar, además por ser un tipo de suelo muy inadecuado para ser utilizado como subrasante como para sostener una carga estructural. Evitando daños tempranos en las estructuras viales, y además para que estas cumplan con la vida útil estimada en el diseño original.

Por lo tanto mediante el análisis de propuesta se podrá contribuir con el desarrollo de la Universidad de El Salvador, Facultad de Oriente en cuanto a garantizar la calidad estructural y funcional de la infraestructura vial también se podrá contar con una herramienta de como confrontar los problemas que ocasionan las arcillas plásticas en este tipo de estructuras, además se , servirá como guía para aquellas entidades que pretendan realizar obras civiles en suelos que presenten características similares.

La investigación es de gran importancia porque elaborará un documento que haga una recopilación de resultados de laboratorios actualizados y que brinde una alternativa de solución a suelos arcillosos para ser estabilizados con cal y que cumpla con las condiciones apropiadas para su utilización como subrasante de pavimentos rígidos. Además por medio de los resultados de laboratorio se sabrá qué propiedades mecánicas del suelo arcilloso

mejoran y así poder elegir el diseño vial adecuado, también ayudar a reducir el impacto ambiental al no tener que explotar bancos de suelos de otros sitios.

La investigación contara con la ayuda de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, en lo referente a la realización de los ensayos de laboratorio que se necesitaran hacer a lo largo de la investigación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar las mejoras en el comportamiento de un suelo arcilloso mediante la utilización de cal como agente estabilizador, para ser utilizado como subrasante de pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador.

1.2.2 OBJETIVOS ESPÈCIFICOS

- Determinar el porcentaje óptimo de cal que hace que el suelo arcilloso cumpla con las propiedades necesarias para que pueda ser utilizado en la construcción de subrasante de pavimentos rígidos.
- Efectuar los respectivos ensayos de laboratorio al suelo natural, así como también a las mezclas suelo-estabilizante (suelo-cal) siguiendo los procedimientos de las normas respectivas.
- Comparar las propiedades mecánicas de CBR, límites de consistencia y densidad – humedad, del suelo en estado natural con el suelo estabilizado con cal.
- Definir la calidad de la subrasante mediante los resultados obtenidos en la prueba de valor de soporte de california (CBR).

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.3.1 ALCANCES

- La investigación abarca el estudio de los suelos arcillosos y su correcta estabilización en la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental del departamento de San Miguel.
- Se realizan los ensayos de límites de consistencia, gravedad específica, granulometría por hidrometría, prueba Proctor Modificado, ensayo CBR, pH del suelo y consolidación unidimensional en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador y otras instituciones que estén dispuestas a colaborar en la investigación.
- Recopilar información a través de visitas de campo, entrevistas con expertos, y consultas bibliográficas.
- Se realizaron los procedimientos contemplados en las normas ASTM D 4318-00; ASTM D 6276-03 y AASTHO T 89 referentes a la plasticidad y estabilización de suelos para conocer las propiedades físicas del suelo en estado natural y conocer el porcentaje óptimo de cal para su estabilización.
- Se estudió la zona de la Facultad Multidisciplinaria oriental donde se tiene planificado la construcción de una vía de acceso como parte del desarrollo de infraestructura vial.
- Se elaboró el diseño de espesores de la estructura de un pavimento rígido, tomando los valores de CBR del suelo en estado natural y para la mezcla suelo-cal, lo cual nos permitirá obtener las dimensiones de la losa de concreto hidráulico de dicho pavimento.

1.3.2 LIMITACIONES

- Los ensayos a ejecutar son los básicos y fundamentales para poder realizar la estabilización de suelos y su uso como subrasante de pavimentos.
- No se contemplan las opciones de estabilizar los suelos arcillosos con emulsión asfáltica, debido a que la investigación sería demasiado extensa y a la poca información y aplicación en nuestro país en cuanto a estas, ni con cemento ya que este se emplea en su mayoría para mejorar la capacidad de carga del suelo sin mejorar la expansión de este.
- En esta investigación no se toman en cuenta los procesos constructivos para la aplicación de la estabilización de suelos arcillosos en una estructura de pavimentos rígidos.

CAPITULO II
MARCO
REFERENCIAL

2.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.

Un pavimento en síntesis es la estructura constituida por una o más capas de materiales seleccionados, que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, y que recibe en forma directa las cargas de tránsito y las transmite a los estratos inferiores del subsuelo, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda del movimiento vehicular, la cual debe funcionar eficientemente.

Según el Manual Centroamericana para Diseño de Pavimentos contemplado en SIECA², estos se dividen en flexibles, semirrígidos o semiflexibles, pavimentos rígidos y articulados (adoquines). Para fines del desarrollo de este trabajo de graduación se analizarán los pavimentos rígidos y de una manera más general los pavimentos flexibles. Estos se describen a continuación:

- *Pavimentos Rígidos:* son aquellos los cuales se encuentran compuestos por losas de concreto hidráulico de cemento Portland que en algunas ocasiones presenta armados de acero; estos tipos de pavimento son denominados rígidos porque son más “tiesos” que los pavimentos flexibles debido a las propiedades del concreto. En general estos tienen un costo inicial más elevado que los pavimentos flexibles, su período de vida oscila entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas. (Ver Figura 2.1)
- *Pavimentos Flexibles:* Son aquellos que tienen superficies compuestas por materiales bituminosos (o asfalto). Estos tipos de pavimento son llamados flexibles por la simple razón que la estructura de pavimento se “pandea” o “deflecta” debido a las cargas impuestas por el tráfico recurrente. Este usualmente resulta más económico en su construcción inicial y tiene un período de vida de aproximadamente 10 a 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. (Ver Figura 2.2)

²: SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana).

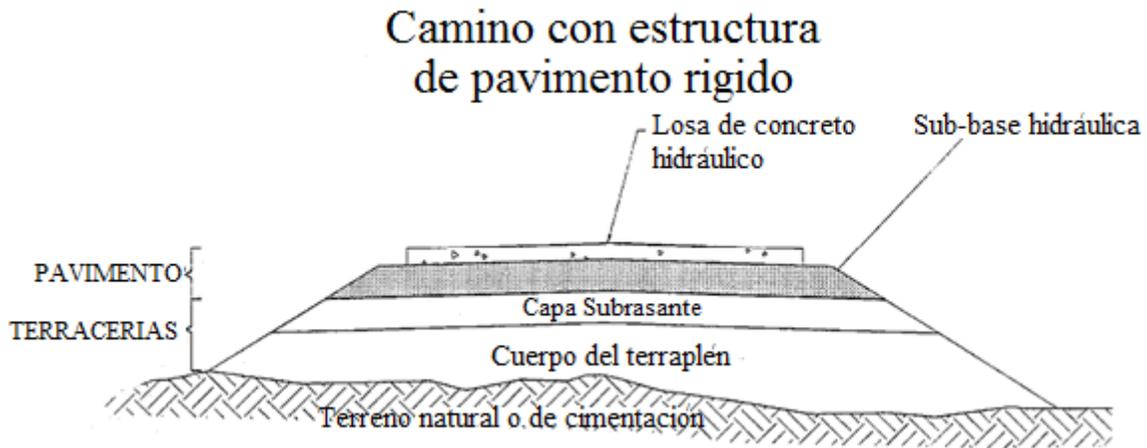


Figura 2.1 Componentes Estructurales de un Pavimento Rígido

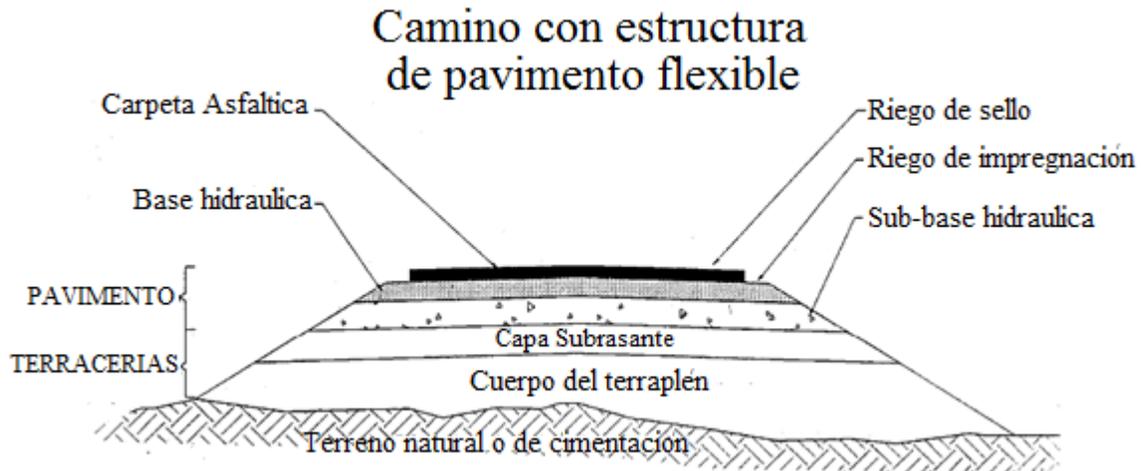


Figura 2.2 Componentes Estructurales de un Pavimento Flexible

2.2 ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.

2.2.1 ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDO.

La Figura 2.1 muestra la estructuración típica de una sección en terraplén. Y se describe la estructuración de un pavimento rígido además de incluir las capas que no forman parte del pavimento, pero sí de la sección de un camino.

2.2.2 ESTRUCTURACIÓN DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Con base en la Figura 2.2 se describe la estructuración de un pavimento flexible incluyendo aquellas capas que no forman parte del pavimento estrictamente pero que forman parte de la sección de un camino y que trabajan en conjunto con las capas subyacentes. La Figura 2.2 muestra la estructuración típica de una sección en terraplén.

2.3 FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO.

2.3.1 PAVIMENTO RÍGIDO.

2.3.1.1 SUB –BASE.

Sus funciones son análogas a la misma en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado; protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, que de otra manera inducirían esfuerzos adicionales a aquella. En este caso, la sub-base no tiene ningún fin estructural pues la losa debe ser suficiente para soportar las cargas.

2.3.1.2 CAPA DE RODAMIENTO.

Las funciones de la losa o capa de rodamiento en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta o capa de rodadura en el pavimento flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado las cargas que se le apliquen.

2.3.2 PAVIMENTO FLEXIBLE.

2.3.2.1 SUB- BASE.

Una de las principales funciones de esta capa en un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirle en parte por una sub-base de menor calidad, aun cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, pues naturalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Sus funciones son la de resistir las cargas de tránsito y transmitir las adecuadamente a las terracerías.

Otra función consiste en servir de transición entre el material de base, generalmente granular más o menos grueso y la propia subrasante. La sub base, más fina que la base, actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

2.3.2.2 BASE.

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la comentada para el caso de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta que viene a ser la capa más costosa. Pero la función fundamental de esta capa consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

2.3.2.3 CAPA DE RODAMIENTO.

La capa de rodamiento debe de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tráfico hasta donde sea posible ya que estará en contacto directo con él; además debe impedir hasta cierta medida el paso del agua a las capas inferiores.

2.3.3 TERRACERÍAS.

2.3.3.1 TERRENO NATURAL O DE CIMENTACIÓN.

Se puede definir como la franja de terreno que es afectada por la construcción del camino y su función es la de soportar las cargas de la estructura del pavimento y de las terracerías sin olvidar las cargas del tránsito.

2.3.3.2 CAPA SUB- RASANTE.

Tiene múltiples funciones como la de recibir y resistir las cargas del tránsito transmitidas por la capa de pavimento y transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores; además:

1. Evitar que se contaminen las capas del pavimento cuando el cuerpo del terraplén o el terreno natural sea de material fino o arcilloso
2. Evitar que se reflejen las imperfecciones en los cortes hacia las capas de pavimento para lograr espesores de pavimentos constantes.

2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS.

2.4.1 EL TRÁNSITO.

Interesan para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o tridem) esperadas en el carril de diseño (el más solicitado, que determinara la estructura del pavimento) durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas de tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las lentas en zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del tránsito, etc.

2.4.2 LA SUB RASANTE.

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – reacción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura.

La subrasante es una parte esencial en el diseño de pavimentos. Tiene la particularidad de otorgar la respuesta estructural y el comportamiento del pavimento en construcción y operación.

La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural, o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como la estabilización mecánica, la estabilización físico – química con aditivos como el cemento Portland, la cal, el asfalto, entre otras.

- a) Como material de fundación, se debe establecer cuál es su resistencia mecánica y específicamente ante la presencia de cargas.
- b) Se busca la relación entre la carga y la deformación unitaria
- c) La resistencia varía con las condiciones de humedad, compactación y confinamiento
- d) Deben representarse en laboratorio las mismas condiciones del proyecto.

Tiene una gran influencia en las operaciones de construcción del pavimento y en la eficiencia del mismo. Las subrasante inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de base y/o subbase y no dan soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación.

Frecuentemente, las deficiencias en la construcción debidas a problemas de la subrasante no se detectan por encontrarse “ocultas” en el pavimento final; sin embargo pueden aparecer en el pavimento después de la exposición al tráfico y al medio ambiente.

Las respuestas estructurales de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) son influidas significativamente por la subrasante. Un gran porcentaje de las deflexiones en la superficie de un pavimento se puede atribuir a la subrasante.

Por ser la deflexión de la superficie un criterio de diseño, es necesario asegurar que la caracterización de la subrasante sea la adecuada.

Las propiedades requeridas de la subrasante incluyen la resistencia, el drenaje, la fácil compactación, la conservación de la compactación, la estabilidad volumétrica

Los suelos son altamente variables y sus propiedades cambian a lo largo del proyecto, en medida de que existan cambios en la humedad, en la densidad o se establezcan influencias ambientales, es decir, que las propiedades de la subrasante cambian con el tiempo.

2.4.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LA SUBRASANTE.

2.4.2.1.1 HUMEDAD Y DENSIDAD.

Influyen en la resistencia y en el comportamiento bajo carga repetida de los suelos de la subrasante. Durante la construcción, los suelos de subrasante pueden ser compactados a una densidad y humedad específicas, que permiten establecer valores de resistencia para el diseño del pavimento. Sin embargo, tanto el contenido de humedad como la densidad pueden cambiar durante la construcción o después de ella.

2.4.2.1.2 TIPO DE SUELO Y SUS PROPIEDADES.

La mayoría de los tipos de suelos se analizan a partir de su clasificación en sistemas de uso general que se basan en la textura y la plasticidad, el tamaño y la distribución granulométrica de sus partículas, propiedades que tienen una influencia significativa en el comportamiento de los suelos bajo carga.

2.4.3 EL CLIMA.

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas.

Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en estos esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

2.4.4 LOS MATERIALES DISPONIBLES.

Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad

requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a la distancia de acarreo. Por otra parte, se deben considerar los materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente.

El análisis de los costos de construcción debe completarse con una prevención del comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño, la conservación necesaria y su costo actualizado y, finalmente, una estimación de futuros refuerzos estructurales, renovaciones superficiales o reconstrucciones.

2.5 CAPACIDAD RESISTENTE DE LOS PAVIMENTOS.

De manera simplificada se puede decir que un pavimento no es más que una estructura interpuesta entre los vehículos y el suelo natural, cuya finalidad es distribuir los esfuerzos aplicados en la superficie para no solicitarle al suelo por encima de su capacidad portante. Ello obliga a tener capas con espesores y resistencias acordes con las cargas que se van a transmitir al suelo.

Cada capa del pavimento debe estar en las condiciones de soportar el tráfico esperado durante el período para el cual se diseña, con el objeto de que todas lleguen al final de su vida útil con un deterioro similar, puesto que la estructura, sea cual sea su composición, fallará por fatiga.

Las propiedades mecánicas, tanto del suelo como de los materiales que componen cada una de las capas del pavimento, se determinan mediante ensayos de laboratorio y de campo, como por ejemplo ensayos de placa de carga, módulos de elasticidad, etc. Inclusive los ensayos tradicionales de medición de las características mecánicas del suelo, tal es el caso del C.B.R., que entra como parámetros para el diseño de los pavimentos.

2.6 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Tipos de pavimento rígido. Existen 5 tipos de pavimentos rígidos:

- a) De hormigón simple
- b) De hormigón simple con barras de transferencia de carga.
- c) De hormigón reforzado y con refuerzo continuo.
- d) De hormigón presforzado.
- e) De hormigón fibroso.

Los pavimentos de hormigón simple. Se construyen sin acero de refuerzo y sin barras de transferencia de cargas en las juntas. Dicha transferencia se logra a través de la trabazón entre los agregados de las dos caras agrietadas de las losas contiguas, formadas por el aserrado o corte de la junta. Para que la transferencia de carga sea efectiva, es preciso tener losas cortas. Este tipo de pavimento se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo.

Los pavimentos de hormigón simple con barras de transferencia de carga. Se construyen sin acero de refuerzo; sin embargo en ellos se disponen de barras lisas en cada junta de contracción, las cuales actúan como dispositivos de transferencia de cargas, requiriéndose también que las losas sean cortas para controlar el agrietamiento.

Los pavimentos reforzados contienen acero de refuerzo y pasajuntas en las juntas de contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de carga a través de ellas.

Los pavimentos con refuerzo continuo por su parte, se construyen sin juntas de contracción. Debido a su continuo contenido de acero en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan fisuras transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia de refuerzo, se desarrolla una gran transferencia de carga en las caras de las fisuras. Normalmente un espaciamiento de juntas que no exceda los 4.50 m tienen un buen

comportamiento en pavimentos de hormigón simple, así como uno no mayor a 6 m en pavimentos con pasajuntas, ni superior a 12 m en pavimentos reforzados. Espaciamientos mayores a estos, han sido empleados con alguna frecuencia, pero han generado deterioros, tanto en las juntas, como en las fisuras transversales intermedias.

Los pavimentos con hormigón presforzado están constituidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte, y reducción de juntas. Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir losas de más de 120 m de longitud, con una reducción del 50% del espesor de la losa. Sin embargo pese a los esfuerzos para desarrollar esta técnica, en carreteras se han producido más dificultades que ventajas. Ha tenido en cambio más aplicación en aeropuertos en los cuales ha habido casos de un comportamiento excelente, tanto en pistas como en plataformas.

Los pavimentos de hormigón fibroso en este tipo de losas, el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente, gracias a lo cual se obtienen ventajas tales como el aumento de la resistencia a la tensión y a la fatiga, fisuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. con una dosificación de unos 40 kg/m³ de hormigón, es posible reducir el espesor de la losa en 30 % y aumentar el espaciamiento entre juntas por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos a pesar de su costo. Existen otros tipos de técnicas aplicadas a los pavimentos rígidos en donde se otorgan soluciones idóneas y se logre una óptima calidad de las obras. Lo dicho vale tanto para el caso de obras nuevas, como para el de reparaciones y rehabilitaciones.

2.7 DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS.

En términos generales se entenderá por deterioro de pavimentos a una serie de manifestaciones superficiales de la capa de rodado, haciendo que la circulación vehicular sea menos segura, confortable y que los costos de operación sean mayores.

Cuando se producen daños que se manifiestan superficialmente en forma de pérdida de geometría, deterioro en el rodado u otros, deben analizarse cuidadosamente las causas de falla que los originan. En términos generales se pueden especificar seis tipos:

- 1) Diseño insuficiente de la superestructura.
- 2) Inestabilidad de las obras de tierra.
- 3) Deficiencias constructivas.
- 4) Solicitaciones no previstas.
- 5) Mantenimiento inadecuado.
- 6) Para definir en forma clara y precisa los tipos de deterioro, sus causas y acciones de corrección se entregan a continuación una serie de tablas que especifican cada uno de los deterioros por tipo de pavimentos y características generales.

2.8 TIPOLOGIA DE DAÑOS.

2.8.1 GRIETAS TRANSVERSALES.

Grietas predominantemente perpendiculares al eje de la calzada. También pueden extenderse desde una junta transversal hasta el borde del pavimento, siempre que la intersección con la junta esté a una distancia del borde mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentre a una distancia inferior que la mitad del ancho de la losa.



Figura 2.3 Grietas Transversales

Posibles causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

2.8.2 GRIETAS LONGITUDINALES.

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.



Figura 2.4 Grietas Longitudinales

Posibles causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales; con frecuencia la ausencia de juntas

2.8.3 DESPOSTILLAMIENTO EN JUNTAS.

Es un proceso de daño gradual o rotura en los bordes de una junta o fisura. Las causas pueden ser la infiltración de materiales incompresibles dentro de las juntas o fisuras, falta de alineación y corrosión de pasadores o juntas mal diseñadas.

Es la desfragmentación localizada de los bordes de las juntas o fisuras, que aparecen por un concreto debilitado por falta de compactación, por el retiro de las formaletas antes de tiempo en las juntas, la pérdida de transferencia de carga debido al excesivo bombeo o al golpeteo de las barras de transferencia de cargas, también pueden producir el deterioro de las juntas.



Figura 2.5 Despostilla miento en juntas

Posibles causas: Los despostillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente; excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del hormigón en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta; deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; acumulación de agua a nivel de las juntas.

2.8.4 ESCALONAMIENTO EN JUNTAS.

Desnivel entre dos superficies del pavimento, separadas por una junta transversal o grieta.



Figura 2.6 Escalonamiento en juntas de losas

Posibles causas: Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclajes entre carriles adyacentes; desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante; ausencia de bermas.

2.8.5 BACHES

Descomposición o desintegración la losa de hormigón y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.



Figura 2.7 Baches en pavimento rígido

Posibles causas: Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel.

2.8.6 FRAGMENTACIÓN MÚLTIPLE.

Fracturamiento de la losa de hormigón conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos.



Figura 2.8 Fragmentación múltiple

Posibles causas: Son originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa.

2.9 GENERALIDADES DE LOS SUELOS.

Dependiendo del origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos, que son los siguientes: *Suelos Residual*, cuando los productos de la descomposición de las rocas permanecen en el mismo lugar de origen aun afectadas por su degradación y *Suelos Transportados*, cuando los productos de la descomposición de las rocas son transportados hacia otro lugar generalmente lejos del origen.

A continuación, se describen los suelos más comunes, con el nombre generalmente utilizados para su clasificación en el terreno.

- a) *Las Arenas y las Gravas*: Son suelos de fragmentos granulares, redondos o angulosos, poco o nada alterados de rocas minerales. Estos suelos no poseen cohesión entre sus fragmentos.
- b) *Los limos*: Son suelos de grano fino (material que pasa malla No 200), pero con plasticidad menor a la que presenta una arcilla, los cuales generalmente cuentan con materia orgánica finamente dividida. Algunas veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos.
- c) *Las Arcillas*: Son suelos formados de partículas derivadas de la descomposición química y mineralógica que sufren los constituyentes de las rocas, generalmente por intemperismo. Son suelos plásticos cuando están húmedos y cuando están secos son muy duros, tienen además permeabilidad extremadamente baja.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.
Arcilla en términos granulométrico, abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 0.075mm.

- Desde el punto de vista de la ingeniería una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.

Para identificar un suelo se utiliza el nombre del material predominante como sustantivo y el de menor proporción como adjetivo calificativo. Por ejemplo, Arena Limosa, indica un suelo en el cual predomina la arena y contiene cierta cantidad de limo (según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS).

2.9.1 CONCEPTO Y ORIGEN DEL SUELO.

Su definición varía según la rama de aplicación, pero en el sentido general de la ingeniería civil se conoce como: agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con líquidos y gases que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

El origen de los suelos es generado por la desintegración y alteración física y/o química de las rocas madres (ígneas, metamórficas o sedimentarias), causadas por el intemperismo, cambiándole la composición y mineralogía, así como sus propiedades físicas y mecánicas a través del tiempo.

Son muchos los agentes físicos que provocan una gran variedad de cambios en las rocas, entre ellos figuran la temperatura, el viento, el agua y la humedad. Algunos agentes químicos principales, que podemos mencionar como causantes de cambios en las rocas son la oxidación y la hidratación.

2.9.2 TIPOS DE SUELOS.

Los suelos son producidos por el intemperismo, es decir, por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos, produciendo suelos residuales y suelos transportados.

2.9.2.1 SUELOS RESIDUALES.

Son los suelos que permanecen donde se formaron como producto del ataque de los agentes del intemperismo, desintegración mecánica y/o descomposición química que cubren la superficie rocosa de la cual se derivan directamente, como se puede ver en la figura 2.9.

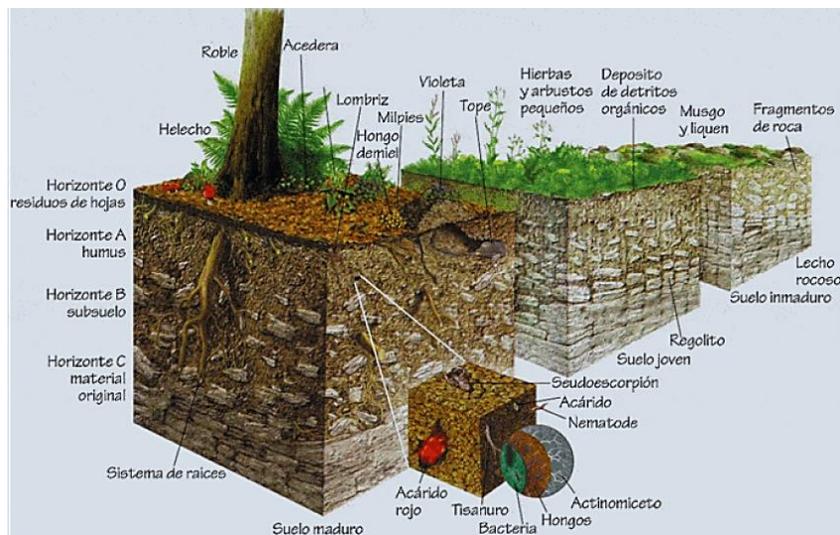


Figura 2.9 Estratigrafía de los suelos residuales

2.9.2.2 SUELOS TRANSPORTADOS.

Son aquellos suelos que fueron removidos o transportados desde su lugar de formación por la erosión fluvial o la erosión eólica y son redepositados en otras zonas. Así se generan suelos que se depositan sobre otros estratos sin relación directa con ellos, como se puede ver en la figura 2.10.

En la naturaleza existen diferentes agentes de transporte, de los cuales pueden citarse como principales: los glaciares, el viento, los ríos, corrientes de aguas superficiales, los mares y las fuerzas de gravedad.

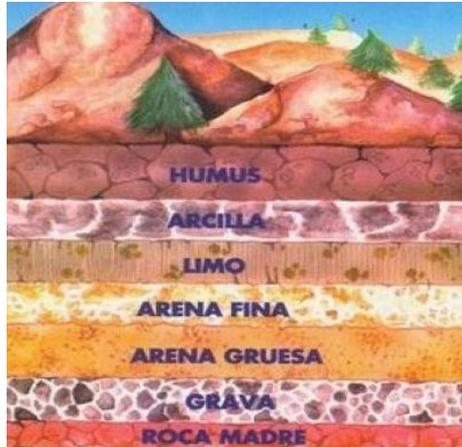


Figura 2.10 Estratigrafía de los suelos transportados

2.9.3 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS.

Independientemente del origen del suelo, los tamaños de las partículas que lo conforman, varían en un amplio rango. Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas y de su índice de plasticidad. Para describir los suelos por sus partículas se presentan los límites de tamaños de suelo por separado, como puede verse en la figura 2.11, presentado por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (ASSHTO).

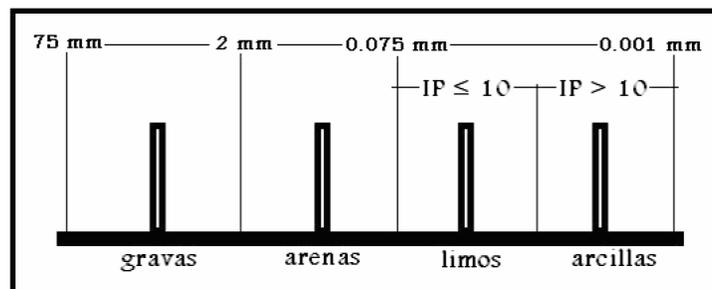


Figura 2.11 Rango de tamaños de las partículas de un suelo

2.9.3.1 LAS GRAVAS.

Son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca con partículas de cuarzo, feldespato y otros granos minerales, que varían en su tamaño pasando la malla de 3" (75 mm.) y son retenidas en la malla No. 10 (2 mm.) de diámetro, ver figura 2.12. Si estas son acarreadas por las aguas, tienen forma redondeada. Suele encontrárseles en forma suelta en los lechos,

márgenes y conos de deyección en los ríos, así como en las depresiones de terrenos rellenados.



Figura 2.12 Tamaño de las partículas de grava de un suelo

2.9.3.2 LAS ARENAS.

Son partículas que están formadas por granos finos principalmente de cuarzo, feldespato y otros minerales, procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, sus tamaños pasan la malla No. 10 (2 mm) y son retenidas en la malla No. 200 (0.075 mm) de diámetro, ver figura 2.13. El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas y las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. Las arenas suelen estar limpias y no sufren ningún tipo de contracciones al secarse.



Figura 2.13 Tamaño de las partículas de arena de un suelo

2.9.3.3 LOS LIMOS.

Son suelos de granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos, con poca o ninguna plasticidad, estos pueden ser inorgánicos como el producido en canteras, o limo orgánico como el que encuentra en los ríos. Los diámetros de las partículas son menores de 0.075 mm y un índice

de plasticidad menor o igual a 10. Su color varía desde gris claro a muy oscuro y su permeabilidad es baja.

2.9.3.4 LAS ARCILLAS.

Son partículas de granos muy finos en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales, con diámetro menor a 0.075 mm. y un índice de plasticidad mayor que 10, cuya masa se vuelve plástica al ser mezclada con agua, químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene silicatos de hierro o de magnesio hidratados.

2.9.4 COMPOSICIÓN DE SUELOS.

Se pueden clasificar en inorgánicos, como la arena, la arcilla, el agua y el aire; y orgánicos, como los restos de plantas y animales. Uno de los componentes orgánicos de los suelos es el humus. El humus se encuentra en las capas superiores de los suelos y constituye el producto final de la descomposición de los restos de plantas y animales, junto con algunos minerales; tiene un color de amarillento a negro, y confiere un alto grado de fertilidad a los suelos.

- Fase Sólida: Comprende, principalmente, los minerales formados por compuestos relacionado con la litosfera, como sílice o arena, arcilla o greda y cal. También incluye el humus.
- Fase Líquida: Comprende el agua de la hidrosfera que se filtra por entre las partículas del suelo.
- Fase Gaseosa: Tiene una composición similar a la del aire que respiramos, aunque con mayor proporción de dióxido de carbono (CO₂). Además, presenta un contenido muy alto de vapor de agua. Cuando el suelo es muy húmedo, los espacios de aire disminuyen, al llenarse de agua.

La siguiente figura representa un esquema de una muestra de suelo, con sus partes principales:

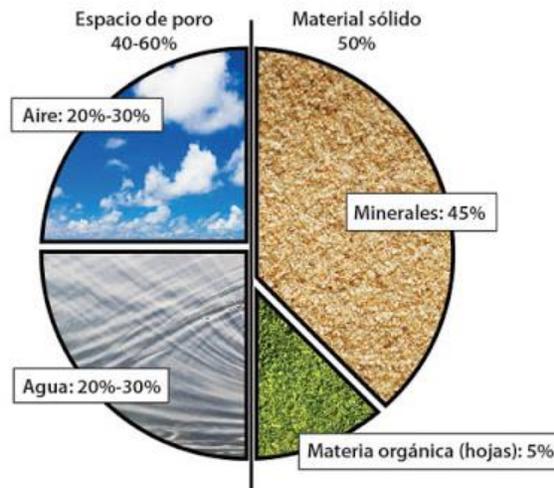


Figura 2.14 Composición de los suelos

2.9.5 DEFINICIÓN DE SUELOS PLÁSTICOS.

Existen suelos que al cambiar su contenido de agua, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plasticidad. Estos suelos han sido llamados arcillas. La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

2.9.6 CONCEPTOS Y ENSAYOS UTILIZADOS EN LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

En el proyecto de ejecución de una carretera, un edificio, o cualquier otra obra relacionada con la construcción, tiene gran importancia el conocimiento del suelo sobre el que vamos a cimentar. En primer lugar debemos identificar el tipo de suelo. Aunque un simple examen visual nos permita determinarlo con cierta aproximación, se debe completar la descripción con un examen granulométrico y una determinación de los límites líquido y plástico. El suelo está compuesto de partículas de dimensiones variables. El Análisis Granulométrico nos permite estudiar el tamaño de estas partículas y medir la importancia que tendrán según la fracción de suelo que representen. Este tipo de análisis se realiza por tamizado, o por sedimentación cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño (por debajo de los 0.075 mm,

tamiz No 200 según ASTM E-11), según esto nos podemos encontrar con elementos gruesos, gravas, arenas, limos y arcillas.

Si bien un análisis granulométrico es suficiente para gravas y arenas, cuando se trata de arcillas y limos, turbas y margas se debe completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del material.

Los límites de líquido y plástico definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa (Ver figura 2.9) y se expresan de la siguiente manera

- *Límite líquido, LL:* es el contenido de agua de una pasta arcillosa por encima del cual pasa del estado plástico al estado líquido.
- *Límite plástico, LP:* es el contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado plástico al estado semisólido.
- *Límite de Contracción, LC:* representa el contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado semisólido al sólido. Es poco utilizado. El contenido de agua se expresa como el contenido de agua natural de la muestra inalterada en % del peso seco (w (%)).
- *Índice plástico, IP:* Es la diferencia entre los límites líquido y plástico.

$$IP = LL - LP.$$

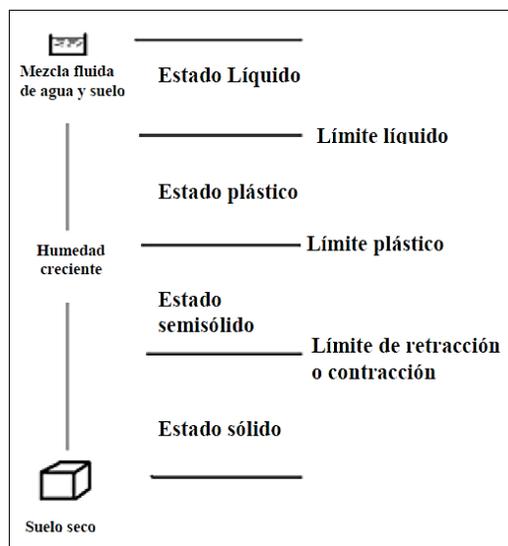


Figura 2.15 Límites de Atterberg

2.9.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN BASE A NORMA AASHTO M-145-91.

De acuerdo con el tamaño de las partículas que forman los suelos, la norma AASHTO M-145, los clasifica de la siguiente manera:

- a) *Grava*: de un tamaño menor a 76.2mm (3”) hasta el tamiz No 10 (2mm).
- b) *Arena Gruesa*: de un tamaño menor a 2mm hasta el tamiz No 40 (0.425mm).
- c) *Arena Fina*: de un tamaño menor a 0.425mm hasta el tamiz No 200 (0.075mm).
- d) *Limos y Arcillas*: tamaños menores de 0.075mm.

Este sistema es básicamente un sistema de clasificación de los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno de estos grupos está determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

Estos ensayos determinan el “**Índice de Grupo**”, número que clasifica a cada suelo, el cual está determinado por la siguiente formula empírica:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Dónde:

IG: Índice de Grupo (Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0)

F: Porcentaje que pasa por 0.075 mm, expresado en números enteros basado solamente en el material que pasa por 80 mm.

LL: Límite Líquido

IP: Índice de Plasticidad

Los grupos están designados desde el A-1 hasta A-7, como se presenta en la tabla 2.1:

El suelo A-1, es un suelo de propiedades óptimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable.

Descripción de los grupos y subgrupos contemplados en la norma AASHTO M145:

➤ **Materiales Granulares.**

- A-1 Son suelos bien graduados de tamaño grueso y fino, con un débil aglomerante plástico.
 - A-1-a En estos se incluyen materiales predominantes de fracción de rocas o grava, con o sin aglomerante.
 - A-1-b El material predominante es arena gruesa, con o sin un buen aglomerante. Algunos suelos del grupo A-1 carecen de finos, de manera que deberá agregar cierta cantidad de finos para formar una sub-base de buena calidad.

- A-2 Estos se componen por una amplia porción de materiales granulares que no pueden clasificarse en el grupo A-1 por su contenido de finos y plasticidad. Contienen materiales granulares con cantidades considerables de arcillas, los suelos del grupo A-2 son inferiores a los del grupo A-1 debido a su menor graduación y menos aglomerantes. En periodo seco los suelos A-2 son muy estables como superficie de rodamiento, pero esto depende de la clase de aglomerante, sin embargo en periodos húmedos se pueden ablandar y en periodos secos se pueden disgregar y formar polvaredas.
 - A-2-4 y A-2-5 Incluyen diversos materiales granulares que contienen un 35 por ciento máximo de material que pasa el tamiz 0.075 mm (No 200)
 - A-2-6 y A-2-7 Incluyen materiales similares a los descritos en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que la porción fina suelo cuenta con arcilla plástica de características similares a los grupos A-6 o A-7.

- A-3 Estos suelos están compuestos de arenas deficientes en aglomerantes, como la arena de las playas. Se encuentran a menudo y son muy inestables excepto cuando están húmedos. Cuando se encuentran confinados son apropiados como bases para cualquier tipo de pavimentos.

➤ **Materiales Limo- Arcillosos.**

- A-4 Son suelos muy comunes, predominan los limos con ligeros porcentajes de material grueso y pequeñas cantidades de arcilla.
- A-5 Estos suelos se encuentran en muy pocas ocasiones, son muy parecidos a los del grupo A-4, excepto porque contienen mica y diátomas que los vuelven muy elásticos e inestables aun en estado seco, lo que los hace tenaces a la compactación.
- A-6 El típico material de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que tienen el 35 por ciento o más de material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No 200). Los materiales de este grupo suelen tener gran cambio volumétrico, cuando se tiene presencia de humedades altas en el suelo, debido a la presencia de arcillas.
- A-7 Estos suelos están compuestos principalmente de arcilla como son los del grupo A-6, pero se diferencian de estos por la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica y mica, lo que los hace muy elásticos.
 - A-7-5 Estos suelos del grupo A-7 tienen índices de plasticidad moderados en relación con límites líquidos, y pueden ser elásticos y expansivos.
 - A-7-6 Son suelos expansivos con altos índices de plasticidad en relación a los límites líquidos.

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7.5 A-7.6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-							-	
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín							-	
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx							36 mín	
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Limite líquido	-	-		40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Tabla 2.1 Clasificación de suelos según AASHTO M-145
Fuente: Clasificación de suelos de acuerdo a la norma AASHTO M 145

2.9.8 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS ASTM D 2487-00.

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

Esta clasificación divide los suelos en:

- a) Suelos de grano grueso.
- b) Suelos de grano fino.
- c) Suelos orgánicos.

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No. 200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas

del mismo son retenidas en el tamiz No. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo.

Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Suelos gruesos. Se dividen en gravas y arena, y se separan con el tamiz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene el tamiz No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

Suelos finos. El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas y limos y arcillas orgánicas (O).

Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $Ll = 50\%$.

Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compressibility).

Si es mayor de 50 se añade la letra H (high compressibility). Obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

- ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.
- OL: Limos y arcillas orgánicas.
- CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.
- CH. Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.
- MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.
- OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.

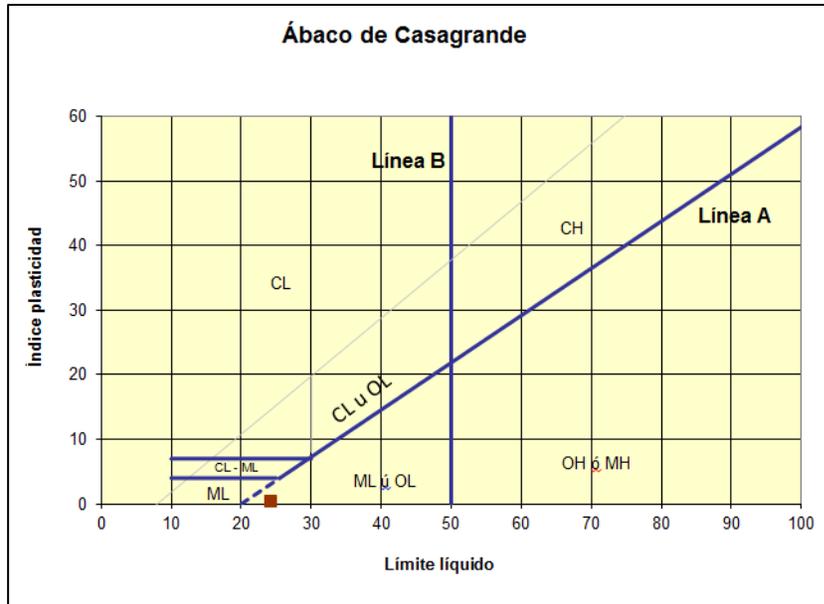


Figura 2.16 Carta de plasticidad (Sistema SUCS)

Fuente: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das*

- Fracción Gruesa (FG)= 100% menos lo que pasa el tamiz No. 200. Para que el suelo sea una grava debe cumplirse lo siguiente: Retiene el tamiz No. 4 $> \frac{1}{2}$ FG
- Retiene el tamiz No. 4: 100 menos lo que pasa el tamiz No. 4
- Para que el suelo sea una arena debe cumplirse lo siguiente: Retiene el tamiz No. 4 $< \frac{1}{2}$ FG
- Las gravas con 5 a 12% de finos requieren el uso de símbolos dobles: GWGM grava bien graduada con limo; GW-GC grava bien graduada con arcilla; GP-GM grava mal graduada con limo; GP-GC grava mal graduada con arcilla.
- Las arenas con 5 a 12% de finos requieren el uso de símbolos dobles: SWSM arenas bien graduada con limo; SW-SC arenas bien graduada con arcilla; SP-SM arena mal graduada con limo; SP-SC arena mal graduada con arcilla.
- $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = D_{30}^2/D_{60} \cdot D_{10}$. C_u : Coeficiente de uniformidad. C_c : Coeficiente de curvatura.
- Si los límites de Atterberg se sitúan en el área sombreada de la carta de plasticidad, el suelo es una arcilla limosa CL-ML.
- Si el suelo contiene 15% de arena, añada “con arena” al nombre del grupo.
- Si el suelo contiene 15% de grava añada “con grava” al nombre del grupo.

- Si el suelo contiene 15 a 29% mayor de la malla No. 200 añada “con arena” o “con grava”, el que sea predominante.
- Si el suelo contiene 30% mayor de la malla No. 200, predominantemente arena, añada “arenoso” al nombre del grupo.
- Si el suelo contiene 30% mayor de la malla No. 200, predominantemente
- grava, añada “gravoso” al nombre del grupo.

En la tabla 2.2 se describe el significado el significado de los grupos y siglas de la representación SUCS:

Criterios para la asignación de símbolos de grupo y nombre de grupo con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de Suelos			
				Símbolo de Grupo	Nombre de Grupo		
Suelos de Partículas Gruesas. Más del 50% es retenido en la malla No. 200	GRAVAS. Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla NO. 4	Gravas Limpias. Menos del 5% pasa por la malla No.200	$Cu \geq 4$ y $Cc \leq 3$	GW	Grava Bien Graduada		
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava Mal Graduada		
		Gravas con Finos. Más del 12% pasa por la malla No. 200	IP<4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava Limosa		
			IP>7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava Arcillosa		
		Gravas Limpias y con Finos. Entre el 5 y 12% pasa la malla No. 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien Graduada con Limo		
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien Graduada con Arcilla		
			Cumple los criterios para GP Y GM	GP-GM	Grava mal Graduada con Limo		
	Cumple los criterios para GP y GC		GP-GC	Grava mal Graduada con Arcilla			
	ARENAS. El 50% o más de fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas Limpias. Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 6$ y $Cc \leq 3$	SW	Arena bien Graduada		
			$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal Graduada		
		Arenas con Finos. Más del 12% pasa la malla No. 200	IP<4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena Limosa		
			IP>7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena Arcillosa		
		Arenas Limpias y con Finos. Entre el 5 y 12% pasa la malla No. 200	Cumple con los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien Graduada con Limo		
			Cumple con los criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien Graduada con Arcilla		
Cumple con los criterios para SP y SC			SP-SM	Arena mal Graduada con Limo			
Cumple con los criterios para SP y SC	SP-SC		Arena mal Graduada con Limo				
Suelos de partículas Finas. El 50% o más pasa la malla No. 200	Limos y Arcillas LL<50	Inorgánicos	IP>7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de Baja Plasticidad		
			IP<4 y se grafica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	ML	Limo de Baja Plasticidad		
		Orgánicos	Limite Liquido - Secado al Horno	< 0.75	OL	Arcilla Orgánica	
			Limite Liquido - No secado			Limo Orgánico	
	Limos y Arcillas LL>50	Inorgánicos	IP>7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de Alta Plasticidad		
			IP<4 y se grafica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	MH	Limo de Alta Plasticidad		
		Orgánicos	Limite Liquido - Secado al Horno	< 0.75	OH	Arcilla Orgánica	
			Limite Liquido - No secado			Limo Orgánico	
		Suelo Altamente Orgánico	Principalmente materia orgánica de color oscuro			PT	Turba

El sistema Unificado de clasificación de suelos utiliza como identificación los siguientes símbolos

Símbolo	G	S	M	C	O	PT	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o Arcillas Orgánicas	Limos y Suelos Altamente Orgánicos	Alta Plasticidad	Baja Plasticidad	Bien Graduado	Mal Graduado

Tabla 2.2 Clasificación de suelos según ASTM D 2487
Fuente: Cuadro resumen conforme a norma ASTM D 2487

Las equivalencias entre el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), se pueden ver en la tabla 2.3.

Grupo AASHTO	Grupo SUCS
A - 1	GW, GM, GP y SW
A - 2	SC
A - 3	SP y SM
A - 4	ML
A - 5	CL, OL y MH
A - 6	CH
A - 7	OH

Tabla 2.3. Equivalencia entre los sistemas (AASHTO-SUCS)

Fuente: Elaboración propia

2.10 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.

La caracterización de los suelos se lleva a cabo por medio de dos tipos de parámetros conocidos como parámetros de naturaleza y parámetros de estado. A continuación, se describe cada uno de ellos:

2.10.1 PARÁMETROS DE NATURALEZA.

Se caracterizan porque no varían ni con el tiempo solamente cuando sufren manipulaciones que puedan realizarse a los suelos durante los trabajos, los más importantes son:

2.10.1.1 VARIACIÓN VOLUMÉTRICA.

Muchos suelos se expanden y se contraen debido a los cambios en su contenido de humedad. Las presiones de expansión se desarrollan debido a incrementos en la humedad, los cuales deben de ser controlados, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenaje, etc.; por lo cual, es de suma

importancia detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado a seguir para evitar dichos problemas.

2.10.1.2 PERMEABILIDAD.

Se consideran importantes las presiones de poro y los relacionados con el flujo de agua a través del suelo; ya que estos dos fenómenos provocan su debilidad en su resistencia o su estabilidad.

2.10.1.3 GRANULOMETRÍA.

Son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas de los suelos son función directa de su granulometría y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente cuando se someten a cargas directamente.

2.10.1.4 PLASTICIDAD.

La plasticidad es la propiedad que tiene el suelo para cambiar de forma (dentro de un rango de humedad dado) y mantener sin perder volumen ni romperse cuando se someten a fuerzas de compresión.

2.10.1.5 LÍMITES DE ATTERBERG.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916).

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados

de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Las propiedades de un suelo formado por partículas finamente divididas, como una arcilla no estructurada, depende en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante para el comportamiento del material.

Para interpretar mejor estos límites se tomara de ejemplo una masa de arcilla. Cuando está tiene mucha cantidad de agua podríamos decir: se encuentra en estado líquido pues la arcilla se escurre con la facilidad de una masa líquida, pero a medida que se evapora el agua que contiene, va haciéndose un tanto plástica. Existe un momento en que la masa de arcilla pasa de estado “líquido” al estado “plástico”. Este límite entre los estados “líquido” y “plástico” se halla representado por el contenido de humedad del suelo y se llama límite líquido.

Si continua la evaporación de agua, la arcilla perderá plasticidad y llegar a secarse hasta adquirir una consistencia semisólida. Este paso del estado plástico al semisólido se le llama límite plástico, su valor está dado por el contenido de humedad que tiene la arcilla en tal estado límite.

Para luego tener un último límite que se encuentra en la frontera del estado semisólido al estado sólido, conocido como límite de contracción.

- **Límite líquido (LL).**

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

- **Límite plástico (LP).**

El límite plástico de un suelo es el más bajo contenido de agua en el que el suelo sigue presentando plasticidad.

- **Límite de contracción (Lc).**

Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

2.10.1.6 ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP).

El Índice de Plasticidad (IP) es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. Generalmente la cal reacciona con suelos plástico que tengan un IP entre 10 a 50, reduciendo así significativamente el IP, creando de esta manera un nuevo material con resistencia estructural. Suelos con IP menores a 10, usualmente, no reaccionan tan fácilmente con la cal. El IP se mide por dos pruebas simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.

2.10.2 PARÁMETROS DE ESTADO DEL SUELO.

Estos parámetros no son propios de las características del suelo sino de las condiciones ambientales en que se encuentran. Para los suelos sensibles al agua, el parámetro de estado que determina todas las condiciones de los rellenos, terraplenes y explanadas en las redes viales es el Estado Hídrico.

Su determinación no puede hacerse exclusivamente con el cálculo del contenido en agua natural, sino que es necesario relacionarlo con el contenido de agua específico de suelo al que le corresponde un comportamiento particular. El método más corriente para indicar el estado hídrico de un suelo es referirse a los valores de los ensayos Proctor y CBR, realizados sobre cada suelo o clase de suelo a estudiar.

2.10.2.1 RESISTENCIA MECÁNICA.

En los suelos la humedad es muy importante porque determinan la capacidad de estos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta ciertas humedades, los suelos pueden mantener resistencias aceptables, pero cuando hay excesos

de agua se debilitan y pierden la resistencia, que se manifiestan en hundimientos, grietas, cuarteamientos, hinchamientos, etc.

En la época húmeda (invierno) los suelos se vuelven débiles, ya que el agua que absorben los hace perder resistencia hasta llegar a la saturación. En la época seca (verano) pierden humedad y se vuelven muy duros o muy resistentes, pero en la superficie donde los vehículos circulan, la acción abrasiva de las llantas hace que se genere la soltura de las partículas de suelo abundantemente para producir capas de polvo, con lo cual el deterioro superficial llega a ser severo

2.10.2.2 COMPACTACIÓN.

La “compactación” es el procedimiento resultante de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y, en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad, entre otras propiedades. Su objetivo estriba en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas o de ingeniería del suelo.

Ventajas

- Aumento de resistencia y capacidad de carga
- Reducción de la compresibilidad
- Disminución de vacíos.
- Mejora el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo.
- Incremento de estabilidad de taludes de terraplenes

Aplicación

- Terraplenes para caminos y ferrocarriles
- Cortinas para presas de tierra
- Diques
- Pavimentos
- Mejoramiento de terreno natural para cimentación

2.10.2.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACIÓN.

1) Tipo de suelo.

Tiene influencia la granulometría del suelo, forma de sus partículas, contenido de finos, cantidad y tipo de minerales arcillosos, gravedad específica, entre otros. De acuerdo a la naturaleza del suelo se aplicarán técnicas adecuadas en el proceso de compactación en laboratorio, un suelo grueso alcanzará densidades secas altas para contenidos óptimos de humedad bajos, en cambio los suelos finos presentan valores bajos de densidades secas máximas y altos contenidos óptimos de humedad.

2) Energía Específica.

La energía específica es la presión aplicada al suelo por unidad de volumen, durante cualquier proceso de compactación.

3) Método de Compactación.

En el campo y laboratorio existen diferentes métodos de compactación. La elección de uno de ellos influirá en los resultados a obtenerse.

En la mayor parte de los casos será necesario, para ejecutar la compactación del suelo posterior a su explanación, el empleo de maquinaria especializada, en las cuales están las siguientes:

- **Rodillo “pata de cabra”.**

Consta de los siguientes elementos: un tambor al cual van soldadas una serie de patas, un marco que lleva los descansos del tambor y una barra de tiro para acoplar el rodillo al tractor de remolque. Este tipo de rodillo se usa cuando se requiere una alta presión aplicada al material de relleno, comprendida entre 9 y 20 kp/cm², que puede aumentar considerablemente si el tambor se rellena con agua o arena.

- **Rodillo con ruedas neumáticas.**

Consiste en un cajón metálico apoyado sobre ruedas neumáticas. Este cajón, al ser llenado con agua, arena seca o arena mojada, ejerce una mayor presión de compactación, con valores que pueden variar entre 3 y 8 kp/cm².

- **Rodillo vibratorio.**

En este caso al rodillo, formado por un tambor de acero, se le ha agregado un mecanismo de vibración, haciendo girar un contrapeso colocado excéntricamente en el eje de giro, con frecuencias resultantes de una velocidad angular de 1.000 a 4.000 revoluciones por minuto.

- **Placa compactadora.**

Ésta corresponde a una placa apisonadora que golpea y se separa del suelo a alta velocidad, logrando con ello la densificación deseada del suelo.

Densidad de campo: La densidad del suelo es un indicativo de la relación peso por volumen del suelo, y está en relación a la porosidad. Un suelo muy poroso será menos denso; un suelo poco poroso será más denso. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo.

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. Cuando se compacta un suelo con una energía de compactación dada, se comprueba que su densidad seca, referida al suelo en estado seco, varía en función del contenido en agua hasta alcanzar un máximo de densidad correspondiente a un contenido de humedad que se denomina óptimo. Para alcanzar igual densidad con una humedad distinta a la óptima hay que emplear mayor energía de compactación.

2.10.2.3 CAPACIDAD PORTANTE (ENSAYO CBR).

La capacidad portante es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la

cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

El ensayo CBR (California Bearing Ratio), consiste en medir la resistencia al punzonamiento de un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo Proctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón.

Se mide así la capacidad portante del suelo o lo que es lo mismo su capacidad de soportar una carga para cada pareja de valores de densidad-humedad. Se expresa por el índice portante CBR en porcentaje del valor de referencia. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo.

La figura 2.17 muestra la clasificación de suelos según AASHTO M-145 y su correlación con la clasificación de suelos SUCS (ASTM D 2487) y la capacidad portante CBR.

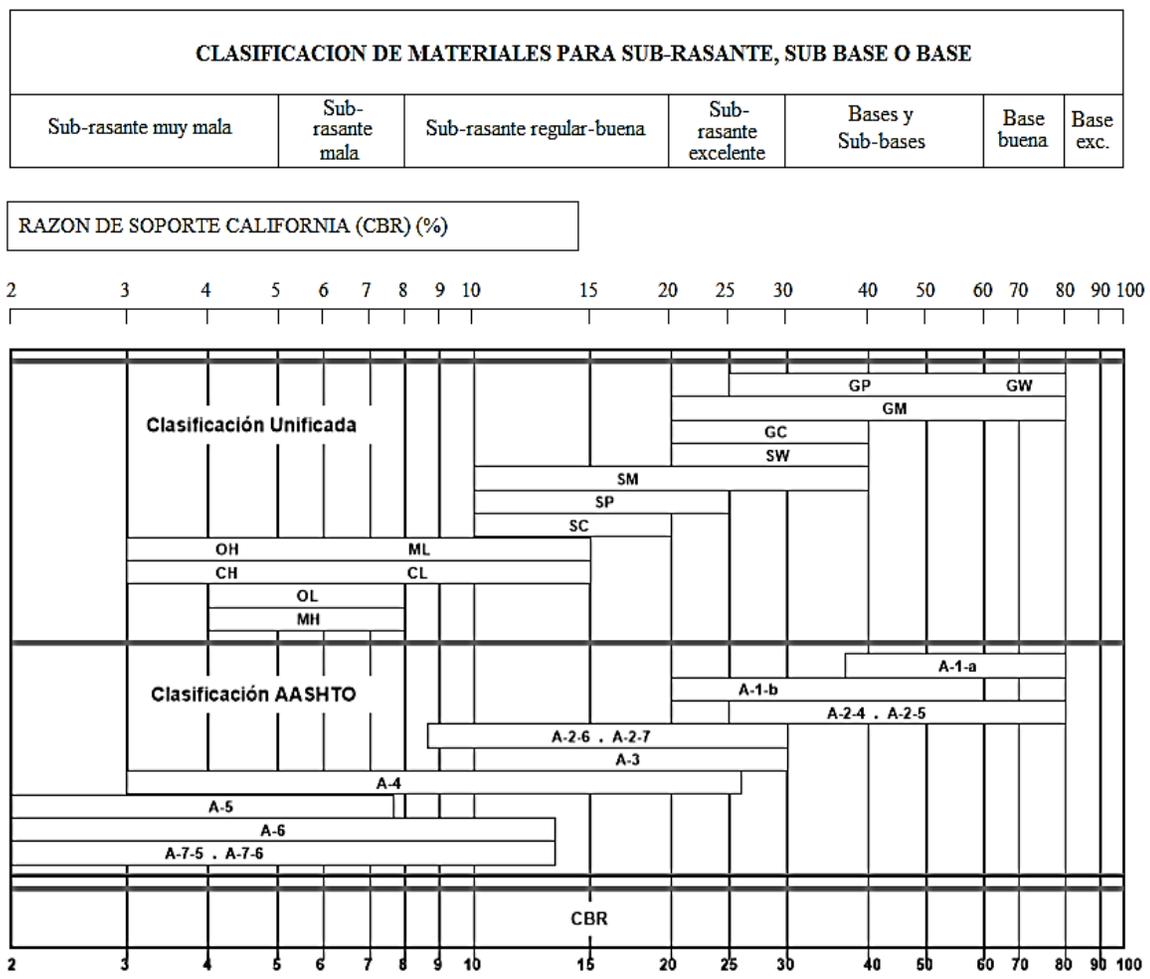


Figura 2.17 Correlación entre AASHTO M-145, clasificación SUCS y CBR

Fuente: SIECA 2002; Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento

2.11 DEFINICION DE LA ESTABILIZACION DE SUELOS.

La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos disponibles en el mercado (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad.

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres objetivos importantes:

- 1) Adecuada estabilidad ante las cargas,
- 2) Durabilidad de la capa y
- 3) Una Variación Volumétrica mínima.

2.12 USOS DE LA ESTABILIZACIÓN.

El diseño de pavimentos se basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente.

Entonces, la calidad de la capa subrasante puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas.

Los dos usos principales de la estabilización son:

- 1) Mejoramiento de la calidad

Una de las principales mejorías que se logran a través de la estabilización de la subrasante es en cuanto a la graduación del suelo. Igualmente se logra reducir el índice de plasticidad y el potencial de expansividad. Por otro lado se incrementa su durabilidad y dureza. En climas húmedos la estabilización puede también ser usada para proveer una superficie más

aptas para llevar a cabo operaciones constructivas. Estos tipos de mejorías pueden ser llamadas: “modificación del suelo”.

2) Reducción del espesor

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos que permitan la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base pueden ser reducidos si el material estabilizado para subrasante presenta la graduación, la dureza, la estabilidad y la durabilidad requerida.

2.13 ESTABILIZACION DE SUELOS CON CAL.

La estabilización de suelos con cal parece ser más antigua forma de mejoramiento de suelos. Hay evidencias de que la Vía Apia, acceso a la antigua roma, se construyó utilizando estas técnicas. En términos generales, las técnicas de estabilización con cal hidratada son bastante similares a las de estabilización con cemento, pero hay dos aspectos de diferencia que conviene destacar desde un principio.

En primer lugar, la cal tiene un aspecto de aplicación que se extiende mucho más hacia los materiales más arcillosos que el cemento y en contrapartida, se extiende algo menos hacia el lado de los materiales granulares de naturaleza friccionante.

En segundo lugar, está el uso cada día más extendido que se hace de la estabilización con cal como un pre-tratamiento, lo que da una fisonomía especial a muchos de los usos de la cal, pues en estos casos no necesariamente han de satisfacerse todos los requerimientos de una estabilización definitiva. La forma más usual de la cal empleada en las estabilizaciones es la hidratada, óxidos o hidróxidos de calcio. Los carbonatos de calcio no tienen virtudes estabilizantes dignas de mención. La cal viva se utiliza en pre-tratamientos con suelos húmedos. El efecto básico de la cal es la constitución de los silicatos de calcio que se forman por la acción química de la cal sobre los minerales de arcilla, para formar compuestos cementadores.

La cal se prepara generalmente calentando carbonatos de calcio, muchas veces bajo la forma de calizas naturales, hasta que pierden su bióxido de carbono y devienen en óxidos

de calcio; el material resultante es cal viva, muy inestable y ávida de agua, lo que hace difícil su manejo y almacenamiento por lo que suele hidratarse de inmediato.

Para formar la cal estabilizante no es preciso partir de calizas puras, sino que pueden tolerarse algunas impurezas.

Hay dos tipos de reacciones químicas entre la cal y el suelo. La primera es inmediata e incluye una fuerte captación de iones de calcio por las partículas de suelo, lo que deprime su doble capa, a causa del incremento la concentración de cationes en el agua; a la vez ocurre otro efecto que tiende a expandir la doble capa por el alto pH de la cal. La segunda reacción tiene lugar a lo largo de lapsos considerables y es la reacción propiamente cementante; aunque no es completamente bien conocida, se atribuye a una interrelación entre los iones calcio de cal y los componentes aluminicos y silicosos de los suelos; de hecho, esta última reacción puede reforzarse añadiendo al suelo cenizas ricas en sílice.

La reacción cementante tiene lugar a través de la formación de silicatos de calcio y es muy dependiente del tipo de suelo que en ella intervenga; en esto, la estabilización con cal difiere mucho de la estabilización con cemento.

La cal tiene poco efecto en suelos muy orgánicos o en suelos sin arcilla, tiene su máximo efecto en las gravas-arcillosas, en las que puede producir mezclas inclusive más resistentes que las que se obtendrían con cemento. Ha obtenido su utilización más frecuente en arcillas plásticas, a las que hace, adicionalmente, más trabajables y fáciles de compactar, razón por la que se usa frecuentemente como pre-tratamiento, anterior a una estabilización con cemento, además de los muchos casos en que se usa como estabilizante definitivo.

El efecto de la cal en las arcillas es más rápido en las montmoriloníticas que el en las caoliniticas y en las primeras la cal logra resultados mucho más espectaculares en el aumento de resistencia y, sobre todo, en la disminución de la plasticidad. En las arcillas, la cal tiene también un importante efecto en la consecución de estabilidad volumétrica ante el agua. En la estabilización con cal debe evitarse el uso de aguas acidas. El agua de mar se ha usado para compactar suelo-cal con frecuencia, pero debe de evitarse allí donde se valla a colocar un riego de sello asfáltico sobre la capa tratada, pues la cristalización de las sales desprenderá el sello.

La cantidad de agua que se emplee está regida por los procedimientos de compactación, pero si se usa cal viva podrían requerirse cantidades adicionales de agua en suelos con menos de 50% de contenido natural de dicho elemento.



Figura 2.18 Estabilización de suelos con

2.14 TIPO DE SUELOS PARA ESTABILIZAR CON CAL.

Los suelos que se usen para la elaboración de mezcla suelo-cal pueden ser del sitio de trabajo o provenir de préstamo seleccionado, deben estar limpios y es recomendable que estos no deban tener más del 1% de su peso en materia orgánica. Además, la fracción del suelo que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad no menor de 10. El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe de ser mayor de 50 mm o 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-cal.

Los suelos con gran proporción de partículas finas, con una plasticidad alta, son más sensibles a la adición de cal que los suelos compuestos de arena y limos, debido a la floculación de las partículas finas.

2.15 DEFINICIÓN DE LA CAL.

Es un producto resultante de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900 grados Celsius producen el óxido de calcio (CaO), conocido con el nombre de cal viva, producto sólido de color blanco y peso específico de

3.4 g /cm³. Esta cal viva puesta en contacto con el agua se hidrata (apagado de la cal) con desprendimiento de calor. La adición de cal en materiales arcillosos para terracerías, revestimientos, sub-bases, bases, por sus diferentes reacciones, produce aumento en su límite líquido y mayor incremento en su límite plástico para generar así una disminución en su índice plástico; aumentando la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos y la resistencia a la compresión simple.

2.15.1. PROPIEDADES DE LA CAL.

Se hace cada vez más necesaria la utilización de la cal en los suelos arcillosos, por ello es necesario hacer una mención de las propiedades físicas y de sus propiedades químicas, para hacer ver la calidad del producto calcáreo que se usara en una determinada estabilización.

2.15.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CAL.

- **Color:** Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris, a veces un color rojizo debido al óxido de hierro que se encuentra en los yacimientos.
- **Densidad:** Esta propiedad depende de la temperatura de calcinación, cuando más alta es la temperatura de calcinación, mayor será la densidad de la cal viva.
- **Dureza:** La dureza de las cales varía entre muy blanda y una dureza que se aproxima a la de la piedra caliza original de donde se obtuvo, la dureza de la cal viva dependerá de la temperatura de calcinación.
- **Porosidad:** Depende del origen de las rocas calizas y de las condiciones en que se lleve a cabo la calcinación. La porosidad de la cal viva es importante porque influye en la actividad química de la sustancia.
- **Plasticidad:** Es una propiedad importante, que se define como la capacidad que posee una masa de cal para cambiar su forma cuando esta es sometida a presión, sin que se produzca ruptura en su forma generada.

2.15.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA CAL.

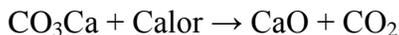
- **Impureza:** La composición química depende de la naturaleza y de la cantidad de impurezas que contenga la piedra caliza original.
- **Reacción de la cal con el agua:** La cal viva reacciona vigorosamente con el agua formando hidróxido de calcio y hay desprendimiento de calor; a este proceso se le conoce como hidratación o apagado de la cal.
- **Recarbonatación:** La humedad del aire cataliza la reacción entre el óxido de calcio y el dióxido de carbono del aire. La reacción general se produce mediante la formación del hidróxido de calcio que luego reacciona con el dióxido de carbono.

2.15.2 CALES UTILIZADAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.

Las cales que se pueden utilizar para este tipo de proceso son las cales aéreas. Estas presentan las siguientes características:

2.15.2.1 CALES VIVAS.

Son cales aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de magnesio, producidas por la calcinación de la caliza.

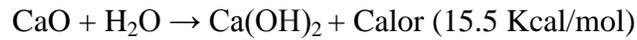


Se comercializan en grano (diferentes granulometrías) o molidas, incluso micronizadas. En contacto con el agua se hidrata siendo la reacción fuertemente exotérmica. Cuando se utilizan calizas que también contienen en su composición carbonato de magnesio, una vez calcinadas se obtienen a la vez óxidos de calcio y de magnesio.

Si el porcentaje de óxido de magnesio es $> 5\%$, la cal se denomina “cal dolomítica o dolomía calcinada” (hay que tener en cuenta en la estabilización de suelos, que la hidratación de la cal dolomítica es más lenta que el de la cal viva con porcentaje de óxido de magnesio $< 5\%$).

2.15.2.2 CALES HIDRATADAS.

Son las cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.



Este tipo de cal presenta menor reacción exotérmica que la cal viva al entrar en contacto con el agua

2.15.2.3 CALES EN FORMA DE LECHADA.

Es la suspensión de cal hidratada en agua, también puede obtenerse a partir de la cal viva que al mezclarla con agua dará cal hidratada, formándose a continuación con el resto del agua la suspensión de lechada de cal. La cal puede ser utilizada bajo forma de lechada en el tratamiento de los suelos cuando se quieren conseguir las siguientes ventajas:

- Supresión del polvo producido en el extendido de la cal.
- Humidificación de los suelos secos.

La lechada de cal puede ser preparada en la fábrica o in-situ, en depósitos o cubos equipados de un sistema de agitación, a partir de la cal viva o de la cal hidratada. Una vez preparada la misma, esta se aplica directamente en el suelo para su respectiva estabilización.

2.15.3 ACCIÓN DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE.

La cal, agregada a ciertos suelos, produce diversos efectos que son puestos de manifiesto en las aplicaciones prácticas y en los laboratorios. Los principales efectos son los siguientes:

- La cal hace que el suelo arcilloso se desmenuce más fácilmente y le confiere propiedades que, en cierto modo corresponde a los limos.
- Reduce la plasticidad de los suelos.
- Favorece el secado de los suelos muy húmedos.

- Favorece la compactación de los suelos con humedades muy altas.
- Mejora la estabilidad de los suelos a efectos de las lluvias prolongadas.
- Incrementa la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y esfuerzo de compresión.
- Reduce la influencia perniciosa de la materia orgánica.

2.16 ANÁLISIS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN UNA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL.

Suelo.

Los suelos que componen la mezcla suelo – cal deben ser del propio camino o provenir, en todo o en parte, de préstamos seleccionados. Los sitios de préstamo deberán contar con suelos que cumplan con las propiedades requeridas por las normas AASHTO y ASTM para formar parte de la estructura de un pavimento.

Los suelos que se usen para la elaboración de mezcla suelo-cal deben estar limpios y recomendable que estos no deban tener más de uno por ciento (1%) de su peso de materia orgánica. Además, la fracción del suelo que pasa la malla No 40 debe tener un índice de plasticidad no menor de 10.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 50 mm o 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-cal. El espesor total de la capa de suelo estabilizado con cal, será variable según se especifique en el proyecto.

Cal.

La cal que se use para la construcción de suelo-cal puede ser cal viva o cal hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos bajo las especificaciones de la norma ASTM C- 977.

Agua.

El agua que se use para la construcción de mezcla suelo – cal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

Mezcla suelo-cal.

Los ensayos para determinar el porcentaje de cal y los demás requisitos que debe satisfacer la mezcla de suelo-cal deben ser ejecutados con los materiales que se vayan a usar,

incluyendo el agua de mezclado, de acuerdo a la norma ASTM D 6276 (Método de ensayo estándar, usando el pH para estimar la proporción suelo-cal requerida para la estabilización de suelos).

El porcentaje óptimo de cal requerido en la estabilización del suelo, se determina mediante la estimación del pH, o determinando el índice de plasticidad más bajo requerido, como resultado de varias mezclas de suelo-cal con diferentes porcentajes de cal, respecto al peso seco del suelo.

Cuando la mezcla de suelo-cal se use para la construcción de capas estructurales debe tener los valores C.B.R. requeridos. Se deberá mostrar una fórmula de trabajo, donde se indique las cantidades y tipo de cal, el volumen de agua y los procesos que se deben seguir para obtener los requerimientos estructurales solicitados.

2.17 PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO-CAL.

Las mezclas suelo-cal sufren una serie de modificaciones en sus propiedades índices, las cuales se mejoran y hacen que el suelo se comporte de diferente manera al suelo natural, estas modificaciones se dan con más frecuencia en las siguientes propiedades:

2.17.1 RESISTENCIA.

El empleo de cal aumenta la resistencia de los suelos aumentando su índice C.B.R. también aumenta las resistencias a tracción y a flexión, por lo tanto, la mejora producida en las capas y explanadas estabilizadas permite reducir espesores y posibilidades de fallo durante su vida útil.

2.17.2 PLASTICIDAD.

La adición de cal eleva el límite plástico de los suelos y reduce el límite líquido, principalmente en suelos muy plásticos, y puede tener el efecto contrario en los suelos de menor plasticidad.

2.18 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE APLICACIÓN DE CAL.

La técnica de estabilización con cal utilizada en un proyecto debería estar basada en múltiples consideraciones, tales como la experiencia del contratista, la disponibilidad de equipo, la ubicación del proyecto (rural o urbano) y la disponibilidad de una fuente cercana y adecuada de agua. Algunas ventajas y desventajas de los diferentes métodos de aplicación de cal son los siguientes:

Cal hidratada en polvo:

Ventaja: Puede ser aplicada más rápidamente que la lechada. La cal hidratada en polvo puede ser utilizada para secar arcillas, pero no es tan eficaz como la cal viva.

Desventaja: Las partículas hidratadas de cal son finas. De modo que el polvo puede ser un problema y este tipo de uso generalmente es inadecuado en áreas pobladas.

Cal viva en seco

Ventajas: Económica porque la cal viva es una forma más concentrada de cal que la cal hidratada, conteniendo de 20 a 24 por ciento más de óxido de calcio "disponible". Así, aproximadamente 3 por ciento de cal viva es equivalente a 4 por ciento de cal hidratada, cuando las condiciones permiten la hidratación completa de la cal viva con suficiente humedad. Debido a su mayor densidad requiere de menos instalaciones de almacenaje.

El tiempo de ejecución puede ampliarse debido a que la reacción exotérmica causada por el agua y la cal viva puede calentar el suelo. La cal viva seca es excelente para secar suelos mojados. Tamaños de partícula más grandes pueden reducir la generación de polvo.

Desventajas: La cal viva requiere 32 por ciento de su peso en agua para convertirse en cal hidratada y puede haber pérdida adicional por la evaporación significativa debido al calor de hidratación. Se debe tener cuidado con el empleo de la cal viva para asegurar una adecuada adición de agua, fraguado y mezcla. Estos mayores requerimientos de agua pueden plantear un problema de logística o costos en áreas remotas sin una fuente cercana

de agua. La cal viva puede requerir más mezcla que la cal hidratada seca o que las lechadas de cal, porque las partículas de cal viva, que son más grandes, primero deben reaccionar con el agua para formar la cal hidratada y luego debe ser mezclada con el suelo.

Lechada de cal

Ventaja: Aplicación libre de polvo. Es más fácil lograr la distribución. Se aprovecha la aplicación por rociado. Se requiere menos agua adicional para la mezcla final.

Desventaja: Velocidad lenta de aplicación. Costos más altos debido al equipo extra requerido. Puede no ser práctico en suelos muy mojados. No es práctico para secar.

2.19 DISEÑO DEL TRATAMIENTO.

El objetivo ya una vez analizada la aptitud de los suelos al tratamiento con cal, será el de diseñar la dosificación de la mezcla suelo-cal óptima, en función de las características particulares del suelo y de los objetivos a lograr. Dependerá, por tanto, del efecto perseguido, ya sea el secado de suelos con humedad natural excesiva, una modificación instantánea del suelo y/o una estabilización de la capa a largo plazo.

El primer paso será identificar completamente las características de los suelos a emplear para decidir si su estabilización con cal es la solución más recomendable.

En este sentido, los ensayos recomendados de realizar serán las siguientes:

- **Ensayos de identificación de suelos:**(Límites Atterberg, granulometría, expansión, humedad natural, materia orgánica, entre otros.), y con los resultados obtenidos se podrán clasificar los suelos.
- **Ensayos de comportamiento:** Los dos factores fundamentales son el de la compactación Proctor normal o modificado) y la capacidad portante (C.B.R. y/o resistencia a compresión simple).

En función de los resultados de estos ensayos y de los objetivos a conseguir, se valorará la aptitud de los suelos a su tratamiento con cal. A este respecto, cabe mencionar que el tratamiento con cal será más beneficioso para un suelo cuanto mayor sea su proporción de finos y su plasticidad. En general, puede decirse que aquellos suelos con un índice de plasticidad igual o superior a 10, son susceptibles de mejorar sus propiedades por acción de la cal.

Una vez considerado que el suelo es apto para su tratamiento con cal, se pasa a determinar la fórmula de trabajo para la mezcla suelo-cal que permita conseguir los objetivos propuestos.

En el caso de los tratamientos con cal, sus aplicaciones son muy variadas, por lo que no hay una metodología única para su dosificación. Siempre hay que tener en cuenta los siguientes principios o conceptos:

- En primer lugar, el porcentaje necesario de cal dependerá de cuáles son los objetivos: secado, modificación o estabilización. En determinados casos se buscarán varios de estos objetivos a la vez y, por lo tanto, habrá que diseñar la fórmula de trabajo que logre alcanzarlos. Dicho porcentaje siempre debe especificarse sobre masa de suelo seco.
- En segundo lugar, el porcentaje mínimo de cal dependerá de las exigencias para la capa tratada, en este caso para uso vial.

2.20 FORMULA DE TRABAJO.

La fórmula de trabajo se obtiene a partir del análisis de diferentes parámetros del suelo a estabilizar mediante una serie de ensayos, los cuales serán determinados bajo las especificaciones de las normas ASTM y AASHTO respectivas para cada uno. Los suelos serán analizados con diferentes porcentajes de cal a fin de encontrar un porcentaje óptimo de la misma, para el suelo en particular.

En el caso de buscar una estabilización a largo plazo, deberá de analizarse una serie de parámetros más detalladamente, como la resistencia a la compresión encofinada con probetas confeccionadas con moldes utilizados para el ensayo Proctor, y las cuales son ensayadas a diferentes edades y la capacidad portante de la mezcla suelo-cal.

Un método muy útil por su rapidez y fiabilidad es basar el estudio para la estabilización en el método del PH, hecho por Eades y Grim (1966), especificado en la norma ASTM C 977 (preparación de muestra) y el desarrollo del ensayo regido por la norma ASTM D 6276.

Este procedimiento se basa en el hecho de que la adición de cal necesaria para estabilizar un suelo es aquella que garantiza el mantenimiento de un elevado pH que permita el desarrollo de las reacciones puzolanicas. Para ello, se ensayan muestras con distintos porcentajes de cal, midiéndose el pH en determinadas condiciones. El porcentaje óptimo es aquel que permite alcanzar el valor de 12.4.

2.20.1 PROCESOS ALTERNATIVOS PARA LOGRAR LA ESTABILIZACIÓN CON CAL.

Existen algunos procesos alternativos que no están normados para la determinación del porcentaje óptimo de cal en una estabilización.

El primero de ellos consiste en encontrar los límites de Atterberg y ver como baja la plasticidad en mezclas de suelo-cal.

El procedimiento es el mismo que para los límites de Atterberg comunes utilizando las normas AASHTO T-89 para límite líquido y AASHTO T-90 para límite de plasticidad e índice de plasticidad, con el único cambio de agregar cal en distintos porcentajes. El valor óptimo de cal que estabiliza el suelo será aquel cuyo valor de IP tienda a cero.

El segundo método consiste en encontrar el valor de soporte de california (C.B.R), solo que en este caso al material se va incrementando paulatinamente el porcentaje de cal para cada prueba empezando con un 2% esto con el fin de determinar el porcentaje óptimo de cal que se requiere para mejorar la resistencia del suelo para formar la capa sub-rasante.

CAPITULO III

ENSAYOS DE

LABORATORIO A LA

MEZCLA SUELO-CAL,

SUELO NATURAL Y

DETERMINACION

DEL PORCENTAJE

ÓPTIMO DE CAL

3.1 DESCRIPCION DEL TRAMO DE ESTUDIO.

El tramo de estudio que sirve para el desarrollo de este trabajo de graduación y para el cual se diseña la proporción de mezcla suelo-cal se encuentra en la Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental, la cual está ubicada en el Km.144 Carretera a El Cuco, Cantón El Jute, San Miguel.



A)



B)

Fotografía 3.1 Tramo de Estudio

A) Vía de acceso al costado norte de la UES-FMO

B) Tramo de calle que da acceso desde el departamento desde las instalaciones de medicina hasta la salida de agronomía (costado sureste de la UES-FMO)

Ubicación: Universidad de El salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental

A continuación, se muestran los ensayos realizados al suelo de estudio con sus respectivas normas.

NUMERO DE ENSAYO	NORMA		TITULO
	AASHTO	ASTM	
1	-	-	Muestreo de Campo
2	T 248-02	C 702-01	Reducción de muestras a tamaño de ensayo
3	T 88	D 422-63	Determinación del tamaño de las partículas de suelo
4	T 89	D 4318-00	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos
5	-	D 4959-00	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en laboratorio por calentamiento directo
6	-	D 2216-98	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en laboratorio por masa
7	M 145-91 (2000)	-	Método de ensayo estándar para clasificación de los suelos y mezclas de suelo-agregado para la construcción de carreteras
8	-	D 2487-00	Norma estándar de Clasificación de Suelos para fines de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS))
9	T 100-70	D 854-02	Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo por el método del matraz con agua
10	T 180-01	D 698	Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos
11	T 193-99	D 1883	Método de ensayo para determinar el valor de soporte californiano (CBR)
12	-	D 6276-99	Ensayo para la determinación de la proporción suelo-cal mediante la utilización del pH
13	T 216	D 2435-96	Ensayo de consolidación unidimensional de los suelos

Tabla 3.1 Ensayos que se realizan al suelo natural en la investigación
Fuente: Elaboración propia

NUMERO DE ENSAYO	NORMA		TITULO
	AASHTO	ASTM	
1	T 248-02	C 702-01	Reducción de muestras a tamaño de ensayo
2	T 88	D 422-63	Determinación del tamaño de las partículas de suelo
3	T 89	D 4318-00	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos
4	-	D 4959-00	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en laboratorio por calentamiento directo
5	-	D 2216-98	Determinación del contenido de agua (humedad) de un suelo en laboratorio por masa
6	T 100-70	D 854-02	Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo por el método del matraz con agua
7	T 180-01	D 698	Determinación en laboratorio de las características de compactación de los suelos
8	T 193-99	D 1883	Método de ensayo para determinar el valor de soporte californiano (CBR)
9	T 216	D 2435-96	Ensayo de consolidación unidimensional de los suelos

Tabla 3.2 Ensayos que se realizan al suelo estabilizado en la investigación
Fuente: Elaboración propia

3.2 PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA EL ANALISIS DEL SUELO, PREVIO Y POSTERIOR A SU ESTABILIZACION.

En esta sección se presentan paso a paso todos los procedimientos que se llevan a cabo para realizar los diferentes ensayos que permiten describir y analizar las propiedades del suelo natural.

3.2.1 MUESTREO DEL SUELO.

Muestreo de suelos.

La primera fase de la investigación consiste en realizar el muestreo del suelo objeto de estudio siguiendo los lineamientos del programa de muestreo y exploración de suelo expuesto en el libro de Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Juárez Badillo y Rico Rodríguez.

El muestreo del suelo es tan importante como cualquier otro ensayo de una investigación, ya que por medio de esto se obtienen muestras representativas que sirven para conocer las propiedades físicas del suelo.

Los trabajos de obtención de las muestras de suelo en campo consisten en la excavación manual de pozos a cielo abierto con dimensiones de 1x1 m (ver figura 3.1), equidistantes en promedio a cada 250 metros entre si y ubicados a lo largo del eje longitudinal de la vía³. Estos se realizaron a cada 250 metros además de referencias bibliográficas, por estudios antes ejecutados determinando la uniformidad del suelo en toda el área de estudio

Para esta investigación se obtuvo un total de 5 sondeos ubicados a lo largo de la vía proyectada (Ver croquis de ubicación de sondeos. ANEXO A-1).



Fotografía 3.2 Muestreo del suelo

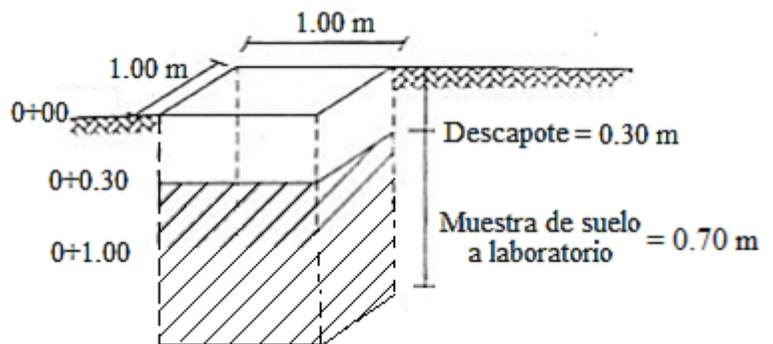


Figura 3.1 Dimensiones de los pozos a cielo abierto (PCA)

³: "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica" Braja M. Das

3.2.2 REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS A TAMAÑO DE ENSAYO AASHTO T 248-02.

Posteriormente de efectuar el muestreo de campo lo siguiente es reducir la muestra a tamaño de ensayo siguiendo los lineamientos de la norma. Se reduce a un tamaño conveniente para realizar la cantidad necesaria de ensayos que describan el material y midan la calidad al mismo, de manera que la porción más pequeña de la muestra tenga una alta probabilidad en representar a la muestra más grande y así al total aportado.

Selección del Método.

Cuando se selecciona el método se tienen tres opciones para realizar la reducción de muestras: Método A (Divisor Mecánico), Método B (Cuarteo Manual) y Método C (Pilas en Miniatura).

Según la norma *para suelos finos*, las muestras de este tipo que se encuentran en condición saturada superficialmente seca se puede reducir utilizando un divisor mecánico de acuerdo con el Método A.

Las muestras con la humedad libre en las superficies de las partículas se pueden reducir de tamaño por cuarteo acuerdo con el Método B, o mediante el tratamiento como una reserva en miniatura como se describe en el Método C.

Si se desea el uso del Método B o Método C, y la muestra no tiene libre humedad en las superficies de las partículas, la muestra puede ser humedecida para lograr esta condición, se mezcla a fondo, y luego realiza la reducción de la muestra.

Si se desea usar un Método A y la muestra tiene humedad libre sobre la partícula superficies, la muestra en su totalidad se pueden secar para obtener la condición saturada superficialmente seca, usando temperaturas que no superen las especificaciones para cualquiera de las pruebas contemplan, y luego realizar la reducción de la muestra.

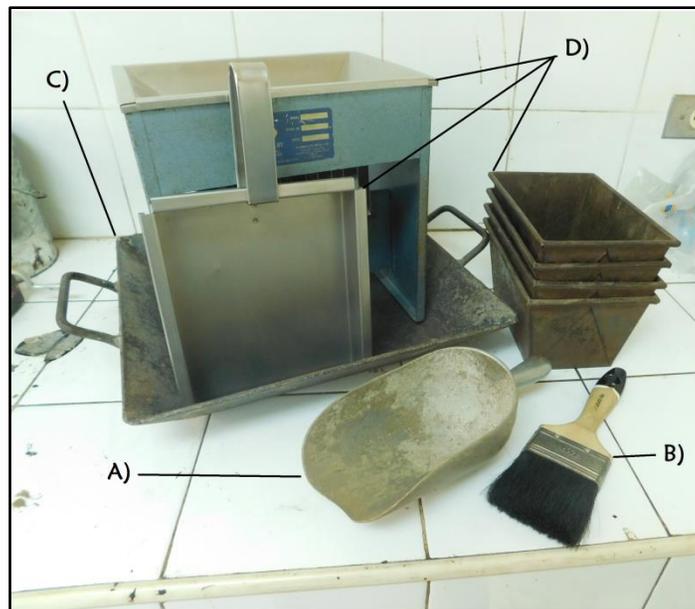
Las mezclas de agregados gruesos y finos, se reduce la muestra usando un cuarteador mecánico de acuerdo con el Método A (método preferido) o por cuarteo de acuerdo con el Método B. El apilamiento miniatura, del Método C no es permitido para suelo grueso o mezclas de suelos grueso y fino.

En nuestro caso por tener un suelo en su totalidad de grano fino y contar con humedad ambiente, ya que el suelo se secó al aire para obtener la condición superficialmente seca, el método de reducción del suelo a tamaño de ensayo se realiza por el Método A (Divisor Mecánico) así como se describe a continuación:

Equipo:

Consiste en:

- ✓ Un Cucharón,
- ✓ Brocha,
- ✓ Charola Rectangular y
- ✓ El Cuarteador de Muestras (Consiste en una tolva de acero inoxidable, las dimensiones de la tolva de 216 x 279 mm en general y altura 292 mm, la tolva que alimenta una serie de 12 rampas utilizadas para la descarga de forma alterna frente y detrás cada canaleta tiene un ancho de 13 mm; cada pasada reduce muestra por una media, completando cuatro bandejas receptoras).



Fotografía 4.3 Equipo: A) Cucharón B) Brocha C) Charola Rectangular D) Cuarteador de Muestras

Procedimiento:

Coloque la muestra en una charola rectangular limpia y nivelada, para mantener la muestra sin contaminación alguna de otro tipo de material también para tener un rápido y fácil manejo de dicha muestra, además mezcle completamente el material con el cucharón. Cuando ya se tiene la muestra en la charola rectangular entonces coloque en la tolva o en el cucharón alimentador, distribuyéndola uniformemente en toda su longitud para que al verterlo sobre los conductos, fluyan por cada uno de ellos cantidades aproximadamente iguales de material. La velocidad a la que se alimenta la muestra deberá ser tal que permita un flujo continuo por los conductos hacia las bandejas receptoras inferiores.

Vuelva a introducir la porción de la muestra de uno de los receptáculos al cuarteador cuantas veces sea necesario, hasta reducir la muestra al tamaño requerido para la prueba programada.

La muestra que cae en cada uno de los receptáculos se trabajara de la siguiente manera: Tome uno de los receptáculos y se vaciara dentro de una bandeja o recipiente y luego el material que está en el otro se guarda en un saco o bolsa para futuras pruebas, esto se hace de forma alternada, por ejemplo si en la primera cuarteada se toma para los ensayos el material que cayó en el receptáculos uno, entonces en la segunda se deberá tomar el material que cae en el siguiente deposito.

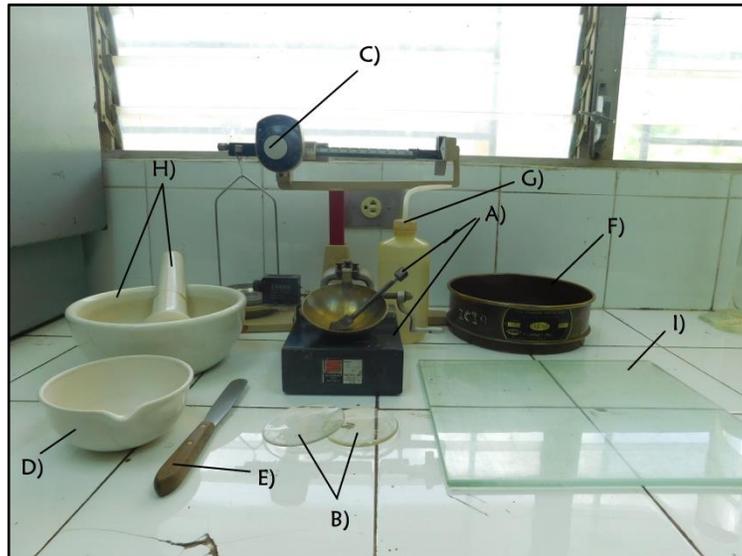


Fotografía 3.4 Vertiendo el material en el cuarteador de muestras para obtener una muestra bien distribuida

3.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318-00.

Material y equipo

- ✓ Aparato de limite líquido (copa de casa grande)
- ✓ Ranurador plano
- ✓ Recipientes para contenido de humedad
- ✓ Balanza con precisión de 0.01g
- ✓ Recipiente para mezclado y almacenamiento
- ✓ Espátula
- ✓ Tamiz No 40
- ✓ Piseta
- ✓ Mortero y pistilo
- ✓ Horno de secado
- ✓ Placa de vidrio



Fotografía 4.5 Equipo: A) Copa de casa grande con su Ranurador y nivelador B) Recipientes para contenido de humedad C) Balanza D) Recipiente para mezclado E) Espátula F) Tamiz No 40 G) Piseta H) Mortero y Pistilo I) Placa de Vidrio

Procedimiento:

- **Preparación de la muestra**

Obtenga una cantidad representativa de la muestra total del suelo, la cual debe estar completamente seca para que los terrones puedan pulverizarse con facilidad y poder obtener un espécimen de suelo de 150 a 200 g después de tamizado, para luego obtener el límite líquido de la muestra, que es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico, en base a la norma ASTM D 4318-00, (Para mayor información consultar norma), valor que servirá para clasificar el suelo.

El procedimiento que se lleva a cabo para realizar el ensayo será el que se describe a continuación.

Pulverice la muestra de suelo seco con un mortero y un pistilo, teniendo cuidado de no quebrar las partículas para hacerlas pasar por la malla No 40.

Tamice el material por la malla No 40 (425 μ m, agitando el tamiz con la mano para asegurar la separación completa de la fracción más fina.

El material que no pasa la malla No 40 es regresado al mortero y se repiten los procesos de pulverizado y cribado hasta que la mayoría del material fino haya sido disgregado y el material retenido consista en granos individuales para poder obtener una muestra que oscile entre los 150 a 200 g.



Fotografía 3.6 Pulverización de la muestra



Fotografía 3.7 Tamizado de la muestra por la malla No 40

Una vez obtenida la cantidad requerida de material para realizar el ensayo coloque la muestra en una capsula de porcelana y agregue de 2 a 4 ml de agua con una piseta para poder hidratar por completo la muestra de suelo, mezcle bien la muestra con una espátula.



Fotografía 3.8 Hidratación y homogenización de la muestra

Este proceso se repite hasta que la muestra esta hidratada y haya formado una pasta dura, posteriormente se guarda en una bolsa plástica para evitar la pérdida de humedad y se deja reposar por lo menos 16 horas.

- **Determinación del límite liquido usando el método de múltiples puntos**

Mezcle bien el material hidratado, inmediatamente antes de iniciar el ensayo.

Tome con la espátula una porción de suelo y colóquela en la copa de latón del dispositivo de casa grande, distribuyéndola con el menor número de golpes de espátula posibles, hasta que se obtenga un espesor de aproximadamente 10 mm como máximo y se deje nivelada la superficie en un plano horizontal.

El suelo remanente se guarda en la capsula de porcelana dentro de una bolsa plástica para retener la humedad. Luego se divide la masa del suelo de la copa de Casagrande utilizando un Ranurador, (acanalador) trazando una línea del punto más alto al punto más bajo en el

borde de la copa, cuando haga la ranura, sostenga el acanalador contra la superficie de la copa de latón haciendo un movimiento circular de adelante hacia atrás. Manteniéndolo perpendicular a la superficie de la copa de Casagrande durante todo el movimiento.

Se levanta y deja caer la copa por medio de una manivela a una frecuencia de 1.9 a 2.1 caídas por segundo, hasta que las dos mitades del suelo al dar los golpes se unan en el fondo de la ranura, una distancia de 13mm (1/2 pulg.).



Fotografía 3.9 Dispositivo de límite líquido y muestra de suelo

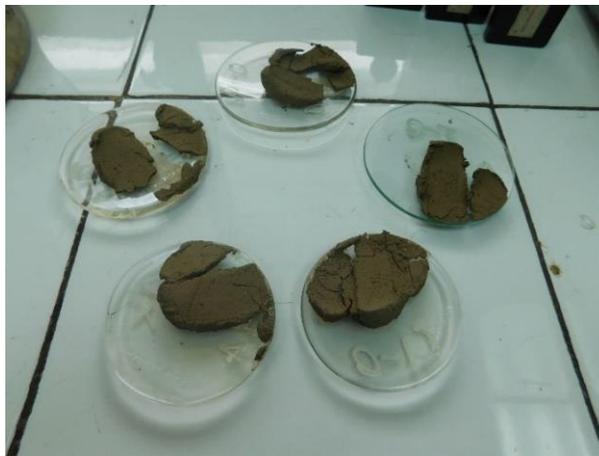
Registre el número de golpes N (en la hoja de datos) que han sido requeridos para cerrar la ranura en el suelo; luego tome una porción del suelo de aproximadamente el ancho de la espátula y en ángulo recto de la sección donde fluyo y colócala en un recipiente de masa conocida.

Luego determine la masa del recipiente con la porción de suelo; y regístrela en la hoja de datos correspondiente a este ensayo, por último, determine el contenido de agua de esa porción de suelo, de acuerdo con el método de ensayo ASTM D 2216.

El suelo restante en la copa de Casagrande se regresa a la capsula de porcelana. Posteriormente desenganche la copa. Lave y seque la copa junto con el ranurador y vuelva a fijar la copa al carruaje en preparación para el próximo ensayo.

Mezcle nuevamente todo el espécimen de suelo en el recipiente de porcelana, agregando más agua destilada para aumentar el contenido de agua en el suelo y así disminuya el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Para la realización de este ensayo se procedió a analizar 5 puntos con el fin de obtener una mejor interpretación de la gráfica, aunque solamente se tomaron tres puntos de interés, el primero uno que cerrara la ranura entre 30 y 35 golpes, un segundo entre 25 y 30 golpes, un tercero entre 20 y 25 golpes, un cuarto entre 15 y 20 golpes y finalmente un quinto entre 10 y 15 golpes.



Fotografía 3.10 Muestras de suelo para determinar la humedad correspondiente al límite líquido

Para obtener el valor del límite líquido plotee la relación entre el contenido de agua (%w) y el número correspondiente de golpes de la copa en un gráfico. El contenido de agua en las ordenadas (Y), y el número de golpes en las abscisas (X). Luego dibuje la mejor línea recta para unir lo mejor posible los tres o más puntos ploteados.

Tome el contenido de agua de la intersección de la línea de las abscisas correspondiente a 25 golpes con la línea que une la dispersión de los valores registrados que se proyecta hasta cortar con una línea horizontal a las ordenadas como el límite líquido.

- **Determinación del límite plástico del suelo**

Seleccione 20g o más del espécimen de suelo preparado para el ensayo de límite líquido o del suelo restante de dicho ensayo. Luego reduzca el contenido de humedad del suelo hasta que posea una consistencia en la cual pueda rolarse sin adherirse a las manos cuando sea extendido o se mezcle continuamente en una superficie plana y horizontal.

Seleccione una porción de suelo entre 1.5 a 2g de la muestra de 20g que se tomó anteriormente para formar una pasta elipsoidal. Luego role esta masa de suelo colocándola entre la palma de la mano o los dedos y una superficie horizontal lisa con suficiente presión, hasta hacer un hilo de diámetro uniforme de aproximadamente 3.2 mm (1/8 pulg) a lo largo de su longitud en un lapso de tiempo máximo de 2 minutos.

Cuando haya alcanzado el diámetro requerido del hilo de suelo, desmenuce está en varias porciones. Seguidamente junte las porciones y amáselas de nuevo hasta darles una forma aproximadamente elipsoidal. Role el suelo nuevamente hasta que el hilo sea de un diámetro de 3.2mm y repita todo el proceso anterior hasta que aparezcan grietas en el o se quiebre bajo presión del amasado y ya no sea posible formarlo de nuevo.

Luego reúna las porciones de suelo resquebrajadas y reúnalas en un recipiente de masa conocida. Determine la masa del suelo con el recipiente y regístrelas en la hoja de datos correspondiente. El proceso se repite hasta que en el recipiente haya por lo menos 6g de suelo. Luego se registra la masa del recipiente con el suelo húmedo y se determina posteriormente el contenido de humedad del suelo en el recipiente, de acuerdo con el método ASTM D 2216. Este proceso se repite hasta obtener un total de al menos dos muestras para poder determinar el límite plástico del suelo.



Fotografía 3.11 Muestras de suelo para determinar la humedad correspondiente al límite líquido

En base al procedimiento de la norma ASTM D 4318-00 método de múltiples puntos, y para el suelo muestreado sobre el tramo de estudio, se determinaron los límites de Atterberg obteniéndose los siguientes resultados.

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-2.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DE LA DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO,
 LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS
 ASTM D 4318-00**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 1-5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1-5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 9-12 Agosto 2016

N° de Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
1	75%	30%	45%
2	47%	22%	25%
3	46%	21%	25%
4	35%	22%	13%
5	30%	25%	5%

3.2.4 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO ASTM D 854-02.

Para la determinación de la gravedad específica se sigue los lineamientos según la norma ASTM D854-02, mediante la utilización del picnómetro (frasco volumétrico o matraz) con agua, para ello se puede realizar por medio de 2 métodos: Método A (para suelos húmedos y Método B (para suelos secos).

Material y equipo

✓ Muestra de suelo:

El espécimen de ensayo debe estar secado al horno y deberá ser representativo de los sólidos del suelo que pasen el tamiz N°4 de la muestra total.

✓ Balanza:

Con una capacidad de 1000 g y con precisión de 0.01 g cuando se utilizan frascos volumétricos de 500 ml (matraz).

✓ Horno de secado:

Se utiliza para secar la muestra a una temperatura ± 60 °C

✓ Termómetro:

Capacitado para medir temperaturas con una precisión cercana al 0.1 °C y con una profundidad de sumersión de 25 a 80mm.

✓ Desecador:

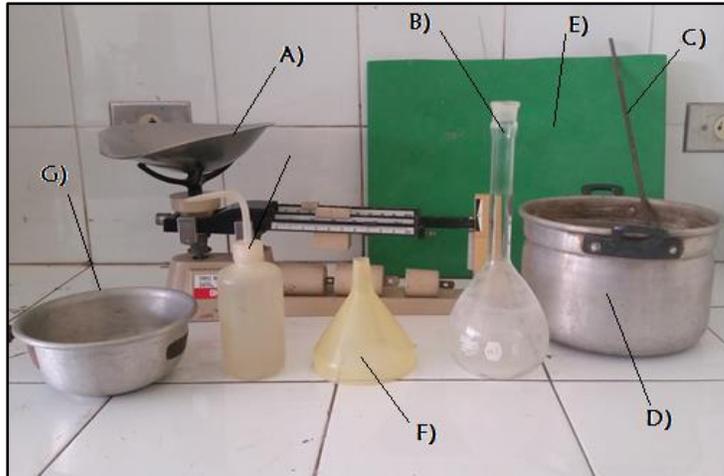
✓ Aparato de extracción de aire:

Consiste en la utilización de una olla de aluminio y que esta sea capaz de mantener la temperatura requerida para el hervir el agua.

✓ Embudo

✓ Misceláneos:

Tamiz N° 4 (4.75mm), guantes, franelas, piseta, recipientes para muestra de ensayo, espátula, papel toalla y pipeta.



Fotografía 3.12 Equipo: A) Balanza B) Matraz de 500 ml
 C) Varilla con papel toalla para limpiar el matraz D) olla
 E) Almohadilla para agitar el matraz F) Embudo G) Recipiente
 para contenido de humedad H) Piseta

Procedimiento:

Para esta investigación, se escoge el Método B el cual consiste en obtener la gravedad específica mediante un suelo seco, el cual se describe de la siguiente manera:

Para la muestra de suelo tamice el material a utilizar en la prueba por el tamiz No 4, obteniendo una cantidad, según el tipo de suelo. Si el tipo de suelo a utilizar es arcilla entonces tomar 50 ± 10 g del material tamizado. Seque la muestra del suelo en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta obtener una masa constante.

Tipo de suelo	Masa del espécimen seco (g), para matraz de 500 ml
SP, SP-SM	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	75 ± 10
Limo o Arcilla	50 ± 10

Tabla 3.3 Masas recomendada para los especímenes de ensayo.

Fuente: Norma ASTM 854-02, Volumen 04.08(American Society for Testing and Materials)

Determine y registre la masa del frasco volumétrico (Matraz) limpio y seco, utilizando una balanza de 0.1 g de legibilidad. Realice este procedimiento al menos 3 veces para obtener un promedio de los pesos. Luego llene el frasco volumétrico (Matraz) a una cantidad de $\frac{1}{2}$

del bulbo, obtenga y registre su peso en la balanza, coloque un embudo en el matraz, (verificando de esta manera que el cuello de este sobrepase más allá de la marca de calibración). Seguidamente deposite el espécimen del suelo directamente en el embudo y con la varilla con papel toalla limpie con mucho cuidado el cuello del matraz sin tocar el agua del fondo.



Fotografía 3.13 Obtención de la masa del matraz limpio y seco



Fotografía 3.14 Obtención de la masa del matraz + agua a una altura de $\frac{1}{2}$ del bulbo

Obteniendo la lechada (agua y suelo), agite el frasco volumétrico con cuidado y tome su peso y regístrelo como (peso del matraz + agua + suelo). Luego llene de agua destilada el frasco volumétrico hasta una altura que llegue donde empieza el cuello.



Fotografía 3.15 Obtención de la masa del matraz + agua + suelo



Fotografía 3.15 Llenado del matraz hasta donde empieza el cuello

En la etapa de ebullición o extracción de aire, vierta agua en una olla a un nivel de $\frac{3}{4}$ de su capacidad y colócala en una cocina a una temperatura media, colocando en ella el matraz con la lechada. Para extraer el aire atrapado en el frasco volumétrico agite las veces que sean necesarias y séquelo con una franela, la duración de la etapa de extracción de aire debe tener como mínimo unas 2 horas, hasta que la lechada deje de expulsar burbujas de aire y por último se retira de la olla y se seca con franela para poder dejarlo reposar y que su temperatura baje.



Fotografía 3.17 Etapa de ebullición en la extracción de aire de los matraces

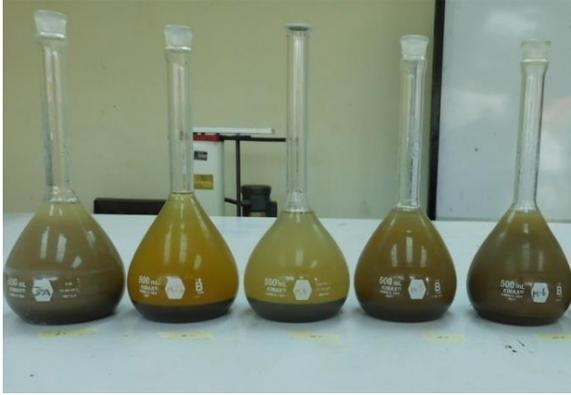


Fotografía 3.18 Extracción de aire mediante el agitación del matraz

Deje el matraz + agua + suelo en reposo durante al menos 16 horas para alcanzar el equilibrio térmico. Ajuste el nivel del frasco volumétrico (marca de aforo) con agua destilada y limpie con la varilla con papel toalla la parte de superior de la marca de aforo. Utilice la balanza de 0.1g de legibilidad y obtenga la masa de suelo + agua + matraz (aforado) y posterior a ello tome la temperatura del matraz + agua +suelo con el termómetro de 0.1 °C de legibilidad y de esta manera registre ambas lecturas en la hoja de datos correspondiente a este ensayo.

Cuando se tiene los datos del peso del matraz + agua + suelo y la temperatura de ensayo entonces con estos datos valla a carta de calibración del matraz y obtenga el dato del peso del matraz + agua (aforado) y encuentre la gravedad específica mediante la siguiente formula:

$$G_s = \frac{W_{\text{muestra de suelo}}}{W_{\text{matraz+agua por carta}} + W_{\text{muestra de suelo}} - W_{\text{matraz+agua+suelo de ensayo}}}$$



Fotografía 3. 19 Dejando en reposo los matraces para que bajen la temperatura después de la ebullición



Fotografía 3. 20 Obtención de la masa del matraz + agua + suelo (aforado)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la gravedad específica de los sólidos de las muestras.

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-3.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DE LA DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS
SOLIDOS DEL SUELO POR EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA
ASTM D 854-02**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 1-5 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 1-5 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS

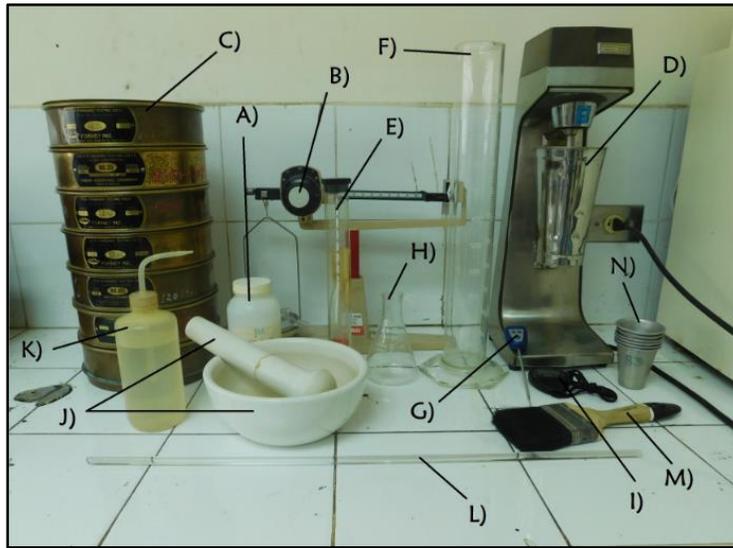
N° DE MUESTRA	GRAVEDAD ESPECIFICA
1	2.43
2	2.47
3	2.36
4	2.48
5	2.32

3.2.5 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS POR HIDROMETRÍA ASTM D 422-63.

Material y Equipo:

Para determinar el tamaño de las partículas se realiza en ensayo de granulometría por sedimentación en el cual se utilizan los siguientes instrumentos:

- ✓ Muestra de suelo: representativa en condición “secada al aire”
- ✓ Agente dispersor y/o de floculante: solución de hexametáfosfato de sodio (conocido como Hexametáfosfato de sodio)
- ✓ Agua Destilada o desmineralizada
- ✓ Balanza: sensible a 0.01 g
- ✓ Aparato agitador (Batidora)
- ✓ Hidrómetro graduado para leer ya sea la gravedad específica o gramos/litro de la suspensión
- ✓ Cilindros de sedimentación (probetas): con una capacidad de 1000 ml
- ✓ Termómetro con una precisión de 0.5°C (1°F)
- ✓ Juego de tamices
- ✓ Erlenmeyer con capacidad de 250 ml
- ✓ Cronometro
- ✓ Mortero y pistilo cubierto de goma
- ✓ Cocina de estufa
- ✓ Reductor de muestras o partidor de muestra
- ✓ Agitador (varilla de vidrio)
- ✓ Piseta
- ✓ Brocha
- ✓ Franelas
- ✓ Papel toalla
- ✓ y Recipientes para muestras



Fotografía 3.21 Equipo: A) Defloculante B) Balanza C) Juego de Tamices D) Batidora E) Hidrómetro F) Probeta G) Termómetro H) Erlenmeyer I) Cronometro J) Mortero y Pistilo K) Piseta L) Varilla de vidrio (agitador) M) Brocha N) Recipientes para muestras

Procedimiento:

- **Preparación de la muestra a ensayar:**

Exponga al aire la muestra de suelo recibida de campo a la temperatura ambiente hasta que seque completamente y luego pasar por el tamiz No 3/8 y el No 10. Luego se reduce el suelo a una cantidad representativa con el cuarteo mecánico (*para más detalle ver Reducción de muestras de suelos a tamaño de ensayo Sección 4.2.2*).

Tome 500 g del material cuarteado basado en el tamaño máximo nominal de sus partículas, luego pese una muestra de 65 g basada en el tipo de suelo para realizar el ensayo y determinar su humedad higroscópica según la norma ASTM D 422-63.



Fotografía 3.22 Pasando la muestra de suelo por el tamiz No 10



Fotografía 3.23 Pesando los 65 g de suelo para realizar el ensayo

Hidrometría y análisis por tamizado de la porción que pasa el tamiz No 10

- **Preparación de la solución dispersante (de floculante)**

Utilizando una balanza de 0.01g de legibilidad, obtenga una masa de 20 g de hexametfosfato de sodio. Deposite agua destilada o desmineralizada en una probeta de 500 ml (hasta la mitad de la altura) y agregue el agente dispersor (hexametfosfato de sodio) en ella. Luego agite la solución hasta que el hexametfosfato de sodio se disuelva completamente y se agrega agua hasta completar los 500 ml.



Fotografía 3.24 Tomando la masa de 20 g de hexametfosfato de sodio para la preparación de la solución



Fotografía 3.25 Agitando la solución hasta disolver el hexametfosfato de sodio

- **Determinación de la corrección por menisco (Cm)**

Limpie con alcohol la superficie del vástago del hidrómetro y se sumerge en una probeta de 1000 ml llena con agua destilada o desmineralizada. Y tome dos lecturas en la escala graduada del hidrómetro, una de ellas en la parte superior del menisco y la otra en la parte inferior (siguiendo la superficie horizontal del agua). Registre la corrección del menisco (Cm) como la diferencia de las lecturas tomadas anteriormente

- **Determinación de la corrección por defloculante**

Limpie con alcohol la superficie del vástago del hidrómetro y se sumerge en una probeta de 1000 ml parcialmente llena con agua destilada, posteriormente tome una lectura en la parte inferior del menisco en la escala graduada del hidrómetro y luego se retira de la probeta.

Agregue 125 ml de la solución dispersante y complete el llenado de la probeta con agua. Agite la solución y luego sumerja nuevamente el hidrómetro tomando una nueva lectura en la parte inferior del menisco. Registre la corrección por defloculante (Cd) como la diferencia de las lecturas tomadas.

- **Determinación de la corrección por temperatura (Ct)**

Registre cada una de las temperaturas en cada una de las lecturas del hidrómetro en la probeta de ensayo. Posteriormente determine la corrección para cada una de las temperaturas registradas, utilizando tabla de factores de corrección por temperatura para el análisis granulométrico de un suelo por sedimentación dada por la norma ASTM D 422-63.

- **Dispersión e Hidrometría de la muestra de suelo**

Coloque la cantidad de 65 g en un Erlenmeyer de 250 ml, y se agregan 125 ml de la solución dispersante. Posteriormente agite utilizando una varilla de vidrio hasta formar una lechada, luego se deja reposar por lo menos 16 horas.



Fotografía 3.26 Colocando 125 ml de defloculante en el Erlenmeyer



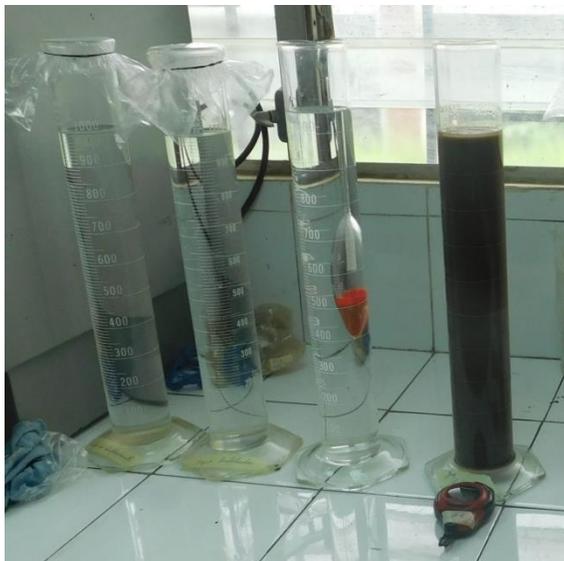
Fotografía 3.27 Agitando la solución hasta formar una lechada

Transfiera la lechada de suelo-agua antes preparada, al agitador mecánico y enjuague cualquier remanente en el Erlenmeyer con agua destilada o desmineralizada, luego agregue agua si es necesario, llenando hasta un nivel de $\frac{2}{3}$ del vaso agitador. Posteriormente agite por un periodo de 1 minuto.

Luego, coloque la lechada a una probeta graduada y agregue agua destilada hasta que su volumen total sea de 1000 ml, enjuagando el vaso para prevenir la pérdida de material remanente.

Se tapa con un tapón el extremo de la probeta, posteriormente se agita por un periodo de 1 min, haciéndola girar en un plano vertical de 180° . El número de giros durante el minuto deberán ser 60, contando hacia arriba y abajo como dos giros.

Coloque la probeta con la lechada sobre una mesa fija y active simultáneamente el cronometro y tome las lecturas del hidrómetro y temperatura en los intervalos de tiempo: 2, 5, 15, 30, 60, 250, 1440 y 2880 minutos, insertando cuidadosamente el hidrómetro en aproximadamente 20 a 25 segundos antes de cada lectura.



Fotografía 3.28 Ensayo de Hidrometría



Fotografía 3.29 Tomando lecturas del hidrómetro en los intervalos de tiempo

- **Análisis por tamizado**

Vierta la suspensión en el tamiz No. 200 (75 μ m) después de tomar la última lectura del hidrómetro.

Lave con agua del grifo el material retenido en el tamiz, hasta que ésta se observe limpia, luego deposite en un recipiente apropiado de masa conocida y se seca en la cocina hasta obtener masa constante. Determine y registre la masa seca de las partículas del suelo.



Fotografía 3.30 Lavado del material de ensayo en la malla No 200



Fotografía 3.31 Secando el material lavado en la cocina hasta obtener masa constante

Ordene el juego de mallas a utilizar (No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 100 y No. 200) colocándolas de forma descendente de mayor a menor abertura junto con el fondo. Posteriormente deposite el material seco en la malla superior y luego se colocar la tapa. Entonces ordenados el juego de tamices conteniendo la muestra, manualmente se agita cada uno de los tamices durante 1 minuto hasta que determina y registre en la hoja de datos las masas retenidas en cada una de las mallas, utilizando una balanza de 0.01 g de legibilidad.



Fotografía 3.32 Depositando el material secado a la cocina para tamizarlo



Fotografía 3.33 Tomando pesos del material retenido en cada tamiz

A continuación, se presentan resumidamente los resultados del análisis granulométrico e hidrométrico de las muestras de suelo natural.

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-4.



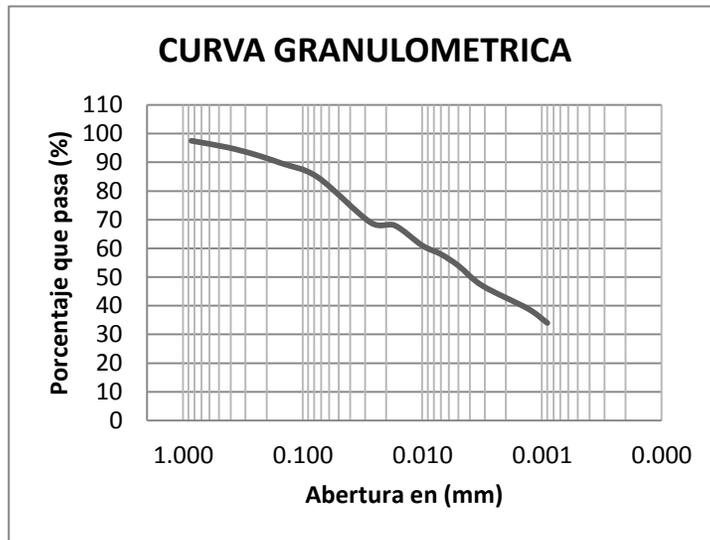
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO E HIDROMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/1
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	10 Agosto 2016

Abertura en (mm)	Porcentaje que pasa (%)
2.00	100.00
0.85	97.49
0.425	95.19
0.250	92.69
0.150	89.64
0.075	84.84
0.027	69.00
0.017	68.00
0.010	61.00
0.007	58.00
0.005	54.00
0.003	47.00
0.001	39.00
0.0009	34.00

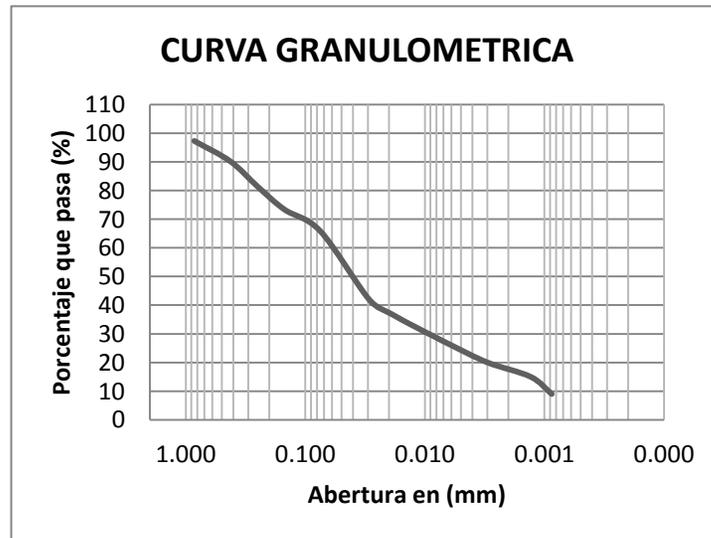




ANALISIS GRANULOMETRICO E HIDROMETRICO DE LOS SUELOS
ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 10 Agosto 2016

Abertura en (mm)	Porcentaje que pasa (%)
2.000	100.00
0.850	97.31
0.425	90.21
0.250	81.33
0.150	73.41
0.075	65.84
0.029	42.00
0.019	37.00
0.012	32.00
0.008	29.00
0.006	26.00
0.003	20.00
0.001	15.00
0.0009	9.00





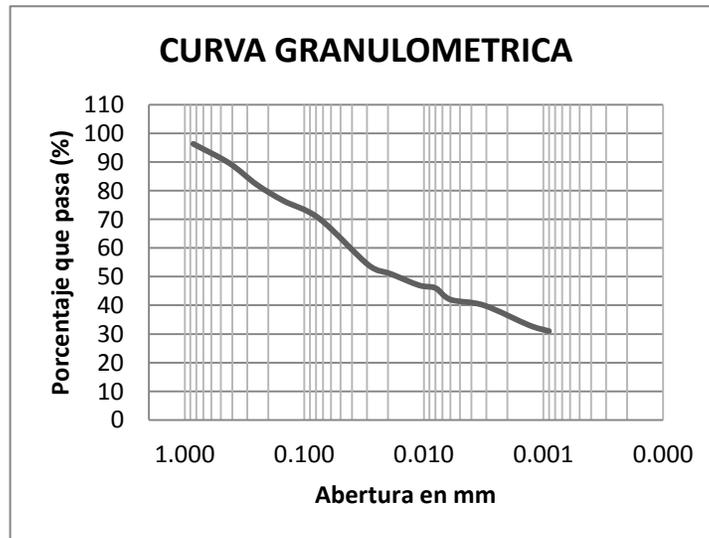
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO E HIDROMETRICO DE LOS SUELOS
ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Abertura en (mm)	Porcentaje que pasa (%)
2.000	100.00
0.850	96.35
0.425	89.60
0.250	82.10
0.150	76.50
0.075	70.26
0.029	54.00
0.019	51.00
0.011	47.00
0.008	46.00
0.006	42.00
0.003	40.00
0.001	33.00
0.0009	31.00

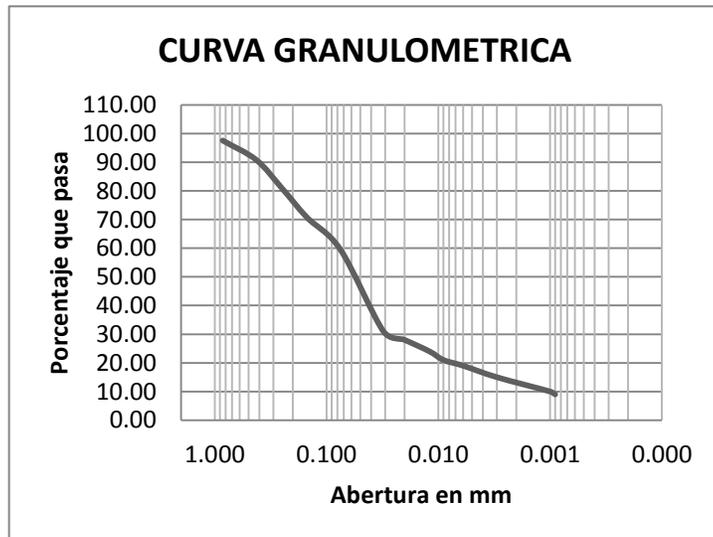




ANALISIS GRANULOMETRICO E HIDROMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Abertura en (mm)	Porcentaje que pasa (%)
2.000	100.00
0.850	97.59
0.425	90.80
0.250	80.86
0.150	70.78
0.075	59.48
0.031	31.00
0.020	28.00
0.012	24.00
0.009	21.00
0.006	19.00
0.003	15.00
0.001	10.00
0.0009	9.00

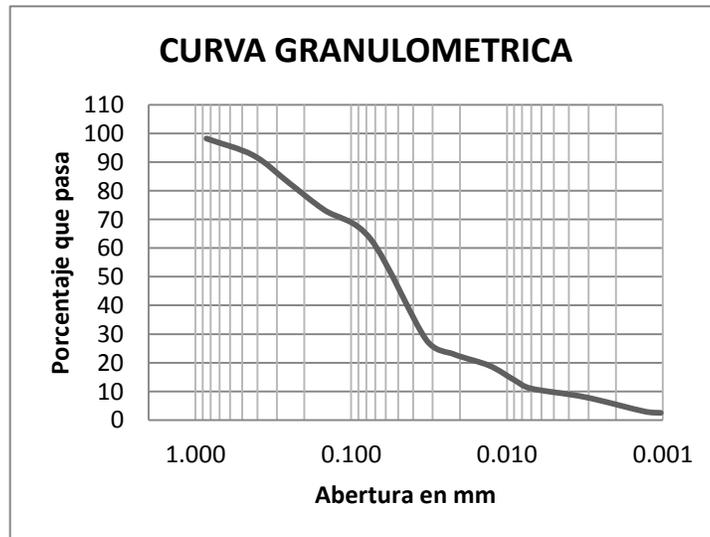




ANALISIS GRANULOMETRICO E HIDROMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016

Abertura en (mm)	Porcentaje que pasa (%)
2.000	100.00
0.850	98.23
0.425	92.35
0.250	82.70
0.150	73.41
0.075	63.13
0.033	28.00
0.022	23.00
0.013	19.00
0.009	14.00
0.007	11.00
0.003	8.00
0.001	3.00
0.001	2.50



3.2.6 CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA CARRETERAS AASHTO M 145-91 (2000).

Una vez que se tiene una muestra representativa del material selecto, se procede a clasificar el suelo, en base a la norma AASHTO M 145-91(2000) (Para mayor información consultar norma), esto debido a que las normas AASHTO están más enfocadas en análisis de suelos para uso en carreteras.

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of Estate Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasante, subbase y bases de las carreteras. Sin embargo, es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasante de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos.

Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno” para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa:											
N° 10 (2mm)	50 máx	-	-	-				-			
N° 40 (0,425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-				-			
N° 200 (0,075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Tabla 3.4 Clasificación de Suelos según AASTHO M- 145

Fuente: Clasificación de suelos (Norma AASHTO M 145)

3.2.7 CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA FINES DE INGENIERÍA (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ASTM D 2487-00.

La clasificación del suelo de acuerdo al SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ASTM D 2487-00 (Para mayor información consultar norma), basa la clasificación de los suelos para propósitos ingenieriles; mediante el análisis de diferentes parámetros como lo son el límite líquido e índice de plasticidad; a continuación, se describe el procedimiento a seguir para realizar esta clasificación:

Este procedimiento describe un sistema de clasificación de suelos minerales y organomineral para propósitos de ingeniería, mediante la determinación en laboratorio del tamaño de partículas, usando características como: el límite líquido e índice de plasticidad que son indispensables para la clasificación.

El uso de esta norma dará lugar a un único símbolo de grupo de clasificación y el nombre del grupo, excepto cuando el suelo contiene de un 5 a 12% de finos o cuando la intersección del límite líquido e índice de plasticidad cae en la zona restringida de la carta de plasticidad. En estos dos casos, un doble símbolo se usa, por ejemplo, CL-ML. Cuando los resultados de las pruebas de laboratorio indican que el suelo está cercano a otro grupo de la clasificación, la condición de frontera puede ser indicada con dos símbolos separados por una barra, por ejemplo, CL/CH, ML/SM, SC/CL. Símbolos de frontera son especialmente útiles cuando el valor de límite líquido de los suelos arcillosos está cercano a 50.

La clasificación bajo esta norma ASTM D-2487, plantea:

Clasificar como suelo de grano fino, si el 50% o más del peso seco de la muestra de análisis pasan el tamiz N o 200 (75µm).

Clasificar como suelo de grano grueso, si más del 50% del peso seco de la muestra de análisis se retiene en el tamiz No 200 (75 µm).

Cuando el material presenta más del 50% pasante de la malla No 200, puede usarse únicamente la carta de plasticidad para determinación de su clasificación.

Con los datos previamente calculados (índice de plasticidad y límite líquido), plotearlos en carta de plasticidad y obtener de esta manera el símbolo asignado al suelo, tal como se muestra en la siguiente figura.

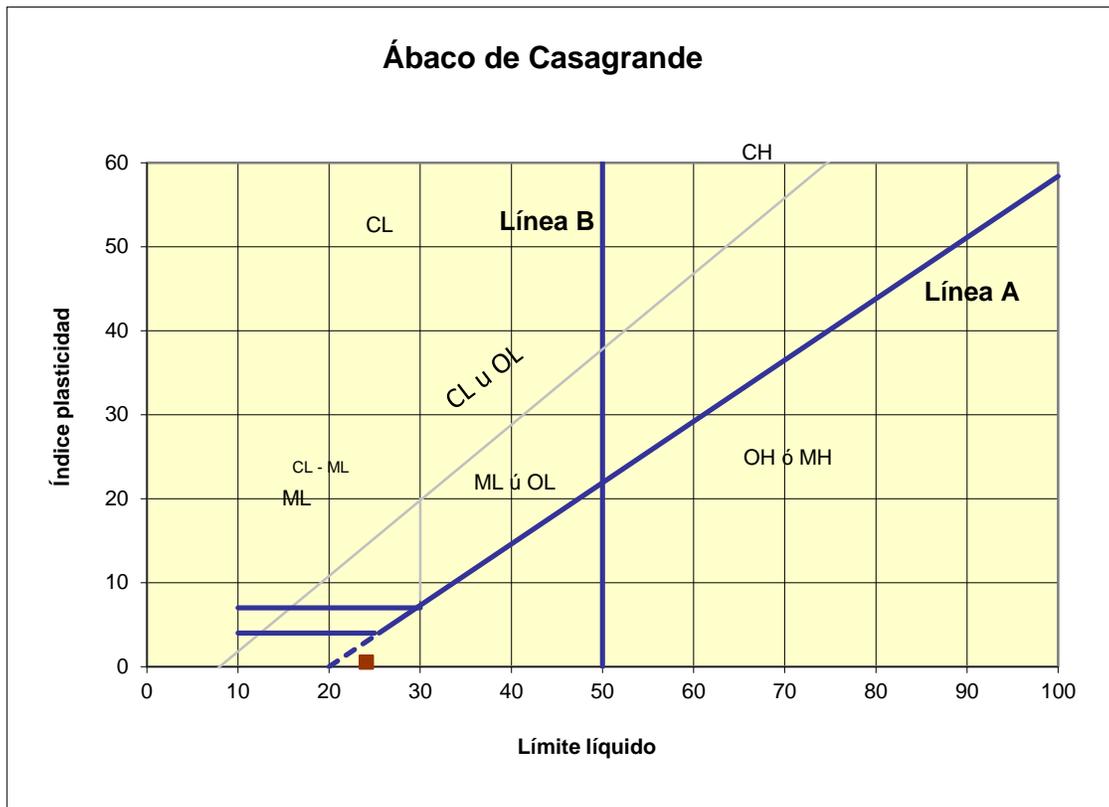


Figura 3.2 Carta de Plasticidad

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Ubicar el valor del límite líquido en las abscisas de la carta de plasticidad (eje X), y el índice de plasticidad en las ordenadas (eje Y). Luego proyectar una línea perpendicular a los valores de límite líquido e índice plástico previamente ubicados en la carta. El punto donde se intersece corresponderá al símbolo de grupo para ese suelo.

A continuación, a presentan los resultados del análisis de clasificación de las muestras de suelo natural según el método AASTHO y el método SUCS.

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-5.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CUADRO RESUMEN DE LA CLASIFICACION DE SUELOS
 AASTHO M-145 Y ASTM D 2487-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 1-5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1-5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

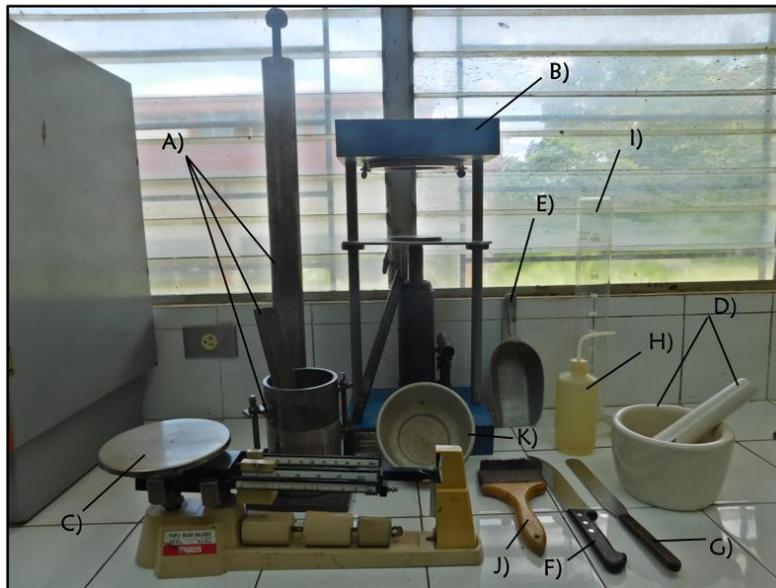
CLASIFICACION DE SUELOS				
N° de Muestra	AASTHO			SUCS
	Clasificación	Índice de Grupo	Descripción	Clasificación
1	A-7-5	43	Suelo Arcilloso	CH Arcilla inorgánica de plasticidad alta
2	A-7-5	20	Suelo Arcilloso	CL Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media
3	A-7-5	19	Suelo Arcilloso	CL Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media
4	A-6	7	Suelo Arcilloso	CL Arcilla inorgánica de plasticidad baja a media
5	A-4	2	Suelo Limoso	ML Limos arcillosos con ligera plasticidad

3.2.8 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD – DENSIDAD DE LOS SUELOS AASHTO T180-01.

Basado en la norma AASHTO T 180-01, el ensayo Proctor consiste en colocar un molde cilíndrico de dimensiones conocidas la cantidad de cinco capas dentro de él, un suelo con un contenido de humedad seleccionado y por medio de un martillo apisonador compactarlo, aplicándole un número de 25 golpes a cada capa. También está la norma AASHTO T 99, pero se trabajará con la T 180-01 ya que es la idónea para la compactación en suelos que están destinados para soportar cargas vehiculares.

Material y equipo:

- ✓ Muestra de suelo:
La muestra de suelo debe ser representativa y secada al aire (un total de 18 kg)
- ✓ Martillo apisonador o martillo de compactación:
Para compactar la muestra ocupe un martillo apisonador de 10 lb
- ✓ Molde:
Con su respectivo (collarín y base) de 4" de diámetro.
- ✓ Extractor de muestras:
Cosiste en un gato hidráulico para la extracción del espécimen.
- ✓ Regla enrazadora:
La cual debe ser metálica con borde biselado.
- ✓ Balanza
Una balanza con 0.1 g y 1 g de precisión.
- ✓ Horno de secado:
Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ✓ Tamices:
Tamiz de $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) y No.4 (4.75 mm).
- ✓ Misceláneos: Bandeja metálica, mortero y pistilo para desmenuzar cualquier grumo, cucharón, tenaza, cuchillo, espátula, piseta, guantes de hule, probetas de vidrio, vernier, brocha y bolsas plásticas para mantener las muestras y que estas no pierdan humedad.



Fotografía 3.34 Equipo: A) Martillo apisonador con su collarín y base B) Gato Hidráulico C) Balanza D) Mortero y Pistilo E) Cucharon F) Cuchillo G) Espátula H) Piseta I) Probeta J) Brocha K) Taras para el contenido de Humedad

Procedimiento:

Para realizar este ensayo existen cuatro métodos los cuales son: Método A, Método B, Método C y Método D. La diferencia entre los métodos A y C es que para el A el suelo es tamizado en la malla N° 4 y se pesan 3 kg para cada muestra y para el C se tamiza en la malla $\frac{3}{4}$ y se pesan 5 kg para cada muestra, en ambos se utiliza el molde de 4" de diámetro. Por lo tanto la diferencia entre los métodos B y D, es que para el B se utiliza la malla N° 4 y se pesan 7 kg para cada muestra y finalmente para el D se tamiza en la malla $\frac{3}{4}$ y se pesan 11 kg para cada muestra, para ambos métodos se trabaja con el molde 6" de diámetro.

- **Selección del método:**

Para fines de esta investigación se analizan datos obtenidos por el método A, en el cual se utiliza el molde de 4" de diámetro, el tamiz N° 4 y un martillo de compactación de 10 lb.

- **Determinación del volumen y peso del molde de compactación:**

Mida 6 veces el diámetro del molde de compactación tanto en la parte superior e inferior del mismo utilizando un vernier (pie de rey) con una precisión de 0.01 pulgadas (obteniendo un promedio), determine y registre la masa del molde sin la base y sin el collarín con una balanza de 1 g de precisión, por último mida la altura del molde en la parte interior al menos cuatro veces alrededor de su circunferencia utilizando un vernier. Y luego calcule el promedio de las alturas.

- **Preparación de la muestra de ensayo:**

Seque la muestra al aire o en un horno de secado a una temperatura de 60°C, luego desmenuce todos los grumos existentes utilizando un mortero y pistilo, de manera que se reduzca el tamaño de las partículas.

Tamice en la malla N° 4 una cantidad representativa de material pulverizado, lo suficiente para realizar 5 puntos y descarte el material retenido en ella.

Calcule la humedad natural del suelo para poder determinar la cantidad de agua a agregar a cada una de las muestras para que puedan llegar a la humedad de prueba, tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{Agua a agregar (ml)} = Km \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Dónde:

Km= Peso de la muestra de suelo secado al aire, a ser compactado (en gramos).

w1= Contenido de humedad presente en la muestra de ensayo (en cifra decimal).

w2= Contenido de humedad al que se requiere la compactación de la muestra (en cifras decimal).

Deposite cada muestra en una bandeja metálica y mezcle manualmente, con la cantidad de agua necesaria, utilice una probeta 1000 ml (según sea el porcentaje de humedad), para asegurar una distribución uniforme y déjelas reposar en bolsas plásticas durante 16 horas como mínimo.



Fotografía 3.35 Humedecimiento de la muestra de suelo

- **Compactación de la muestra:**

Ensamble la placa en el molde y con el collarín asegurándolo correctamente, luego coloque el molde en una superficie plana y rígida para que se realice el ensayo sin ningún tipo de error, inmediatamente ubique en el molde el suelo anteriormente preparado hasta crear una capa de espesor uniforme y que pueda ocupar la quinta parte del molde. Posteriormente el suelo colocado en el molde, compacte utilizando un martillo apisonador dejándolo caer desde la altura de la manga, proporcionando 25 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde por cada capa



Fotografía 3.36 colocación del suelo en el molde.



Fotografía 3.37 Apisonamiento del suelo en el molde de compactación.

Remueva el collarín del molde y desbaste cuidadosamente el suelo compactado hasta aplanar la parte superior del molde y utilice una regla enlazadora (llene los agujeros y presione con los dedos para luego emparejar con la regla enrazadora), desmonte la placa base del molde, después limpie la parte externa del molde con una brocha. Posteriormente determine la masa del molde compactado (sin placa base) y registre en una balanza de 1 g de precisión.



Fotografía 3.38 Remoción del collarín



Fotografía 3.39 Enrazado del material

Extraiga el espécimen compactado utilizando el gato hidráulico, luego corte en 4 porciones el espécimen y calcule una masa de 500 g por cada porción y luego coloque en taras debidamente pesadas. Luego obtenga la masa de cada porción humedad utilizando la balanza de 0.1 g de legibilidad. Seguidamente coloque al horno a una temperatura que no sobrepase los 60° C en un tiempo mínimo de 24 horas y por último una vez sacados del horno deje enfriar para tomar la masa seca de cada porción de suelo.



Fotografía 3.40 Extracción de la muestra compactada



Fotografía 3.41 Muestra para cálculo de humedad compactada

Efectué el paso anterior en 6 ocasiones con los contenidos de humedad dependiendo los valores de compactación que se requieran. Estos valores se obtienen en los cálculos efectuados y de esta manera encuentre la humedad de compactación óptima.

A continuación, se presenta un resumen de las humedades óptimas y el peso volumétrico seco de compactación para cada una de las muestras en estudio.

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-6.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DE LA DETERMINACION EN LABORATORIO
 DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS (PROCTOR)
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>1/1</u>
SONDEO No.	<u>1-5</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>1-5</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>19/08 al 7/09 2016</u>

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD

N° de muestra	γ_d (kg/m ³)	W % Opt
1	1,639	18.80
2	1,750	16.20
3	1,648	16.00
4	1,642	18.20
5	1,548	21.00

3.2.9 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (CBR) AASHTO T 193-99.

Material y equipo.

✓ Muestra de suelo:

La muestra de suelo secada al aire y el material que pasa el tamiz N°4 (4.75mm) con tres proporciones representativas de 6.8 kg (15 libras) cada una, en su totalidad 20.40 kg (44.90 libras).

✓ Moldes:

Tres moldes cilíndricos de 6" con su respectiva base y collarín.

✓ Papel filtro

✓ Martillo de compactación:

Para compactar la muestra ocupe un martillo apisonador de 10 lb.

✓ Disco espaciador.

✓ 3 placas de hinchamiento con un vástago ajustable.

✓ 3 trípodes, tres indicadores (deformímetros).

✓ Pesos para sobrecarga en forma de anillo con un agujero al centro.

✓ Regla enrazadora:

La cual debe ser metálica con borde biselado.

✓ Balanza

Una balanza con 0.1 g y 1 g de precisión.

✓ Horno de secado:

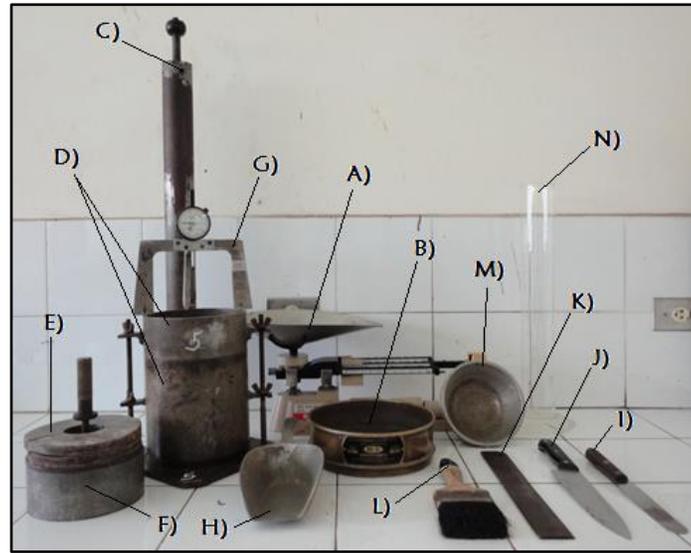
Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

✓ Pistón de penetración.

✓ Tamiz N° 4.

✓ Bandeja para mezclar la muestra

✓ Misceláneos: cucharón, cuchillo, espátula, piseta además guantes de hule, probetas de vidrio, vernier, brocha y bolsas plásticas para mantener las muestras y que estas no pierdan humedad.



Fotografía 3.42 Equipo: A) Balanza B) Malla No 4 C) Martillo o apisonador D) Molde con su base y collarín E) Contrapesos F) Disco espaciador G) Deformimetro H) Cucharon I) Espátula J) Cuchillo K) Regla enrazadora L) Brocha M) Recipiente para humedad N) Probeta

- **Determinación del volumen y peso del molde de compactación:**

Mida cuatro veces el diámetro de cada uno de los tres moldes de compactación tanto en la parte superior e inferior del mismo utilizando un vernier (pie de rey) con una precisión de 0.01 pulgadas (obteniendo un promedio), además determine y registre la masa del molde con la base sin collarín con una balanza de 1 g de precisión, por último, mida la altura del molde más disco espaciador en la parte superior al menos cuatro veces a lo largo de su contorno utilizando un vernier. El promedio de las alturas regístrela como la altura del molde.

- **Preparación de la muestra de ensayo:**

Seque al aire la muestra del suelo y que esta alcance una humedad adecuada, luego desmenuce todo los grumos existentes utilizando un mortero y pistilo (si es necesario), de manera que se reduzca el tamaño de las partículas para seleccionar una cantidad representativa para ser tamizada en la malla N° 4 descartando el material retenido en ella. Utilice una balanza con legibilidad de 1 g y pese tres muestras de 6.8 kg correspondiente a cada molde (10, 25 y 56 golpes) y deposite en una bolsa para evitar perdida de humedad.

Mediante la humedad óptima, la cual se obtiene en el ensayo Proctor y por medio del cálculo correspondiente determine la cantidad de agua a añadir para cada una de las muestras a compactar. Luego mezcle el suelo con el agua hasta lograr una distribución uniforme de las partículas, posteriormente deposite en las bolsas correspondientes para evitar así la pérdida de agua y así deje reposando por un mínimo de 16 horas, para que el suelo se hidrate de forma homogénea.



Fotografía 3.43 Secando al aire la muestra de suelo para ensayo



Fotografía 3.44 Mezclando el suelo al añadirle agua para obtener un suelo homogéneo

- **Compactación de la muestra:**

Empalme la placa en el molde con el collarín y asegure correctamente, luego coloque el molde en una superficie plana y rígida para realizar el ensayo sin ningún tipo de alteraciones, dentro del molde inserte el disco espaciador y encima de este el papel filtro, inmediatamente coloque el suelo anteriormente preparado hasta crear una capa de espesor que cubra la quinta parte de dicho molde. Posteriormente compacte el suelo utilizando un martillo apisonador, déjelo caer desde la altura de la manga y proporcione 10, 25 y 56 golpes distribuidos uniformemente dentro del molde por cada capa (5 capas en total).

Una vez que se compacten las cinco capas, remueva el collarín de extensión y utilice la regla enrazadora para cortar las irregularidades del suelo, enrace con la parte superior del molde. Quite el disco espaciador y coloque el papel filtro en la placa base además invierta el molde con el suelo compactado. Luego obtenga la masa de molde con su base más suelo

compactado, mediante una balanza con una precisión de 1 g. (Repita para los 2 moldes restantes, los pasos anteriores).



Fotografía 3.45 Compactación de las capas de suelo en el molde



Fotografía 3.46 Colocación de material para formar las capas de compactación

- **Proceso de saturación:**

Coloque la placa de hinchamiento con el vástago y las contrapesas en la muestra de suelo compactado en el molde. Ubique el trípode con el indicador del dial (deformímetro) arriba del molde, sumerja el molde en una pila para permitir el acceso libre del agua encima y al fondo del espécimen.

Durante la saturación, mantenga sumergido el molde, y tome la primera lectura en el momento de sumergirlo y a cada 24 horas. Saturando el espécimen durante 96 horas (4 días) calcule el hinchamiento.

Saque los especímenes de la pila de saturación, decante cada molde durante al menos 15 minutos hasta que estos se escurran teniendo mucho cuidado para no alterar la superficie del suelo compactado. Seque bien el molde y determine la masa del espécimen saturado y registre el dato.



Fotografía 3.47 Moldes de compactación sumergidos para obtener el hinchamiento



Fotografía 3.48 Obtención del peso saturado de la muestra compactada

- **Proceso de penetración:**

Se coloca el molde con el suelo compactado en Máquina Marshall manual y también se colocan las sobrecargas de pesos anulares igual a los usados durante la saturación. Para evitar el desplazamiento de los suelos blandos, asiente el pistón de penetración y fije el indicador del dial (deformímetro) de penetración y el indicador de la carga en cero.

Luego configure la velocidad de penetración 1.27 mm/min a la máquina Marshall para que así se introduzca al suelo compactado. Registre la carga cuando las deformaciones sea (0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 y 0.500 pulg).

Cuando el pistón penetre 0.5 pulgadas detenga el funcionamiento de la máquina Marshall manual y retire el espécimen. Luego determine la masa del espécimen penetrado y registre el dato, finalmente extraer 2 muestras para calcular la humedad del suelo (compactado, saturado y penetrado, aproximadamente 100 g. (Repita para los 2 moldes restantes, los pasos anteriores).



Fotografía 3.49 Molde colocado listo para la penetración en la Máquina Marshall manual



Fotografía 3.50 Obtención de la carga aplicada en KN en la pantalla del control de mando

A continuación se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos en el ensayo del valor de soporte de california (CBR) realizados a cada una de las muestras de suelo natural.

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-7.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DE PRUEBA DEL VALOR DE
 SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/6
 SONDEO No. 1-5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1-5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-23 Sep. 2016

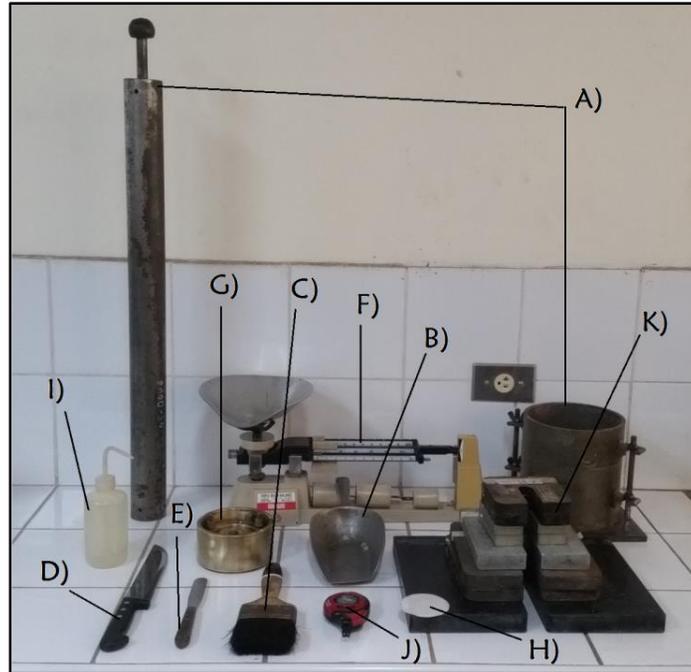
PRUEBA DE RELACION DE SOPORTE DEL SUELO

N° de muestra	N° de golpes						Hinchamiento total (pulg)			γ_d Máxima Proctor (Kg/m ³)	C.B.R al 95% densidad máxima Proctor
	56		25		10		56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes		
	CBR %	γ_d (Kg/m ³)	CBR %	γ_d (Kg/m ³)	CBR %	γ_d (Kg/m ³)					
1	2.33	1,630.83	1.16	1,445.99	1.18	1,296.44	0.472	0.782	0.464	1,639	1.93
2	2.13	1,695.01	1.81	1,558.04	0.87	1,373.44	0.410	0.391	0.325	1,750	1.17
3	4.39	1,757.67	2.47	1,635.29	1.54	1,423.45	0.207	0.335	0.38	1,648	2.07
4	4.22	1,756.61	4.35	1,651.00	2.66	1,477.38	0.201	0.184	0.154	1,642	3.66
5	3.26	1,716.17	2.97	1,592.12	2.65	1,466.55	0.215	0.216	0.192	1,548	2.67

3.2.10 DETERMINACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS ASTM D 2435-96.

Material y Equipo:

- ✓ Muestra de suelo: debe ser representativa y estar a humedad óptima obtenida en laboratorio por el ensayo de Proctor ASTM T 180-01 (un total de 3 kg),
- ✓ Un martillo apisonador: de 10 lb y con su respectivo molde (collarín y base) de 4" de diámetro
- ✓ Una regla enrazadora: la cual debe ser metálica con borde biselado
- ✓ Una balanza con 0.01 g y 1 g de precisión
- ✓ Horno de secado capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 ° C
- ✓ Tamiz N° 4
- ✓ Bandeja para mezclar la muestra
- ✓ Cuchillo
- ✓ Espátula
- ✓ Piseta
- ✓ Guantes de hule
- ✓ Probetas de vidrio
- ✓ Vernier
- ✓ Brocha y bolsas plásticas para mantener las muestras y que estas pierdan humedad,
- ✓ Pesas para la aplicación de las cargas,
- ✓ Cronometro
- ✓ Termómetro
- ✓ Indicador de la deformación (deformimetro)
- ✓ Papel filtro
- ✓ El consolidometro (que contiene las piedras porosas superior e inferior, anillo de consolidación, distribuidor de presión, depósito de agua y el aro de fijación)
- ✓ y El banco de consolidación (con su marco de carga, contrapeso y su varilla colgante para sostener las pesas).



Fotografía 3.51 Equipo: A) Martillo apisonador con su collarín y base B) Cucharon C) Brocha D) Cuchillo E) Espátula F) Balanza G) Consolidómetro H) Papel filtro I) Piseta J) Cronómetro K) Pesas para etapa de carga

Procedimiento:

Primeramente, determine la masa del anillo de consolidación utilizando una balanza de 0.01 g de precisión. Además, tome cuatro medidas de la altura y el diámetro del anillo de consolidación y registre los datos como altura inicial y el diámetro inicial del espécimen respectivamente.

Para la preparación del espécimen de la muestra de suelo que es alterada, se utiliza la técnica de compactación de Proctor AASHTO T 180-01 así como también la humedad óptima encontrada para el tipo de suelo.

Luego corte el suelo adelgazando el diámetro suavemente con el frente de los bordes cortantes del anillo, avance en el corte verticalmente a una pequeña distancia para formar el diámetro final del espécimen y prosiga hasta que este penetre en el anillo y sobresalga ligeramente.

Corte los bordes del espécimen nivelándolos con los extremos planos del anillo, esto es; reduciendo ligeramente el espécimen desde abajo hacia arriba en la parte superior del anillo y posteriormente un recortado en la parte inferior de este.

Cuando tenga el espécimen preparado entonces determine la masa húmeda inicial de la muestra de suelo con el anillo de consolidación, además del material sobrante tome una cantidad considerable para determinar la humedad del suelo en el anillo.



Fotografía 3.52 Moldeando el suelo a imagen del anillo de consolidación



Fotografía 3.53 Probeta moldeada al anillo solo de cortar horizontalmente

- **Colocación del espécimen en el consolidometro**

Ensamble el consolidometro colocando el disco poroso inferior, un filtro en la base y sobre éste el anillo conteniendo el espécimen, posteriormente se coloca un filtro en la parte superior del espécimen y el disco poroso superior sobre él además asegure el aro de fijación para evitar que el disco sufra movimientos bruscos y así alteraciones.



Fotografía 3.54 Colocación de los tornillos del aro de sujeción del espécimen de suelo



Fotografía 3.55 Partes que contemplan el consolidometro

- **Montaje del consolidometro en el banco de consolidación**

Coloque el conjunto (consolidometro + espécimen) en el banco de consolidación, teniendo el cuidado de que el marco de carga este elevado y permita una libre maniobra. Coloque también el indicador de deformación en su posición, de maneta que el vástago tenga suficiente recorrido.

Coloque el marco de carga sobre el consolidometro y al mismo tiempo verifique que el extremo de la palanca en el que se colocan las pesas quede ligeramente por encima de su posición horizontal, luego aproxime el indicador de deformación hasta que haga contacto con la cabeza del tornillo de marco de carga.



Fotografía 3.56 Colocación del consolidometro en el centro del marco de consolidación



Fotografía 3.57 Fijación de tornillos del marco de carga y colocación del deformimetro

Realización del ensayo

- **Etapa de Saturación**

Anote la fecha y hora de inicio de la realización del ensayo, inunde el espécimen y gire el sujetador para que quede libre el brazo de palanca y así observar el indicador de deformación durante la inundación. Registre las lecturas tiempo-deformación y temperatura a los intervalos de tiempo de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, y 1, 2, 4, 8 y 24 horas.

- **Etapa de Carga**

Anote fecha y hora, lectura del indicador y temperatura del agua contenida en el consolidometro. Posteriormente llene con agua el consolidometro de manera que quede cubierto el disco poroso superior.

Seleccione uno de los dos métodos para realizar el ensayo, cuando ya ha selecciona el método coloque cuidadosamente una pesa en la varilla colgante e inmediatamente ponga en marcha el cronometro, registrando los cambios en la altura del espécimen, aproximadamente en los intervalos de tiempo de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, y 1, 2, 4, 8 y 24 horas para cada presión aplicada.

Luego coloque cuidadosamente la nueva carga en la varilla colgante, después de transcurridas las 24 horas o cuando la variación entre dos lecturas sea bastante pequeña, este procedimiento descrito anteriormente se repite hasta completar todos los incrementos de carga.



Fotografía 3.58 Etapa de carga (primer incremento de carga en las varillas colgantes)



Fotografía 3.59 Etapa de carga (último incremento de carga en las varillas colgantes)

- **Etapa de Descarga**

Registre y anote fecha, hora, lectura del indicador y temperatura del agua contenida en el consolidometro. Luego llene con agua el consolidometro de manera que quede cubierto el disco poroso superior. Reduzca la presión retirando las pesas colocadas en la varilla colgante e inmediatamente se pone en marcha el cronometro, registrando los cambios en la

altura del espécimen, aproximadamente en los intervalos de tiempo de 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15 y 30 minutos, y 1, 2, 4, 8 y 24 horas para cada presión aplicada. Luego retire cuidadosamente la nueva carga en la varilla colgante, después de transcurridas las 24 horas o cuando la variación entre dos lecturas sea bastante pequeña, este procedimiento descrito anteriormente se repite hasta completar todos los ciclos de descarga.



Fotografía 3.60 Etapa de descarga (primer decremento de carga en las varillas colgantes)



Fotografía 3.61 Toma de lecturas del deformímetro en la etapa de descarga

Al completar la etapa de descarga proceda a desmontar el consolidómetro del banco de consolidación abriendo con mucho cuidado el aro de fijación y luego quitando las piedras porosas dejando solamente el anillo de consolidación para obtener su masa saturada y así dejándolo en el horno para obtener su masa seca.



Fotografía 3.62 Desmonte del consolidómetro



Fotografía 3.63 Obtención de la masa seca del espécimen de suelo con el anillo de consolidación

A continuación, se presenta una tabla resumen con los valores obtenidos en el ensayo de consolidación realizada a cada una de las muestras de suelo natural.

Nota: para obtener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO A-8.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA			
	CUADRO RESUMEN DE ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS ASTM D 2435-96			
PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1	
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/1	
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laboratorista:	Grupo de Tesis	
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis	
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	24/10 al 6/11 2016	

Carga de Pre consolidación = 150 kPa								
Descripción	T °C	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H ₀ (mm)	e = 2H - 2H ₀ / 2H ₀	t 90 (seg)	Cv (cm ² /seg)
	0	0.000	0.0000	20.000	7.0430	0.544		
Saturación	24	0.000	-8.0525	28.0525	15.0955	1.165		
1ra Carga	24	31.270	1.2700	26.7825	13.8255	1.067	10	0.6375
2da Carga	23	62.370	1.3525	25.4300	12.4730	0.963	10	0.5779
3ra Carga	24	124.890	1.0425	24.3875	11.4305	0.882	10	0.5261
4ta Carga	24	249.350	1.1975	23.1900	10.2330	0.790	10	0.4799
5ta Carga	24	497.680	1.2500	21.9400	8.9830	0.693	11	0.3925
6ta Carga	24	994.690	1.2700	20.6700	7.7130	0.595	15	0.2566
1ra Descarga	24	497.680	0.1000	20.7700	7.8130	0.603		
2da Descarga	24	249.350	0.1950	20.9650	8.0080	0.618		
3ra Descarga	24	0.000	2.0350	23.0000	10.0430	0.775		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION
 UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24/10 al 6/11 2016

Carga de Pre consolidación = 83 kPa								
Descripción	T °C	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H _o (mm)	e = 2H - 2H _o / 2H _o	t 90 (seg)	Cv (cm ² /seg)
	0	0.000	0.0000	20.000	7.1800	0.560		
Saturación	24	0.000	-9.3825	29.3825	16.5625	1.292		
1ra Carga	24	31.580	2.1600	27.2225	14.4025	1.123	10	0.6793
2da Carga	23	62.960	0.4325	26.7900	13.9700	1.090	15	0.4123
3ra Carga	24	125.680	1.1200	25.6700	12.8500	1.002	11	0.5304
4ta Carga	24	250.940	1.2525	24.4175	11.5975	0.905	8	0.6648
5ta Carga	24	500.750	1.2950	23.1225	10.3025	0.804	10	0.4791
6ta Carga	25	1000.200	1.2975	21.8250	9.0050	0.702	15	0.2855
1ra Descarga	24	500.750	0.0975	21.9225	9.1025	0.710		
2da Descarga	24	250.650	0.1925	22.1150	9.2950	0.725		
3ra Descarga	24	0.000	2.2525	24.3675	11.5475	0.901		

3.3 SELECCIÓN DE LA MUESTRA A ESTABILIZAR.

Una vez conocidas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural, se prosigue a seleccionar la muestra más desfavorable del lugar de estudio para su posterior estabilización. Esta selección se hace en base a la plasticidad del suelo, siendo este uno de los principales factores por los que falla una estructura.

En el cuadro resumen de la sección 3.2.3 la muestra que presenta un mayor índice de plasticidad es la muestra N°1, y por esta razón es la muestra seleccionada para desarrollar el proceso de estabilización.

3.4 SELECCIÓN DEL AGENTE ESTABILIZANTE.

La selección del mejor agente estabilizante en base a algunas de las propiedades del suelo es de mucha importancia, porque se tiene un aprovechamiento máximo de las mejoras del suelo al ser tratado con el estabilizante adecuado, y se evita la utilización de otros agentes que puedan producir resultados desfavorables. El siguiente procedimiento servirá en la selección del mejor agente estabilizador de acuerdo a los criterios para la ESTABILIZACION DE SUELOS PARA PAVIMENTO, Technical Manual No. 5-822-14. Air Force Manual No. 32-1019. Headquarters, Departments of the Army, and the Air Force Washington, D.C. 25 October 1994.

El factor más importante a considerar en la selección del agente estabilizante, es el tipo de suelo. La selección del agente estabilizante se hace usando la figura 3.3 y la tabla 3.5. El triángulo de la granulometría del suelo en la figura 3.3 está basado en las características de tamaño de partículas de los suelos y en las características de pulverización. El proceso de selección del estabilizante se continúa con la tabla 3.5 como se indica para cada área mostrada en la figura 3.3.

Las restricciones se basan en la granulometría y en el índice de plasticidad (IP), se usa la segunda columna de la tabla 3.5; en esta, se enlistan los símbolos para la clasificación de suelos que se aplica para cada área determinada por la figura 3.3, esto se hace para verificar que el área seleccionada es la apropiada, y debido a ello, la distribución granulométrica y los límites de Atterberg son usados para iniciar el proceso de selección.

Los datos que se requieren para entrar a la figura 3.3 son:

Porcentaje de material que pasa la malla No 200 y el porcentaje de material que pasa la malla No 4 pero que se retiene en la malla No 200.

Al triangulo se entra con estos dos valores y donde se intercepten esa es el área (1A, 2A, 3, etc.).

El área determinada por la figura 3.3 y el suelo clasificado se encuentra en la segunda columna de la tabla 3.5.

El posible agente estabilizador del suelo se encuentra en la tercera columna y las restricciones para el uso del agente estabilizante considerado se encuentran en columna 4 y 5 del mismo cuadro informativo.

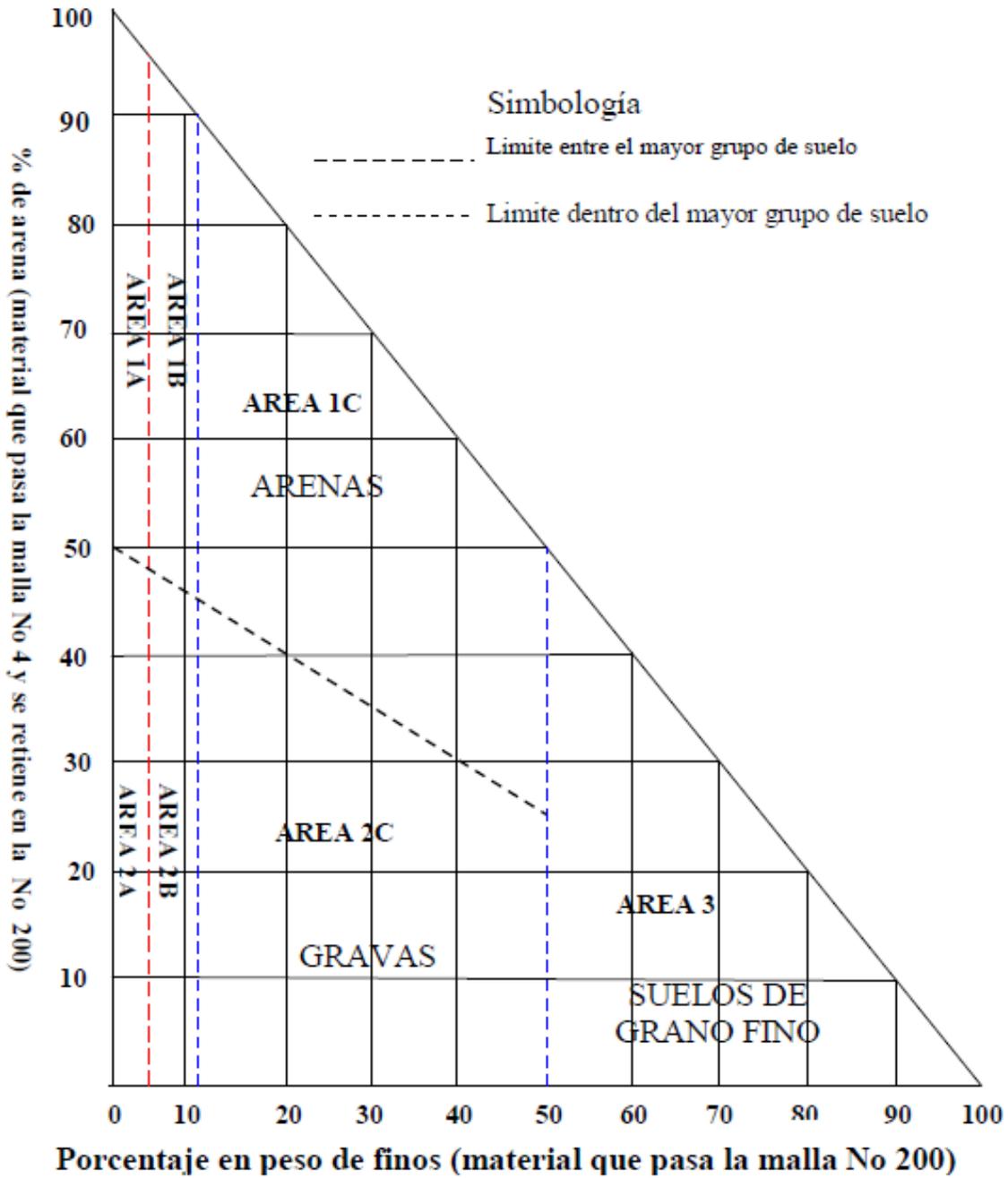


Figura 3.3 Triangulo de graduación para seleccionar el agente estabilizante más apropiado
Fuente: *SOIL STABILIZATION FOR PAVEMENTS, Technical Manual No. 5-822-14, Air Force Manual No. 32-1019. Headquarters, Departments of the Army and the Air Force Washington, D.C. 25 October 1994.*

Área	Clase de Suelo	Tipo de estabilizante aditivo recomendado	Restricción en el límite líquido e índice plástico del suelo	Restricción para el porcentaje que pasa la malla No. 200	Observaciones
1ª	SW, SP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil	Índice Plástico < 25		
1B	SW-SM SP-SM SW-SC SP-SC	(1) Asfaltos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil	Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 30 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25		
1C	SM,SC SM-SC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil	Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25	No exceda en 30% en peso	
2ª	GW, GP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil	Índice Plástico < 25		
2B	GW-GM GP-GM GW-GC GP-GC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil	Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 30 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25		Solamente Material bien graduado y que contenga hasta 45% en peso de material que pasa la malla No.4
2C	GM, GC, GM-GC	(1) Asfaltos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-cemento-ceniza volátil	Índice Plástico < 10 Índice Plástico < 12 Índice Plástico < 25	No exceda en 30% en peso	Solamente Material bien graduado y que contenga hasta 45% en peso de material que pasa la malla No.4
3	CH, CL, MH, ML, OH, OL, ML-CL	(1) Cemento Portland (2) Cal	Límite Líquido < 40 Índice Plástico < 20 Índice Plástico > 12		Solamente Material bien graduado y que contenga hasta 45% en peso de material que pasa la malla No.4

Tabla 3.5 Selección del agente estabilizador.

Fuente: SOILSTABILIZATION FOR PAVEMENTS, Technical Manual No. 5-822-14. Air Force Manual. Headquarters, Departments of The Army, and the Air Force Washington, D.C. 25 October 1994.

Para el análisis del suelo en esta investigación clasificado como CH, con 100% que pasa la malla No.4 y 84.84% que pasa la malla No.200, con un límite líquido de 75% y límite plástico de 30%. Se tiene que el 15.16% del material está entre la malla No.4 y la malla No. 200 y el índice plástico es 35%.

Entrando a la figura 3.3 con los valores de 84.84% que pasa la malla No.200 y 15.16% entre la No.4 y No.200, la intersección de estos valores se encuentra en el área 3.

Con esto se va a la columna de la tabla 3.5 y se encuentra el área 3 y se verifica la clasificación del suelo, CH, en la segunda columna.

En la tercera columna se encuentran los agentes estabilizantes que se pueden usar para ese suelo en particular. Además de tomar en cuenta las restricciones que se presentan en las siguientes columnas.

Para propósitos de esta investigación se elige la cal como agente estabilizador. Utilizando cal hidratada refinada tipo especial según la norma ASTM C 206 y C 207.

El siguiente paso consiste en establecer las premisas de comportamiento con las que el suelo deberá cumplir, dependiendo de las propiedades que se desee obtener en el suelo estabilizado, pues se pueden tener casos en los que se requiera evitar la aparición de canalizaciones por fallas plásticas, o bien evitar el desarrollo de cambios volumétricos por cambios de humedad o el aumento en la resistencia al desgaste, etc. funcionamiento de la estabilización y lo que es más, la aplicabilidad del método de diseño que se está exponiendo.

3.5 METODO DE EADES Y GRIM PARA LA DETERMINACION DE LA PROPORCION SUELO-CAL REQUERIDA PARA ESTABILIZAR EL SUELO (ASTM D 6276-99).

Este procedimiento se aplica para obtener el porcentaje óptimo de cal que requiere el suelo para su correcta estabilización química. Se utiliza para determinar el porcentaje más bajo de la cal que genere un pH de 12.4 en un suelo a estabilizar.

Procedimiento:

- **Preparación del suelo**

El suelo puede ser secado al aire o al horno a temperatura menor o igual a 60 grados centígrados (con humedad higroscópica).

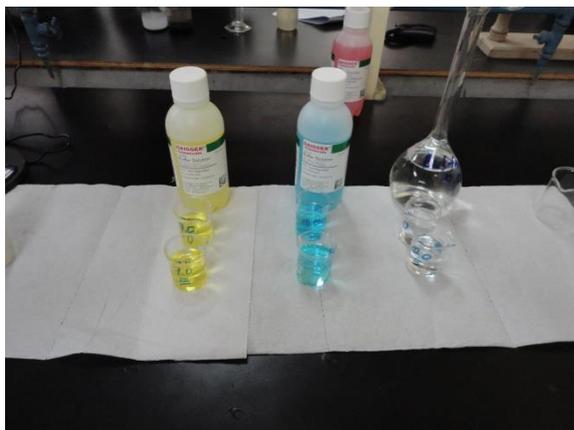
Obtenga 350 gramos de material que pase por tamiz No. 40.

Mezcle bien el material que pasa el tamiz de los 425 μ m (No. 40).

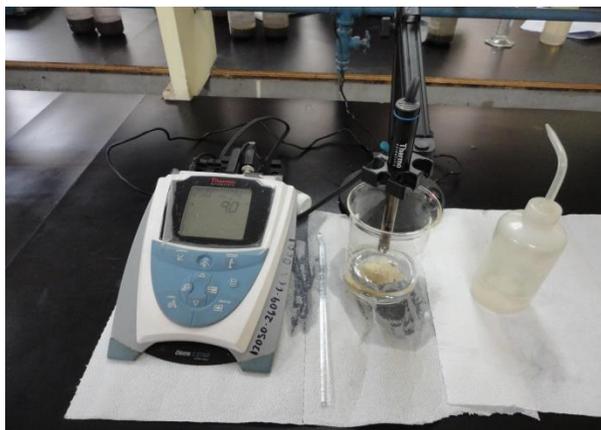
Determine el contenido en agua, de acuerdo con el método ASTM D 2216, en un espécimen representativo del material para verificar que el material se encuentra totalmente seco.

- **Calibración y estandarización de peachimetro.**

Calibrar el contador de pH de acuerdo con las instrucciones del fabricante usando solución búfer de pH 7, 10 y 12 a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$



Fotografía 3.64 Soluciones búfer estándar para la calibración del peachimetro



Fotografía 3.65 Calibración del electrodo dentro de la solución búfer

- **Preparación de Especímenes**

Con la muestra secada al horno, obtenga un mínimo de cinco especímenes, con un equivalente de 25.0g de suelo. Luego determine la masa de cada espécimen de 25.0g de suelo secado al aire o al horno de acuerdo a la siguiente formula:

$$Ma = 25 \times (1.0 + W/100)$$

Dónde:

Ma = masa del espécimen de suelo secado al aire o al horno, y

W = contenido de agua, de la muestra seca determinado.

Luego de obtener la masa de suelo ponga cada espécimen en botellas de plástico y tape herméticamente.

Obtenga las muestras representativas de cal junto con los especímenes de suelo en cantidades de 2, 3, 4, 5, 6...% de la masa de suelo secada al aire o al horno. La última muestra de cal deberá de ser de 2.0 g que representa una solución saturada de cal. coloque las muestras en las botellas de plástico y tápelas herméticamente.

Agregue a uno de los primeros cinco especímenes de suelo la cal en las botellas plásticas y tape firmemente, marque el porcentaje en la botella. Posteriormente agregue 100 ml de agua a cada una de las mezclas suelo-cal y a la botella que contiene solamente los 2.0g de cal.



Fotografía 3.66 Colocación de la cal dentro del recipiente con suelo



Fotografía 3.67 Colocación del agua a la mezcla suelo-cal

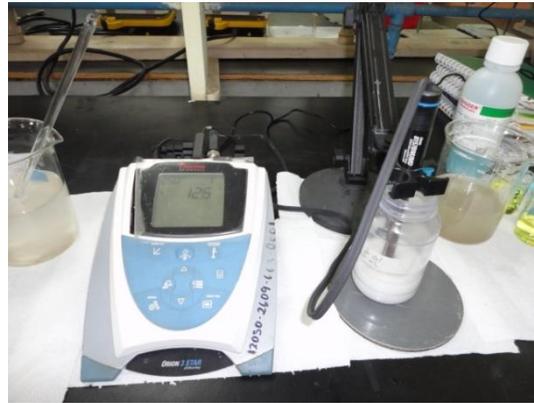
Agite cada una de las mezclas suelo-cal-agua, por un mínimo de 30s o hasta que los especímenes se mezclen homogéneamente. Continúe sacudiendo los especímenes por 30s cada 10 minutos durante 1 h.

En caso de ser necesario, caliente o enfríe el espécimen para mantener la temperatura del espécimen a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Dentro de los 15 minutos siguientes de terminado el proceso de mezclado de 1 hora, determine el PH en cada mezcla suelo-cal-agua y de la mezcla del cal-agua de 0.01 unidad del PH. Mantenga la temperatura de la mezcla en $25 \pm 1^\circ\text{C}$ al determinar el PH.



Fotografía 3.68 Medición del pH a la mezcla cal-agua



Fotografía 3.69 Medición del pH a la mezcla suelo-cal-agua

Registre el valor de PH para cada mezcla del suelo-cal-agua y para la mezcla cal-agua.

El ensayo fue realizado para muestras con contenidos de cal del 2 al 10% para fines de la investigación, obteniéndose los siguientes resultados:

Nota: para tener una mayor comprensión de los datos del pH con respecto al % de cal consultar el ANEXO B-1.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DEL ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE
LA PROPORCIÓN SUELO-CAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL PH
ASTM D 6276-99**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 11 Octubre 2016

DETERMINACION DEL PH DEL SUELO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CAL

N° de muestra	% de cal	Valor de pH
1	2%	11.10
2	3%	11.70
3	4%	12.00
4	5%	12.40
5	6%	12.40
6	8%	12.50
7	10%	12.50
Condición Saturada	100 %	12.60

3.6 ANÁLISIS DE LA MEZCLA SUELO-CAL.

Realizar todos los ensayos con el porcentaje óptimo de cal previamente determinado por el ensayo ASTM D 6276. Para este caso siendo de 5% en peso.

Estabilizar el suelo significa lograr aumentar su capacidad portante incidiendo en las mejoras de sus propiedades índices, tales como las detalladas en las secciones anteriores para suelo natural.

El uso de la cal en la estatización de suelos sigue el propósito general de mejorar las características naturales del suelo de modo que aumente su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito (esfuerzo de corte) y los cambios volumétricos en diferentes condiciones de clima.

La cal se adapta perfectamente en la mayoría de los casos para lograr resultados positivos, y su empleo suele ser conveniente por tratarse de un producto de costo moderado, de fácil manejo, así como de producción fácil y abundante.

3.7 ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA SUELO-CAL.

3.7.1 Determinación De Los Límites De Atterberg.

Aplicando el porcentaje óptimo de cal de 5% en peso (determinado en la sección 3.5) al suelo en estudio (muestra 1), se le realizan nuevamente los ensayos para la determinación de los límites de Atterberg, y verificar así la influencia que tiene la cal en este suelo.

El ensayo se realiza siguiendo los procedimientos que se describen en la sección 3.2.3

Los resultados obtenidos para este ensayo fueron los siguientes:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**CUADRO RESUMEN DE LA DETERMINACION DEL LIMITE,
 LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 26 Oct. 2016

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2		1	2
Muestra					
No de golpes					
No de recipiente					
Masa de recipiente					
Masa de suelo húmedo + recipiente	g				
Masa de suelo seco + recipiente	g				
Masa de agua	g				
Masa de suelo seco	g				
Contenido de agua	%				
Promedio					

LIMITES	
Líquido (LL)	
Plástico (LP)	
Índice de plasticidad (IP = LL - LP)	

NO PLASTICO

3.7.2 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS.

El ensayo se realiza siguiendo los procedimientos que se describen en la sección 3.2.4

Los resultados obtenidos para el ensayo de gravedad específica a la muestra seleccionada para estabilización son los siguientes:

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados de la gravedad específica consultar ANEXO B-2.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CUADRO RESUMEN DEL LA DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO POR EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA ASTM D 854-02

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>1/1</u>
SONDEO No.	<u>1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>SUELO-CAL</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>26 Oct. 2016</u>

VALOR DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SÓLIDOS

2.28

3.7.3 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS POR HIDROMETRÍA.

El ensayo se realizó siguiendo los procedimientos que se describen en la sección 3.2.5

Los resultados obtenidos para el ensayo granulométrico a la muestra seleccionada para estabilización son los siguientes:

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados de este ensayo consultar ANEXO B-3.



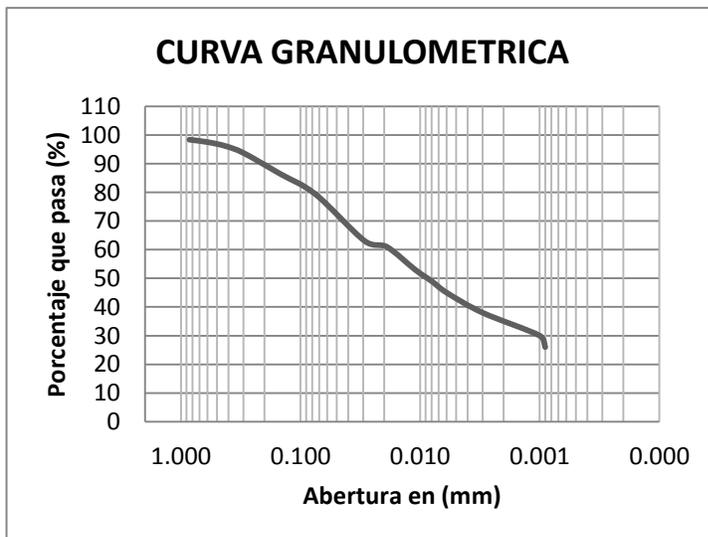
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CUADRO RESUMEN DEL ANALISIS GRANULOMETRICO E HIDROMETRICO ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/1
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	SUELO-CAL	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	30 Oct. 2016

Abertura en (mm)	Porcentaje que pasa (%)
2.000	100.00
0.850	98.38
0.600	97.53
0.425	96.15
0.300	93.74
0.150	86.59
0.075	79.33
0.029	63.00
0.019	61.00
0.011	53.00
0.008	49.00
0.006	45.00
0.003	38.00
0.001	30.00
0.0009	26.00



3.7.4 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD – DENSIDAD DE LA MEZCLA SUELO – CAL.

El ensayo se realiza siguiendo los procedimientos que se describen en la sección 3.2.8

Los resultados para el ensayo de relación Humedad – Densidad son los siguientes:

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO B-4.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CUADRO RESUMEN DE LA DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS AASHTO T 180-01

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>1/2</u>
SONDEO No.	<u>1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>SUELO-CAL</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>12 Oct. 2016</u>

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD

N° de muestra	γ_d (kg/m ³)	W % Opt
1	1,527	19.40

3.7.5 DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE RELATIVO (CBR) A LA MEZCLA SUELO – CAL.

El ensayo se realizó siguiendo los procedimientos que se describen en la sección 3.2.9

Los resultados obtenidos para el ensayo de valor de soporte de california realizados a la muestra de suelo-cal fueron los siguientes:

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO B-5.

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA</p>										
<p>CUADRO RESUMEN DE LA PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) AASHTO T 193-99</p>											
PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1								
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/6								
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis								
MUESTRA No.	SUELO-CAL	Elaboró:	Grupo de Tesis								
		Fecha de Ensayo:	24-28 Oct. 2016								
<p>PRUEBA DE SOPORTE DEL SUELO</p>											
Muestra	N° de golpes						Hinchamiento total (pulg)			γd Máxima Proctor (Kg/m ³)	C.B.R al 95% densidad máxima Proctor
	56		25		10		56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes		
	CBR %	γd (Kg/m ³)	CBR %	γd (Kg/m ³)	CBR %	γd (Kg/m ³)					
SUELO-CAL	115.48	1,576.00	61.26	1,476.42	33.74	1,352.78	0.003	0.007	0.009	1,527.00	54.00

3.7.6 DETERMINACIÓN DE LA CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS.

El ensayo se realiza siguiendo los procedimientos que se describen en la sección 3.2.10

Los resultados para la consolidación de suelos a la mezcla suelo – cal son los siguientes:

Nota: para tener una mayor comprensión sobre el origen de los resultados consultar ANEXO B-6.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA	
ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS ASTM D 2435-96		
PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No. <u>1</u>
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No. <u>1/1</u>
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laboratorista: <u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro:	3	Elaboró: <u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro:	0.0025	Fecha: <u>24/10 al 6/11 2016</u>

Carga de Pre consolidación = 230 kPa								
Descripción	T °C	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H ₀ (mm)	e = 2H - 2H ₀ / 2H ₀	t 90 (seg)	Cv (cm ² /seg)
	0	0.000	0.0000	20.000	6.0700	0.436		
Saturación	24	0.000	-0.0525	20.0525	6.1225	0.440		
1ra Carga	24	31.380	0.0925	19.9600	6.0300	0.433	6	0.5657
2da Carga	23	62.620	0.0300	19.9300	6.0000	0.431	12	0.2811
3ra Carga	23	125.700	0.0650	19.8650	5.9350	0.426	9	0.3730
4ta Carga	23	250.950	0.1025	19.7625	5.8325	0.419	10	0.3329
5ta Carga	23	501.470	0.1625	19.6000	5.6700	0.407	8	0.4106
6ta Carga	24	1001.650	0.1925	19.4075	5.4775	0.393	12	0.2688
1ra Descarga	24	501.470	0.0300	19.3775	5.4475	0.391		
2da Descarga	24	250.950	0.0350	19.4125	5.4825	0.394		
3ra Descarga	24	0.000	0.1550	19.5675	5.6375	0.405		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24/10 al 6/11 2016

Carga de Pre consolidación = 230 kPa								
Descripción	T °C	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H _o (mm)	$e = 2H - 2H_o / 2H_o$	t 90 (seg)	Cv (cm ² /seg)
	0	0.000	0.0000	20.000	7.8100	0.641		
Saturación	24	0.000	-0.0675	20.0675	7.8775	0.646		
1ra Carga	24	31.420	0.0550	20.0125	7.8225	0.642	9	0.3784
2da Carga	23	62.880	0.0325	19.9800	7.7900	0.639	15	0.2260
3ra Carga	23	125.530	0.0725	19.9075	7.7175	0.633	10	0.3373
4ta Carga	23	250.880	0.1250	19.7825	7.5925	0.623	18	0.1855
5ta Carga	23	503.190	0.1725	19.6100	7.4200	0.609	9	0.3655
6ta Carga	24	1004.500	0.2225	19.3875	7.1975	0.590	10	0.3224
1ra Descarga	23	503.190	0.0300	19.4175	7.2275	0.593		
2da Descarga	24	250.620	0.0325	19.4500	7.2600	0.596		
3ra Descarga	24	0.000	0.1400	19.5900	7.4000	0.607		

3.8 ANALISIS DE RESULTADO.

A continuación, se representa un análisis comparativo entre las propiedades índices del suelo natural y al suelo estabilizado con cal con el 5 % en peso.

3.8.1 LIMITES DE ATTERBERG.

Los valores de los límites de Atterberg indican la plasticidad de un suelo fino, donde se incorporan diferentes contenidos de humedad para el cual la consistencia cambia de un estado a otro. Los resultados del suelo en estado natural mostrados en la sección 3.2.3 y en la sección 3.2.7 indican que el suelo es una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) debido a un índice de plasticidad del 45%, un límite líquido de 75% y un límite plástico de 30%. Por otra parte el estudio de los límites a la muestra suelo-cal indican que este suelo se transforma a un suelo no plástico debido a las reacciones químicas que transfiere la cal a este y eliminando totalmente su plasticidad.

3.8.2 GRANULOMETRÍA POR LAVADO.

Es de mucha importancia realizar las pruebas de clasificación para saber con qué material se está trabajando. Por lo que se optó llevar a cabo el ensayo para la determinación del tamaño de las partículas por hidrometría. Al realizar el ensayo se verifico que el material que se obtuvo fue un suelo fino ya que paso el 84.84% del material por la malla No 200, como se muestra en la sección 3.2.5. En cuanto a la muestra suelo-cal se obtuvo el resultado de 79.33% del material que pasa dicha malla (ver sección 3.7.3), presentado así un suelo con características similares al suelo en estado natural, reduciendo únicamente un 5.51% de partículas finas.

3.8.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS.

Los resultados de la gravedad específica de un suelo dan una medida relativa de la densidad de un elemento y depende de la concentración de masa por unidad de volumen de cada elemento. El valor obtenido en la muestra en estado natural fue de 2.43 (ver sección 3.2.4), y en la mezcla

suelo-cal dando un resultado de 2.28 como se muestra en la sección 3.7.2 reduciendo así un 6.17% con respecto a la muestra en estado natural.

3.8.4 RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD (PROCTOR).

El objetivo de la prueba es determinar el contenido de humedad óptimo que requiere el material para desarrollar el peso específico seco máximo, para el suelo en estudio se obtuvo una densidad seca máxima de $1,639 \text{ kg/m}^3$ y una humedad optima de 18.80% mostrados en la sección 3.2.8, mientras que la mezcla suelo-cal la densidad seca máxima fue de $1,527 \text{ kg/m}^3$ y una humedad optima del 19.40% (ver sección 3.7.4). El descenso de la densidad seca máxima es debido por una parte al menor peso específico del aditivo empleado en relación al del suelo y por otra parte a las interacciones físico químicas que se producen entre estos y las partículas del suelo, y el incremento de la humedad optima se genera por la demanda de agua que requiere la hidratación de la cal.

3.8.5 VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R).

Este ensayo sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, en los resultados obtenidos del suelo en su estado natural posee un valor de CBR de 1.93 % como se muestra en la sección 3.2.9, lo que lo convierte en un suelo inadecuado o marginal para formar parte de la subrasante de un pavimento rígido. La adición de cal produce importante incremento en la capacidad portante del suelo estudiado haciendo de este un aditivo adecuado para la estabilización. Para este estudio la adición del 5% de cal en peso genero un CBR de 54.00 % (ver sección 3.7.5), convirtiéndolo así en un material apto para ser parte de la estructura de un pavimento rígido como capa subrasante. Por otra parte en cuanto a los hinchamientos del suelo en estado natural en el periodo de la saturación se registraron los resultados de 0.472, 0.782 y 0.464 pulg, para los moldes compactados en 56, 25 y 10 golpes respectivamente y para los moldes compactados de 56, 25 y 10 golpes de la mezcla suelo-cal su hinchamiento fue de 0.003, 0.007 y 0.009 pulg respectivamente, se puede observar que la reacción de la cal y sus propiedades favorecen al suelo para que no sufra hinchamiento, la muestra de la mezcla suelo-cal

hinchó el 2 % de lo que lo hace el suelo en estado natural, reduciendo así en un 98 % el hinchamiento con respecto a la muestra sin tratar.

3.8.6 CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.

El fenómeno de consolidación, se origina debido a que si un suelo parcial o totalmente saturado se carga, en un comienzo el agua existente en los poros absorberá parte de dicha carga puesto que esta es incompresible, pero con el transcurso del tiempo, escurrirá y el suelo irá absorbiendo esa carga paulatinamente. Este proceso de transferencia de carga, origina cambios de volumen en la masa de suelo, iguales al volumen de agua drenada.

En base a los datos obtenidos en las secciones 3.2.10 y 3.7.6, se puede observar que en las muestras ensayadas en la etapa de saturación hay un incremento en la relación de vacíos debido a la característica que tienen las arcillas de expandirse al entran en contacto con el agua. También se puede observar que al aumentar la presión en el suelo la relación de vacíos disminuye debido a que el agua va siendo expulsada de los espacios vacíos; mientras que ocurre lo contrario cuando se retiran las presiones del suelo. Para la muestra en estado natural se obtiene un promedio en la relación de vacíos en la etapa de saturación de 1.2285, en la etapa de carga de 0.6485 y en la descarga de 0.838. Mientras que a la muestra estabilizada con cal se obtuvo una relación de vacíos en la etapa de saturación de 0.543, en la etapa de carga de 0.4915 y en la descarga de 0.506.

El hinchamiento promedio para el suelo natural es de 3.6838 mm mientras tanto para la muestra estabilizada es de 0.4212 mm. En la carga de pre consolidación se tiene para el suelo natural un promedio de 116.5 kPa y para la muestra estabilizada es de 230 kPa.

De esta manera se verifican las mejoras que tiene la adición de cal a las propiedades de un suelo plástico, debido al proceso de intercambio iónico y una reacción puzolánica que se manifiestan en la reducción de la plasticidad, disminuye el hinchamiento y reduce la relación de vacíos.

El conjunto de reacciones entre la cal y las partículas de arcilla sirven no solo para reducir el nivel de humedad en las mismas, sino incluso para fijar este nivel de humedad de una manera

más estable y evitar su reducción o aumento ante aportes externos. Con ello se reduce el riesgo de que esta reducción o incremento pueda tener en el volumen del suelo.

CAPITULO IV
DISEÑO DE
ESPESTORES DE
PAVIMENTO RÍGIDO

4.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Dentro de las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de estructuras de pavimento, es necesario analizar fundamentalmente la problemática que representa el comportamiento de los pavimentos debido al tránsito, ya que este se incrementa conforme el desarrollo tecnológico y crecimiento demográfico, lo que trae a su vez mayor cantidad de repetición de ejes y cargas. Por ello, es necesaria la selección de apropiados factores para el diseño estructural de los diferentes tipos de pavimentos, por lo que deben tomarse en cuenta la clasificación de la carretera dentro de la red vial, la selección de los diferentes tipos de materiales a utilizarse, el tránsito y los procesos de construcción.

4.1.1 SELECCIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO

Las propiedades de la subrasante, características de los materiales, importancia del tránsito, factores de medio ambiente y otro tipo de variables, son las que intervienen en el diseño de estructuras de pavimento. Muchas veces, para caminos y calles de menor importancia, la información no está disponible o actualizada, por lo que es necesario recabarla.

Algunos valores de diseño están especificados y pueden variar con el tipo de carretera o nivel de tránsito. Para tránsito pesado se han seleccionado valores más conservadores con resultado de espesores mayores. Por ejemplo, un valor de esfuerzo de diseño para la subrasante, puede resultar bajo para un tránsito pesado pero aceptable para un tráfico liviano.

Poco conocimiento de las características de la subrasante y las propiedades de otros materiales particularmente de la pavimentación, variarán su calidad y desempeño, lo que traerá como consecuencia un alto costo de mantenimiento; también la selección del tipo de base puede afectar el comportamiento del pavimento.

4.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO

En los procedimientos de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema de capas múltiples y los materiales de cada una de las capas se caracterizan por su propio Módulo de Elasticidad.

La evaluación de tránsito está dada por la repetición de una carga en un eje simple equivalente de 80 kN (18,000 lbs) aplicada al pavimento en un conjunto de dos juegos de llantas dobles. Para propósitos de análisis estas dobles llantas equivalen a dos platos circulares con un radio de 115mm espaciados 345mm centro a centro, correspondiéndole 80 kN o 18,000 lbs de carga al eje y 483 kPa o 70 PSI de presión de contacto sobre la superficie.

Este procedimiento puede ser usado para el diseño de pavimentos compuestos de varias combinaciones de superficies, bases y subbase. La subrasante que es la capa más baja de la estructura de pavimento, se asume infinita en el sentido vertical y horizontal; las otras capas de espesor finito son asumidas finitas en dirección horizontal. En la superficie de contacto entre las capas se asume que existe una completa continuidad o adherencia.

4.1.3 COSTOS DEL CICLO DE VIDA

En los procedimientos de diseño es necesario realizar un estudio de costo del ciclo de vida de las alternativas de pavimentos deseados, que le permitan al diseñador tomar una decisión sobre los tipos de pavimentos más convenientes a construir, tomando también en consideración las políticas de mantenimiento.

4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El procedimiento de diseño normal es suponer un espesor de pavimento e iniciar a realizar tanteos, con el espesor supuesto calcular los ejes equivalentes y posteriormente evaluar todos los factores adicionales de diseño, si se cumple en equilibrio en la ecuación el espesor supuesto es resultado del problema, de lo contrario de debe de seguir haciendo tanteos

Las variables de diseño de un pavimento rígido son:

- a) Espesor.
- b) Serviciabilidad
- c) Tránsito
- d) Transferencia de carga
- e) Propiedades del concreto
- f) Resistencia a la subrasante
- g) Drenaje
- h) Confiabilidad

a) Espesor

El espesor del pavimento de concreto es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que interviene en los cálculos.

b) Serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles.

El índice de serviciabilidad inicial (P_o) es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, para su e lección es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de esto depende la calidad del pavimento.

Usando buenas técnicas de construcción, el pavimento de concreto puede tener una serviciabilidad $P_o = 4.7$ ó 4.8 .

El índice de serviciabilidad final (Pt) tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil, o bien, el valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o la reconstrucción del pavimento.

Índice de serviciabilidad Inicial	4.5 para pavimentos rígidos
Índice de serviciabilidad final	2.5 o más para caminos muy importantes
	2.0 para caminos de tránsitos menores

Tabla 4.1 Índices de Serviciabilidad Inicial y Final.

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

c) Tránsito

El tránsito es una de las variables más significativas del diseño del pavimento y sin embargo es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse.

Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tráfico para el diseño, ya que de no ser así podríamos tener diseños inseguros o con un grado importante de sobre diseño.

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionada al número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circulan por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2Ton) también conocidos como ESAL's. Lo conducente es realizar los cálculos para el carril de diseño, seleccionado para estos fines por ser el que mejor representa las condiciones críticas de servicio de la calle o camino. Existen algunos factores que nos ayudan a determinar con precisión el tráfico que circula en el carril de diseño

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82kN en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Tabla 4.2 Porcentajes de Ejes Equivalentes.

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

ASTHO diseña los pavimentos por fatiga. La fatiga se entiende como el número de repeticiones ó ciclos de carga y descarga que actúan sobre un elemento. En realidad al establecer una vida útil de diseño, lo que estamos haciendo es tratar de estimar, en un periodo de tiempo, el número de repeticiones de carga a las que estará sometido el pavimento.

La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años, es común realizar diseños para 30, 40 ó más de 50 años. Otro factor que hay que tomar en cuenta es la tasa de crecimiento anual, que depende del desarrollo económico – social, de la capacidad de la vía, tipo de vehículo que pueden ser más de un tipo que de otro.

Es conveniente prever este crecimiento del tráfico, tomando en consideración una tasa de crecimiento anual con la que se calcula un factor de crecimiento de tráfico

Es importante investigar adecuadamente la tasa de crecimiento apropiada para el caso en particular que se esté considerando. A continuación se presentan algunos valores típicos de tasas de crecimiento, sin embargo estos pueden variar según el caso.

Caso	Tasa de crecimiento
Crecimiento Normal	1% - 3%
Vías completamente saturadas	0% - 1%
Con trafico inducido (solamente durante 3 años)	4% - 5%
Alto crecimiento (solamente durante 3 años)	mayor al 5%

Tabla 4.3 Valores comunes de tasas de crecimiento.

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

d) Transferencia de carga

También se conoce como coeficiente de transmisión de carga (J) y es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. Mientras mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

La efectividad de la transferencia de carga entre las losas adyacentes depende de varios factores:

- Cantidad de tráfico
- Utilización de pasa juntas
- Soporte lateral de las losas

La utilización de pasa juntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, por lo que se recomienda su utilización cuando:

- El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
- El número de ejes equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de ESAL's

Esta transferencia de cargas se realiza a través de los extremos de las losas (juntas o grietas) y su valor depende del tipo de pavimento, del tipo de borde u hombro y de la colocación de los elementos de transmisión de carga.

Tipo de pavimento	Hombro	
	Elemento de transmisión de carga	
	Concreto hidráulico	
	si	no
No reforzado o armado con juntas	2.5 - 3.2	3.6 - 4.2
Armado continuo	2.3 - 2.9	-

Tabla 4.4 Valores de coeficiente de transmisión, J.

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

e) Propiedades del concreto

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil.

- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)

- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión ($S'c$) o Módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Existe una prueba normalizada por la ASTM C 78 para la obtención del módulo de ruptura la cual consiste en aplicar carga a la viga de concreto en los tercios de su claro de apoyo (Figura 3.1). Se puede realizar otra prueba similar aplicándole carga el centro del claro; los resultados obtenidos son diferentes aproximadamente entre 15% a 20% mayores.

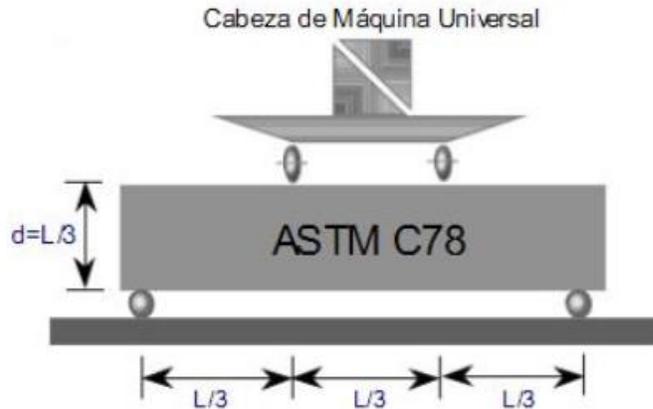


Figura 4.1 Prueba para la obtención del módulo de ruptura.
 FUENTE: *Diseño y conservación de pavimentos rígidos, 2004.*

En la siguiente tabla 4.5 se muestra el Módulo de Ruptura (MR) recomendado.

Tipo de pavimento	MR recomendado	
	kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas industriales	45.0	640.1
Urbanas principales	45.0	640.1
Urbanas secundarias	42.0	597.4

Tabla 4.5 Módulos de rupturas recomendados.
 FUENTE: *Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.*

AASHTO permite utilizar la resistencia a la flexión promedio que se haya obtenido del resultado de ensayos a flexión de las mezclas diseñadas para cumplir la resistencia especificada del proyecto.

$$MR \text{ promedio} = MR \text{ especificado} + Z_r \times (\text{desviación estándar del MR})$$

Siendo Z_r la desviación normal estándar.

Los valores típicos utilizados para la desviación estándar son:

	Promedio	
Concreto premezclado	6% a 12%	9.00%
Mezclado central	5% a 10%	7.50%

Tabla 4.6 Valores típicos de desviación estándar.

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

La desviación normal estándar (Z_r) define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un periodo de diseño.

A continuación se muestra en la tabla 4.7 la desviación normal estándar en función de la confiabilidad (R).

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar, Z_r	Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar, Z_r
50	-0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.881
80	-0.841	97	-2.054
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Tabla 4.7 Valores para Z_r en función de la Confiabilidad R.

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

El módulo de elasticidad del concreto (E_c) está relacionado con su módulo de ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. En su defecto correlacionarlo con otras características del material como puede ser su resistencia a la compresión (f'_c).

Esto es:

$$E_c = 21000f'_c{}^{1/2}$$

f) Resistencia a la subrasante

La resistencia a la subrasante se obtiene mediante el módulo de reacción del suelo (K) por medio de la prueba de placa.

El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento.

El valor del módulo de reacción se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D 1195 Y D 1196 (Figura 3.2). El resultado de la prueba indica la característica de resistencia que implica la elasticidad del suelo. Esto es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre las deformaciones correspondientes, producida por este esfuerzo. Dado que la prueba de placa es tardada y cara, el valor de k, es usualmente estimado por correlación a una prueba simple, tal como la Relación de Soporte de California (CBR). El resultado es válido ya que no se requiere una determinación exacta del valor de k; las variaciones normales de un valor estimado no afectan apreciablemente los requerimientos del espesor del espesor del pavimento.

Cuando se diseña un pavimento es probable que tenga diferentes valores de K a lo largo del tramo por diseñar, por lo que se recomienda utilizar el valor promedio de los módulos K para el diseño.

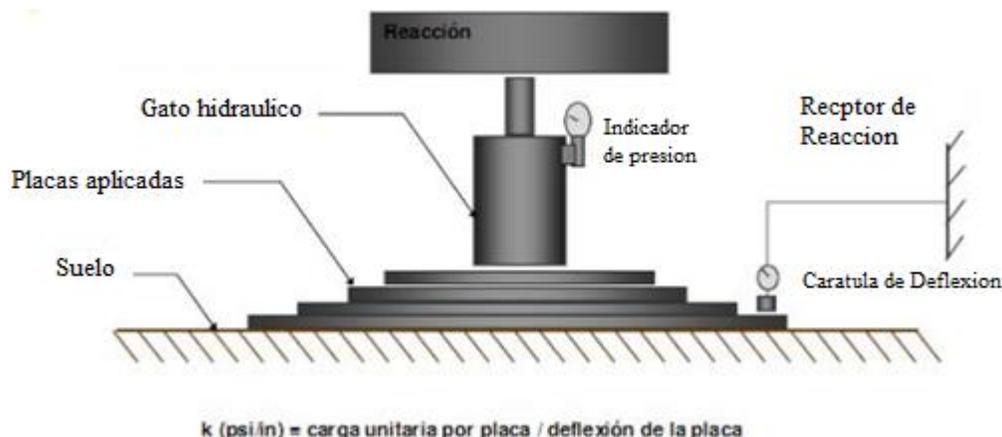


Figura 4.2 Esquema de la prueba de placa ASTM D 1195 y D 1196.
 FUENTE: *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*, 2004.

g) Drenaje

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje es un factor importante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil y por lo tanto en el diseño del mismo. Se puede evaluar mediante el coeficiente de drenaje (C_d) el cual depende de:

- Calidad del drenaje.

Viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.

- Exposición a la saturación.

Porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este valor depende de la precipitación media anual y de las condiciones del drenaje. Para el caso se definen varias condiciones del drenaje:

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarde el agua en ser evacuada
Excelente	El suelo libera el 50% de agua en 2 horas
Bueno	El suelo libera el 50% de agua en 1 día
Mediano	El suelo libera el 50% de agua libre en 7 días
Malo	El suelo libera el 50% de agua libre en 1 mes
Muy malo	El agua no se evacua

Tabla 4.8 Calidad del drenaje.

FUENTE: *Guía para diseño de estructuras de pavimentos*, AASHTO, 1993.

Combinando todas las variables que interviene para llegar a determinar el coeficiente de drenaje Cd, se llega a los valores de la siguiente Tabla:

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Mala	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tabla 4.9 Valores para el coeficiente de drenaje, Cd.
FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Es importante evitar que exista presencia de agua, dado que en caso de presentarse afectará en gran medida a la respuesta estructural del pavimento. El agua atrapada puede producir efectos nocivos como:

- Reducción de la resistencia de materiales granulares.
- Reducción de la resistencia de la subrasante.
- Expulsión de finos.
- Levantamientos diferenciales de suelos expansivos.
- Expansión por congelamiento del suelo

h) Confiabilidad

Los factores estadísticos que influyen en el comportamiento de los pavimentos son:

- Confiabilidad R
- Desviación estándar

La confiabilidad está definida como la probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante su vida útil en condiciones adecuadas para su

operación. Otra manera de interpretar este concepto sería aquella que la probabilidad de que los problemas de deformación y resistencia estén por debajo de los permisibles durante la vida de diseño del pavimento.

En la siguiente tabla se observa la confiabilidad recomendada en función del tipo de camino:

Clasificación del camino	Urbano	Rural
Autopistas	85% - 99.9%	80% - 99.9%
Arterias principales	80% - 99%	75% - 99%
Colectoras	80% - 95%	75% - 95%
Locales	50% - 80%	50% - 80%

Tabla 4.10 Valores recomendados del nivel de confianza atendiendo el tipo de camino.
FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

A confiabilidad puede relacionarse con un Factor de Seguridad y va asociada con la desviación estándar (S_o) ó también llamado error estándar. Este último representa el número de ejes que puede soportar el pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado índice de servicio final (P_t).

La desviación estándar (S_o) relacionada con la confiabilidad (R) se muestra a continuación:

Desviación Estándar (S_o)	Confiabilidad (R)					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0.30	1.00	1.19	1.44	1.79	2.42	3.12
0.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76
0.39	1.00	1.26	1.6	2.13	3.16	4.38
0.40	1.00	1.26	1.62	2.17	3.26	4.55

Tabla 4.11 Desviación estándar vs confiabilidad
FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

4.3 DISEÑO DE ESPESOR DE LA LOSA CONCRETO HIDRAULICO

4.3.1 ESPESOR UTILIZANDO SUBRASANTE EN ESTADO NATURAL

El diseño del espesor de la losa se hace utilizando los siguientes datos:

- Módulo de elasticidad del concreto 5.0×10^6 Psi

- Módulo de ruptura 640.1Psi
- Coeficiente de transferencia de carga 2.8
- Coeficiente de drenaje 1.0
- Desviación estándar 0.35
- Serviciabilidad inicial 4.5
- Serviciabilidad final 2.0
- Confiabilidad 95%
- CBR 1.93% (para el programa se utiliza el CBR de 2 % debido a que solo se pueden introducir números enteros).

Determinación del tránsito equivalente utilizando el TPDA de la Universidad de El Salvador FMO

a) Vía

La vía analizada está ubicada en la Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental, la cual es un camino urbano principal con 2 carriles de 3.00m.

b) Periodo de diseño

Para este proyecto se ha considerado como periodo de diseño 20 AÑOS.

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

Tabla 4.12 Periodo de diseño según tipo de carretera

FUENTE: *Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.*

c) Transito

Utilizar como tasa de crecimiento el valor de 2.0%

Considerar los siguientes volúmenes de tránsito, para el año 2016, en el análisis:

VEHICULO	ESQUEMA	TPDA	VEHICULO	ESQUEMA	TPDA
Auto		1,161	Microbus Mediano		85
Pick-Up		586	C-2		56

Figura 4.3 TPDA de la Universidad de El Salvador FMO

FUENTE: *Elaboración propia.*

d) Tipo de pavimento

Consistirá en losas de pavimento de concreto Hidráulico (Pavimento Rígido).

Método de diseño

- *AASHTO '93*

Calculando ESAL'S de diseño:

Parámetros para poder calcular el ESAL's de diseño:

Espesor estimado del pavimento: Se consideró de 12 pulgadas

Índice de Serviciabilidad Final (Pt): También se tendrá que elegir el valor del índice de Serviciabilidad final aceptable, de acuerdo con el “Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento”, en el cual para caminos muy importantes presenta un valor de 2.5.

Vehículo: Automóvil

Eje de dirección:

$$Peso = 1 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 2.2 \text{ Ton}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$2 \text{ kip} \rightarrow 0.0002$$

$$2.2 \text{ kip} \rightarrow LEF_1$$

$$4 \text{ kip} \rightarrow 0.002$$

$$\frac{2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip}}{4 \text{ kip} - 2 \text{ kip}} = \frac{LEF_1 - 0.0002}{0.002 - 0.0002}$$

$$LEF_1 = 0.0002 + (0.002 - 0.0002) \left(\frac{2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip}}{4 \text{ kip} - 2 \text{ kip}} \right)$$

$$LEF_1 = 0.00038$$

Eje de tracción:

$$Peso = 1 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 2.2 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$2 \text{ kip} \rightarrow 0.0002$$

$$2.2 \text{ kip} \rightarrow LEF_2$$

$$4 \text{ kip} \rightarrow 0.002$$

$$\frac{2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip}}{4 \text{ kip} - 2 \text{ kip}} = \frac{LEF_2 - 0.0002}{0.002 - 0.0002}$$

$$LEF_2 = 0.0002 + (0.002 - 0.0002) \left(\frac{2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip}}{4 \text{ kip} - 2 \text{ kip}} \right)$$

$$LEF_2 = 0.00038$$

Calculando factor de camión:

$$FC = LEF_1 + LEF_2$$

$$FC = 0.00038 + 0.00038$$

$$FC = \mathbf{0.00076}$$

Vehículo: Pick - Up

Eje de dirección:

$$Peso = 1 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 2.2 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$2 \text{ kip} \rightarrow 0.0002$$

$$2.2 \text{ kip} \rightarrow LEF_1$$

$$4 \text{ kip} \rightarrow 0.002$$

$$\frac{2.2\text{kip} - 2\text{kip}}{4\text{kip} - 2\text{kip}} = \frac{LEF_1 - 0.0002}{0.002 - 0.0002}$$

$$LEF_1 = 0.0002 + (0.002 - 0.0002) \left(\frac{2.2\text{kip} - 2\text{kip}}{4\text{kip} - 2\text{kip}} \right)$$

$$LEF_1 = 0.00038$$

Eje de tracción:

$$Peso = 3 \text{ Ton} \times \frac{2.2\text{Kip}}{1\text{Ton}} = 6.6 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$6 \text{ kip} \rightarrow 0.010$$

$$6.6 \text{ kip} \rightarrow LEF_2$$

$$8 \text{ kip} \rightarrow 0.032$$

$$\frac{6.6\text{kip} - 6\text{kip}}{8\text{kip} - 6\text{kip}} = \frac{LEF_2 - 0.010}{0.032 - 0.010}$$

$$LEF_2 = 0.010 + (0.032 - 0.010) \left(\frac{6.6\text{kip} - 6\text{kip}}{8\text{kip} - 6\text{kip}} \right)$$

$$LEF_2 = 0.0166$$

Calculando factor de camión:

$$FC = LEF_1 + LEF_2$$

$$FC = 0.00038 + 0.0166$$

$$FC = \mathbf{0.01698}$$

Vehículo: Microbús Mediano

Eje de dirección:

$$Peso = 4 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 8.8 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$8 \text{ kip} \rightarrow 0.032$$

$$8.8 \text{ kip} \rightarrow LEF_1$$

$$10 \text{ kip} \rightarrow 0.080$$

$$\frac{8.8 \text{ kip} - 8 \text{ kip}}{10 \text{ kip} - 8 \text{ kip}} = \frac{LEF_1 - 0.032}{0.080 - 0.032}$$

$$LEF_1 = 0.032 + (0.080 - 0.032) \left(\frac{8.8 \text{ kip} - 8 \text{ kip}}{10 \text{ kip} - 8 \text{ kip}} \right)$$

$$LEF_1 = 0.0512$$

Eje de tracción:

$$Peso = 8 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 17.6 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$16 \text{ kip} \rightarrow 0.599$$

$$17.6 \text{ kip} \rightarrow LEF_2$$

$$18 \text{ kip} \rightarrow 1.0$$

$$\frac{17.6 \text{ kip} - 16 \text{ kip}}{18 \text{ kip} - 16 \text{ kip}} = \frac{LEF_2 - 0.599}{1.0 - 0.599}$$

$$LEF_2 = 0.599 + (1.0 - 0.599) \left(\frac{17.6 \text{ kip} - 16 \text{ kip}}{18 \text{ kip} - 16 \text{ kip}} \right)$$

$$LEF_2 = 0.9198$$

Calculando factor de camión:

$$FC = LEF_1 + LEF_2$$

$$FC = 0.0512 + 0.9198$$

$$FC = \mathbf{0.971}$$

Vehículo: C2

Eje de dirección:

$$Peso = 5 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 11 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$10 \text{ kip} \rightarrow 0.08$$

$$11 \text{ kip} \rightarrow LEF_1$$

$$12 \text{ kip} \rightarrow 0.174$$

$$\frac{11 \text{ kip} - 10 \text{ kip}}{12 \text{ kip} - 10 \text{ kip}} = \frac{LEF_1 - 0.08}{0.174 - 0.08}$$

$$LEF_1 = 0.08 + (0.174 - 0.08) \left(\frac{11 \text{ kip} - 10 \text{ kip}}{12 \text{ kip} - 10 \text{ kip}} \right)$$

$$LEF_1 = 0.127$$

Eje de tracción:

$$Peso = 10 \text{ Ton} \times \frac{2.2 \text{ Kip}}{1 \text{ Ton}} = 22 \text{ kip}$$

Utilizando la Tabla 3-13 del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos se tiene:

$$LEF_2 = 2.41$$

Calculando factor de camión:

$$FC = LEF_1 + LEF_2$$

$$FC = 0.127 + 2.41$$

$$FC = 2.537$$

Calculando factor de crecimiento:

Como el período de diseño es de 20 años con un crecimiento del 2%, se tiene:

$$FG = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

$$FG = \frac{(1 + 0.02)^{20} - 1}{0.02}$$

$$FG = 24.30$$

Calculando los ESAL'S:

Tipo de vehículo	Cantidad de vehículos al año	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	LEF	ESAL's de diseño
Automóvil	1,611	24.30	14,288,764.5	0.00076	10,859.46
Pick – Up	586	24.30	5,197,527	0.01698	88,254.01
Microbús Mediano	85	24.30	753,907.5	0.971	732,044.18
C2	56	24.30	496,692	2.537	1,260,107.60
TOTAL					2,091,265.25

Tabla 4.13 Calculo de ESAL'S de diseño

FUENTE: *Elaboración propia*

Factor de distribución por dirección: El pavimento consta de dos carriles, uno en cada dirección por lo que se utiliza un factor de dirección del 50 %.

Número de carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Tabla 4.14 Factor de distribución por dirección

FUENTE: *Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.*

Factor de distribución por carril: Ya que se poseen dos carriles por sentido, se ha tomado un valor de 1.0, que es el valor medio del rango propuesto por AASHTO 1993.

Número de carriles en una sola dirección	LC
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Tabla 4.15 Factor de distribución por carril

FUENTE: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993.

Calculando ESAL's de diseño:

$$ESAL's = (2,091,265.25)(0.50)(1)$$

$$ESAL's = 10.45 \times 10^5$$

Con los datos obtenidos se prosigue a calcular el espesor de la losa de concreto utilizando el software winpas 12

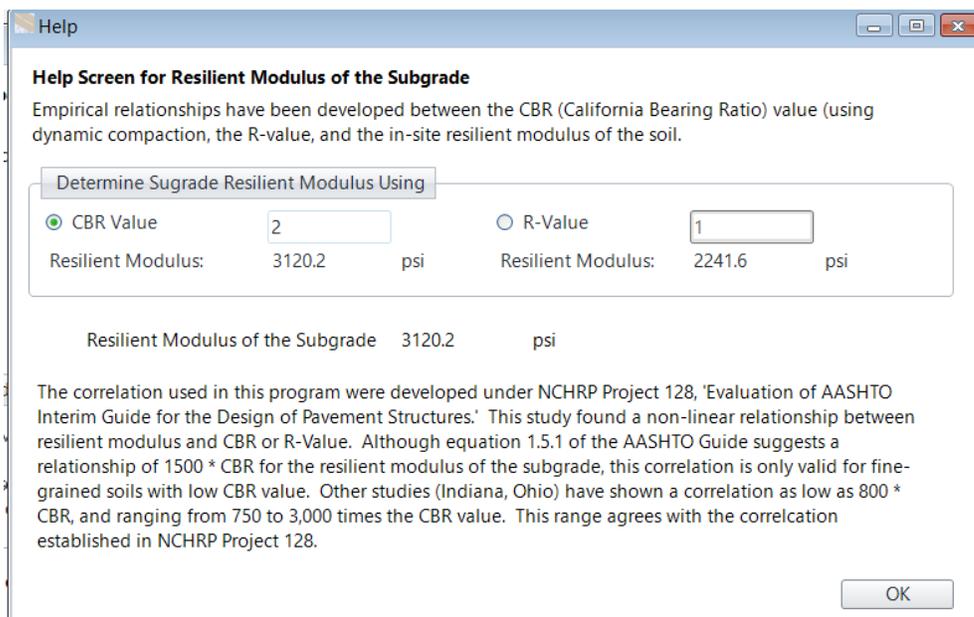


Figura 4.4 Modulo de resiliencia de la subrasante

FUENTE: winpas 12

Help

Help Screen for Modulus of Subgrade Reaction

Resilient Modulus of the Subgrade = 3,120.2 psi

Material Type	Resilient Modulus (psi) (1 MPa = 145 psi)
Lean Concrete Subbase (LCB, Econocrete)	1,000,000-2,000,000
Cement-Treated Subbase (CTB)	500,000-1,000,000
Hot-Mix or Warm-Mix Asphalt Subbase	350,000-1,000,000
Cement-Stabilized Subgrade	50,000-1,000,000
Asphalt-Treated Subbase (ATB)	40,000-300,000
Lime-Stabilized Subgrade	20,000-70,000
Unstabilized Subbase	15,000-45,000
Fine-Graded or Natural Subgrade	3,000-40,000

Determine Unadjusted Subgrade Resilient Modulus

Calculate Using AASHTO 93 Method Enter Value 0.0 psi/in

Resilient Modulus of the Subbase = 10,000.0 psi (Leave blank if none)

Subbase Thickness (4 to 12 inches) = 12.00 inches

Unadjusted Modulus of Subgrade Reaction = 190.1 psi/in

Apply Adjustments

Depth of Rigid Foundation = th is < 10 feet. Enter exact depth below. 0.00 feet

Loss of Support (0, 1, 2, or 3) = 0

Adjusted Modulus of Subgrade Reaction = 190.1 psi/in

Buttons: Help, Save and Close

Figura 4.5 Modulo de reacción combinado
FUENTE: winpas 12

Concrete Pavement Design

Concrete Pavement Design/Analysis Inputs

Concrete Thickness 6.30 inches

Total Rigid ESALs 1,045,000

Reliability 95.00 %

Overall Standard Deviation 0.30

Flexural Strength 640.1 psi

Modulus of Elasticity 5,000,000.0 psi

Load Transfer Coefficient 2.80

Modulus of Subgrade Reaction 190.1 psi/in.

Drainage Coefficient 1.00

Initial Serviceability 4.50

Terminal Serviceability 2.00

Buttons: Save and Close, Help

Concrete Pavement Design/Analysis

Concrete Thickness: 6.30 inches

Buttons: Solve For

Figura 4.6 Calculo de espesor de losa de concreto
FUENTE: winpas 12

El espesor requerido para la losa de concreto utilizando la subrasante con suelo natural es de 6.30 pulgadas o 16 cm.

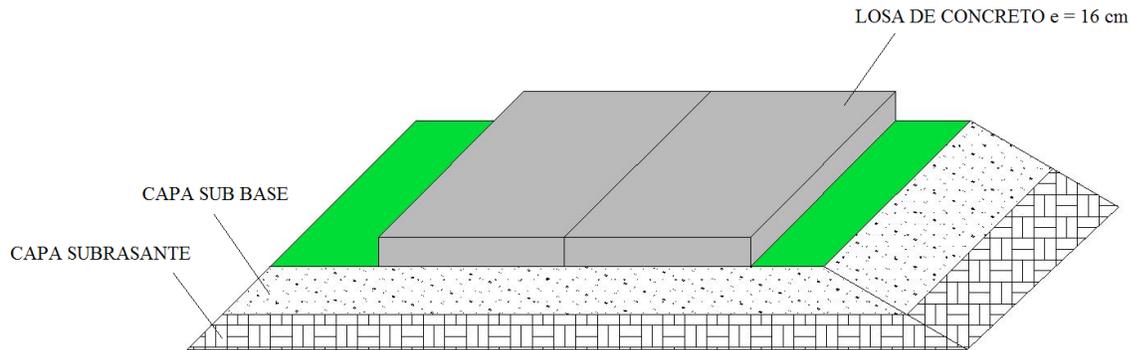


Figura 4.7 Espesor de losa de concreto con suelo natural
FUENTE: Elaboración propia.

4.3.2 ESPESOR DE LOSA UTILIZANDO SUBRASANTE ESTABILIZADA CON 5% DE CAL

El diseño del espesor de la losa se hace utilizando los siguientes datos:

- Módulo de elasticidad del concreto 5.0×10^6 Psi
- Módulo de ruptura 640.1Psi
- Coeficiente de transferencia de carga 2.8
- Coeficiente de drenaje 1.0
- Desviación estándar 0.35
- Serviciabilidad inicial 4.5
- Serviciabilidad final 2.0
- Confiabilidad 95%
- CBR 54% (En el programa winpas 12 se utilizó un CBR de 40% debido a que este presentaba era el valor límite a introducir).
- ESAL'S 1,045,000

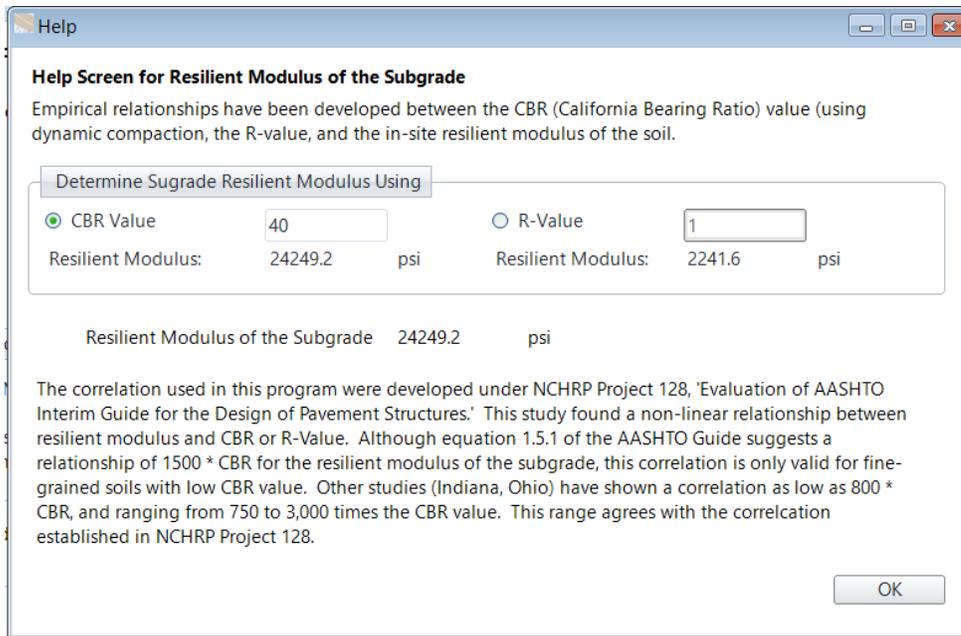


Figura 4.8 Modulo de resiliencia de la subrasante
FUENTE: winpas 12

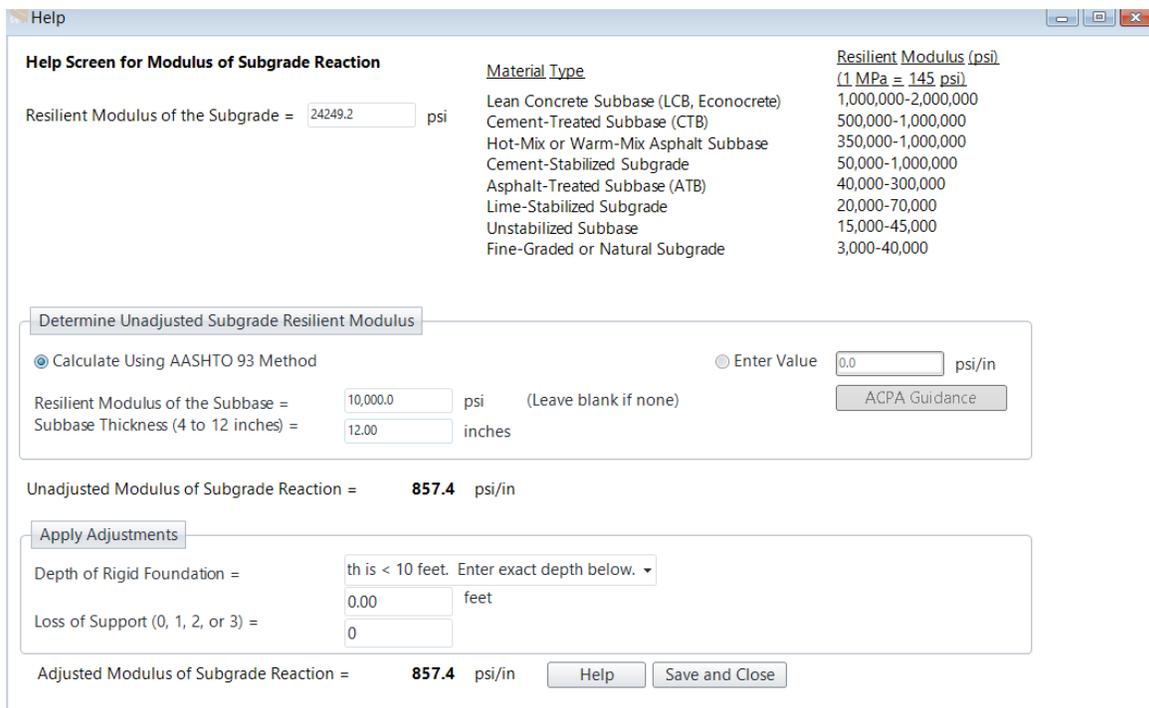


Figura 4.9 Modulo de reacción combinado
FUENTE: winpas 12

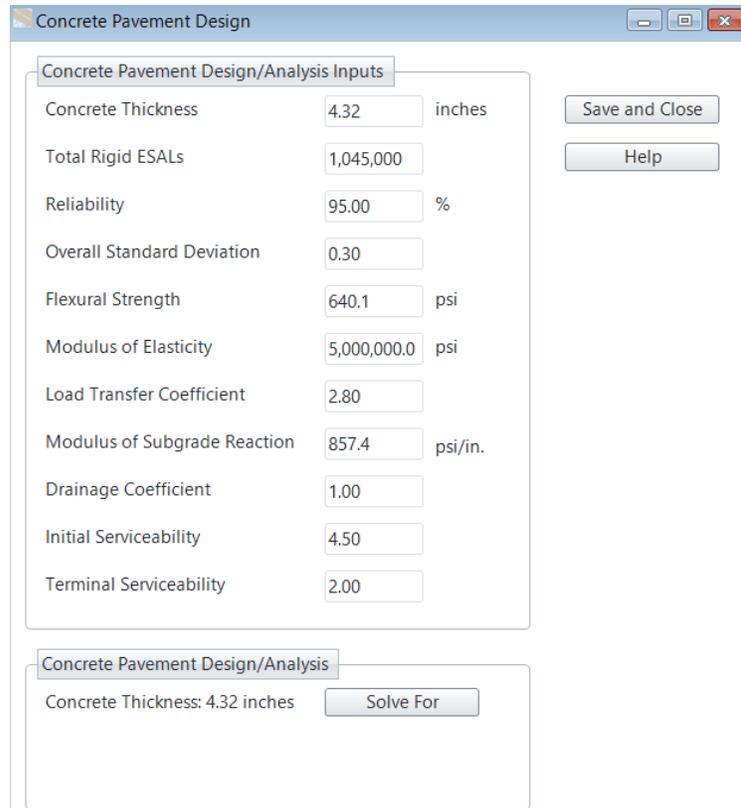


Figura 4.10 Cálculo de espesor de losa de concreto
FUENTE: winpas 12

El espesor requerido para la losa de concreto utilizando la subrasante con suelo-cal es de 4.32 pulgadas u 11 cm .

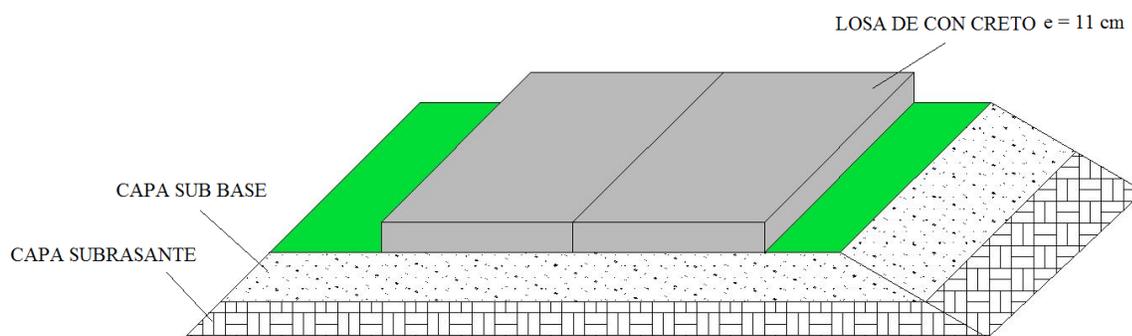


Figura 4.11 Espesor de losa de concreto con suelo-cal
FUENTE: Elaboración propia.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En las vías terrestres es un requisito que la capa subrasante tenga una resistencia adecuada de acuerdo a especificaciones del proyecto ya que sirve de cimiento entre la capa estructural y el terreno natural.

En base a los resultados obtenidos y analizados anteriormente se obtienen las siguientes conclusiones:

- El suelo analizado en esta investigación en su estado natural no es considerado apto para ser utilizado como capa subrasante de un pavimento rígido, según lo establecido por el manual centro americano para diseño de pavimentos SIECA que muestra la correlación entre la clasificación de suelos y su valor de soporte de california CBR, el cual considera que valores menores de CBR de 10 son tomados como una subrasante de mala calidad y para este caso se obtuvo un valor de CBR 1.93.
- Con la adición de cal al suelo natural se buscó aumentar su capacidad de soporte CBR, para que de este modo pueda cumplir con los requerimientos mínimos para poder ser usado como capa subrasante. Para ello se debe añadir 5% de cal en peso al suelo en su estado natural ya que de este modo se logra aumentar su valor de soporte de 1.93% al 54.00%. Confirmando así que el material con suelo-cal al 5% es factible para formar parte de la capa subrasante de un pavimento rígido.
- La adición de cal reduce el índice de plasticidad de 45% a 0% y además reduce su hinchamiento en un 88% de acuerdo a la consolidación unidimensional.
- La selección del agente estabilizador dependerá de los límites de consistencia y granulometría que presente cada suelo en particular.
- Existen varios métodos para estabilizar el suelo arcilloso, pero en esta investigación se optó por la estabilización química con cal porque al mezclarlo con la arcilla se obtiene una mejora en las propiedades de esta como se comprobó con los resultados obtenidos, además de un mejor comportamiento y una mejor trabajabilidad.

- Los valores CBR de la mezcla suelo-cal obtenidos en esta investigación podrán servir como parámetro de comparación para estabilizar suelos con características similares, la aceptabilidad o rechazo de estos dependerá de las especificaciones para cada proyecto.
- El uso de la cal como agente estabilizador de una arcilla muy plástica ayuda a reducir o mantener el costo del proyecto ya que se usa el material de lugar y no tendría que hacerse una restitución completa del material arcilloso, ayudando así, a reducir la explotación de bancos y evitando los costos de transporte que estos conllevan.
- El uso de la cal ayuda a secar rápidamente los suelos húmedos, facilitando su compactación.
- Con la obtención de los espesores para la losa de concreto hidráulico de un pavimento rígido, mediante la utilización del software Winpas, se puede observar que para el suelo en estado natural el espesor de la losa es de 6.30 pul, mientras tanto para la mezcla suelo-cal es de 4.32 pul. Comprobando de esta manera que la utilización de cal como agente estabilizador reduce el espesor de dicha losa, aumenta la vida útil de la estructura ya que se evitan las variaciones volumétricas debido al cambio en su contenido de humedad y reduciendo considerablemente su plasticidad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario conocer primeramente los parámetros de naturaleza del suelo mediante la realización de los ensayos Límites de Atterberg, Granulometría y Clasificación de los suelos. Para seleccionar el agente estabilizador más adecuado.
- Para obtener resultados y que estos sean lo más seguros posible, se recomienda efectuar a los equipos involucrados en este trabajo de investigación, una constante calibración para su uso y de esta manera evitar la menor cantidad de errores posibles.
- Al momento de realizar el mezclado del suelo con la cal debe tenerse el cuidado especial, para lograr una buena afinidad de ambos materiales y para que los resultados de los ensayos sean representativos.
- Se recomienda la aplicación de esta técnica, para obras en donde el suelo predominante es la arcilla, ya que aumenta la vida de las obras realizadas.
- Para que la estabilización se lleve a cabo, el sistema suelo-cal debe alcanzar un pH mínimo de 12.4, ya que de lo contrario sólo se hace una modificación al suelo.
- El Los suelos plásticos son adecuados para ser tratados con la Cal como agente estabilizador. Cuando estos alcanzan un valor de (IP) mayor o igual a 12.
- Es necesario realizar estudios del suelo y a la mezcla suelo-cal para estabilizar caminos con presencia de arcillas plásticas, para lograr que el mantenimiento de dichos caminos sea el mínimo necesario para prestar un buen servicio a la población.
- Se recomienda tener el cuidado de mantener la muestra en un ambiente húmedo para que no pierda su humedad óptima a la hora de realizar el ensayo de compactación.

5.3 BIBLIOGRAFIA

ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO (1994). “LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES, CARRETERAS, FERROCARRILES Y AUTOPISTAS” VOLUMEN 2, EDITOIAL LIMUSA MEXICO 1977.

ARGUETA WILFREDO, ORELLANA JOSEFINA, PARADA HUGO TESIS: “RECOPIACION Y SEGUIMIENTO DE PROPUESTAS DE ESTABILIZACION DE SUELOS PLASTICOS, APLICADAS A TRAMOS DE PRUEBA, PARA MEJORA EN CAMINO DE BAJA INTENSIDAD VEHICULAR EN EL SALVADOR Y ELABORACION DE UN PLAN DE DETERIORO”, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, 2011.

BRAJA M. DAS, “FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTECNICA” 4TA EDICION EDITORIAL THOMSON LEARNING, MEXICO 2001

GARCIA TREJO, RAMIREZ LOPEZ TESIS: “PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA ASTM 2003”, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, 2006.

GARAY DIAZ, MENA GOMEZ TESIS: “CLASIFICACION DE ARCILLAS PRESENTES EN LOS BANCOS DE GUATAJIAGUA, DEPARTAMENTO DE MORAZAN, Y FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL”, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, 2007.

JOSEP E. BOWLES, “MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA CIVIL” 1 RA EDICION EDITORIAL MCGRAW-HILL, LATINOAMETICA 1980

JUAREZ BADILLO E. Y RICO RODRIGUEZ, MECANICA DE SUELOS TOMO I: “FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS”, TERCERA EDICION EDITORIAL LIMUSA, MEXICO 1978.

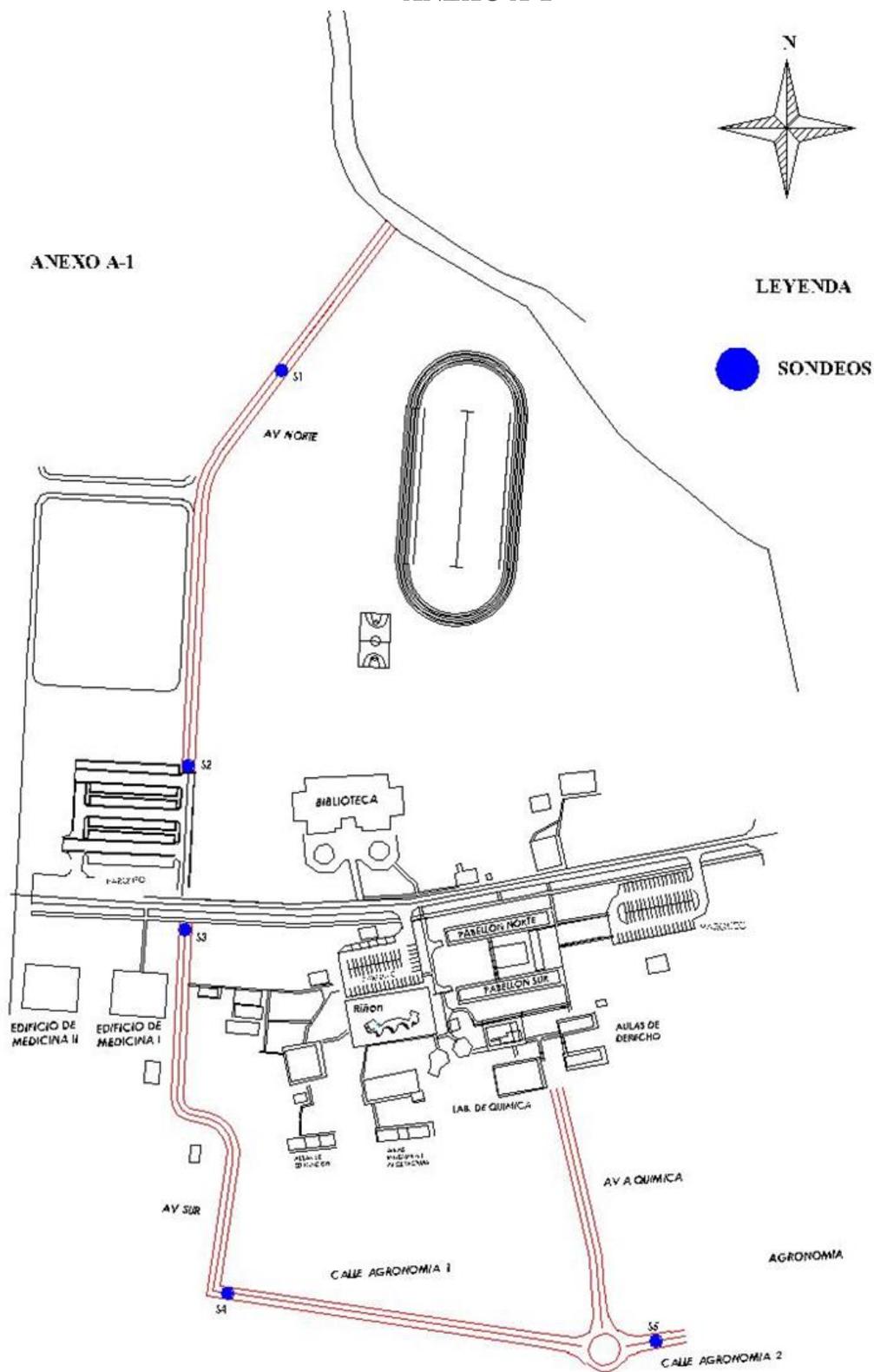
MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS, TOMADO DE LA SECRETARIA DE INTEGRACION ECONOMICA CENTROAMERICANA (SIECA) AÑO 2002.

MATA MARCOS TULLIO TESIS: “GUIA BASICA PARA CONFORMACION DE BASES Y SUBBASES PARA CARRETERAS EN EL SALVADOR”, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, 2010.

SOIL STABILIZATION FOR PAVEMENTS, TECHNICAL MANUAL NO. 5-822-14. AIR FORCE MANUAL NO. 32-1019. HEADQUARTERS, DEPARTMENTS OF THE ARMY AND THE AIR FORCE WASHINGTON, D.C. 25 OCTOBER 1994.

5.4 ANEXOS

ANEXO A-1



ANEXO A-2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 9 Agosto 2016

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
No de golpes	25	20	15		
No de recipiente	83	4	79	47	10
Masa de recipiente	9.98	10	10.39	9.8	10.66
Masa de suelo húmedo + recipiente g	23.02	18.97	22	19.59	21.1
Masa de suelo seco + recipiente g	17.43	15.09	16.94	17.29	18.67
Masa de agua g	5.59	3.88	5.06	2.3	2.43
Masa de suelo seco g	7.45	5.09	6.55	7.49	8.01
Contenido de agua %	75.03	76.22	77.25	30.7	30.33
Promedio				30.52	

LIMITES	
Líquido (LL)	75 %
Plástico (LP)	30 %
Índice de plasticidad (IP = LL - LP)	45 %

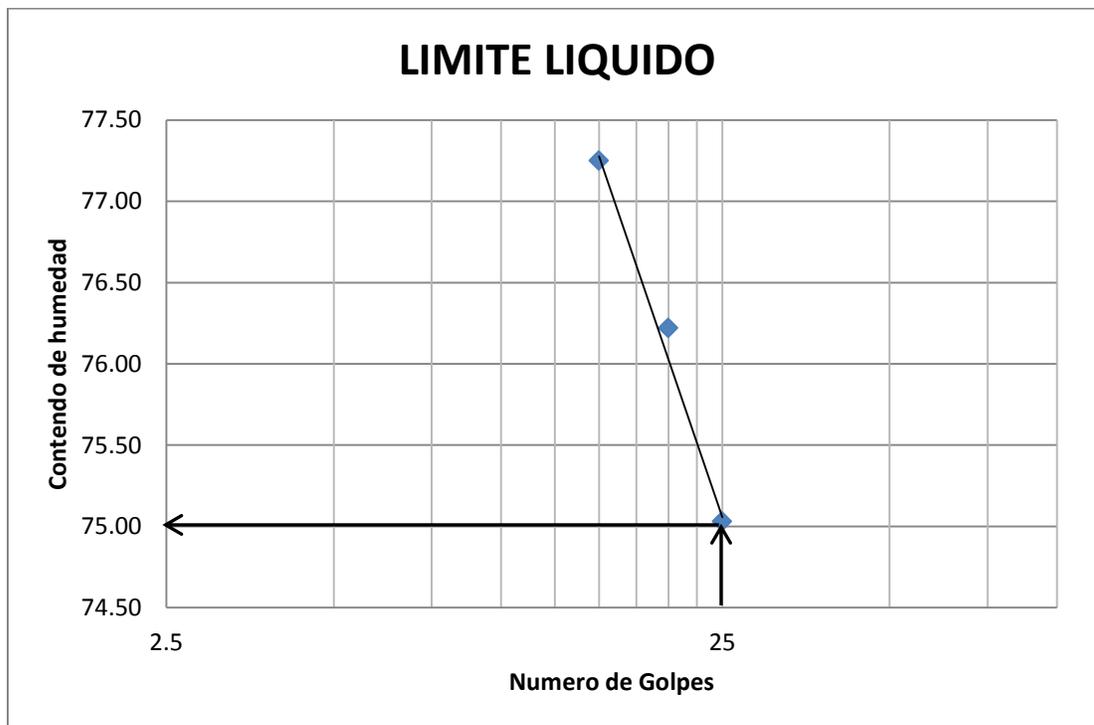


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/2
SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 9 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
 DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 10 Agosto 2016

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
No de golpes	28	23	17		
No de recipiente	4	42	79	TT-0	0-12
Masa de recipiente	10	10.34	10.39	29.95	22.34
Masa de suelo húmedo + recipiente g	22.59	23.73	23.77	42.4	37.1
Masa de suelo seco + recipiente g	18.62	19.39	19.32	40.19	34.42
Masa de agua g	3.97	4.34	4.45	2.21	2.68
Masa de suelo seco g	8.62	9.05	8.93	10.24	12.08
Contenido de agua %	46.05	47.96	49.83	21.58	22.18
Promedio				21.88	

LIMITES	
Líquido (LL)	47 %
Plástico (LP)	22 %
Índice de plasticidad (IP = LL -LP)	25 %

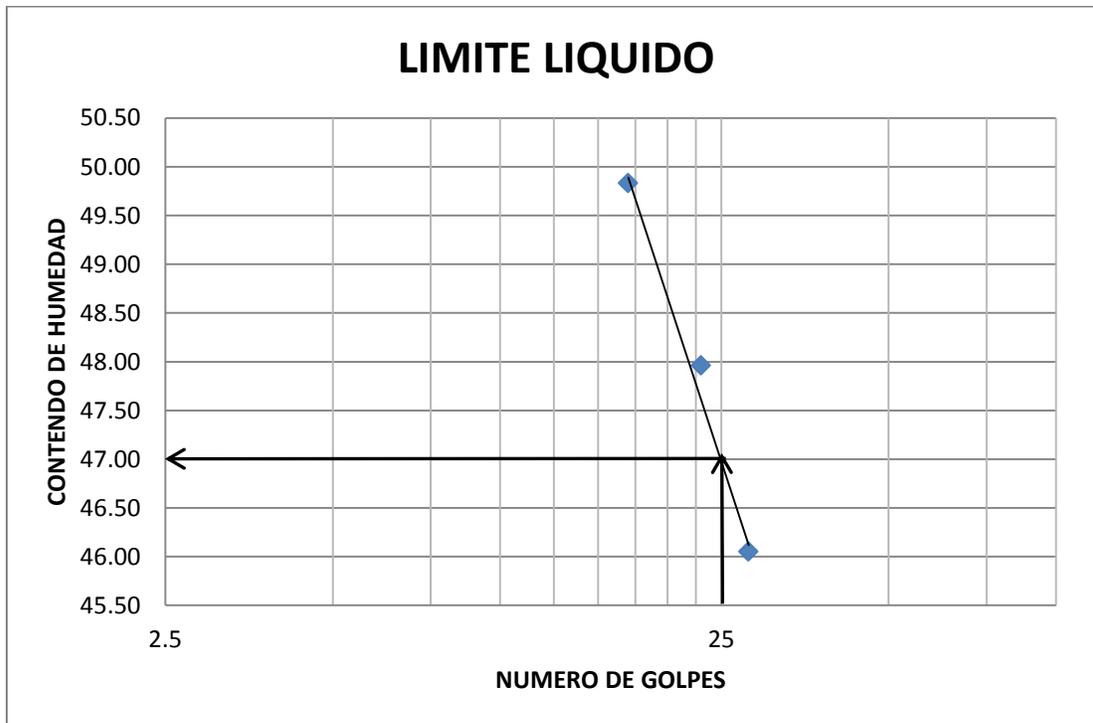


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/2
SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 10 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
 DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
 ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
No de golpes	25	20	14		
No de recipiente	0-9	0T-0	8-0	0-3	0-7
Masa de recipiente	27.91	19.31	18.18	19.96	19.8
Masa de suelo húmedo + recipiente g	40.63	32	30.38	32	34.75
Masa de suelo seco + recipiente g	36.6	27.34	25.91	29.83	32.16
Masa de agua g	4.03	4.66	4.47	2.17	2.59
Masa de suelo seco g	8.69	8.03	6.11	9.87	12.36
Contenido de agua %	46.37	58.03	73.15	21.98	20.95
Promedio				21.47	

LIMITES	
Líquido (LL)	46%
Plástico (LP)	21%
Índice de plasticidad (IP=LL-LP)	25%

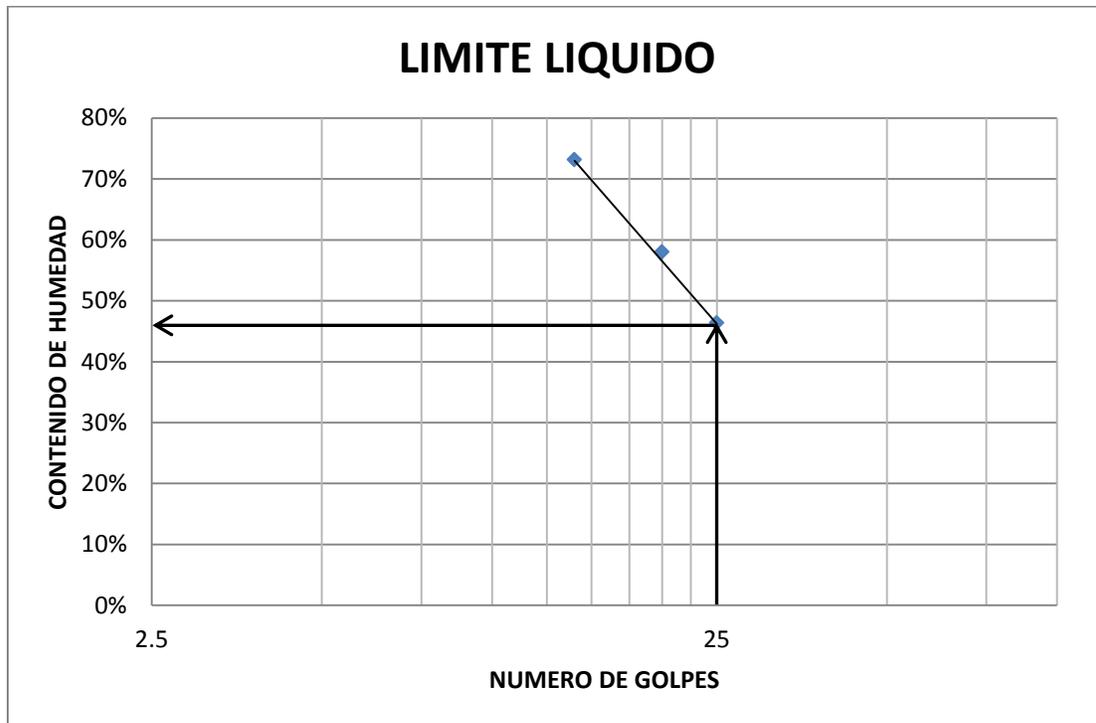


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/2
SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
No de golpes	25	20	14		
No de recipiente	0-9	0T-0	8-0	0-3	0-7
Masa de recipiente	27.91	19.31	18.18	19.96	19.8
Masa de suelo húmedo + recipiente	g 40.63	32.00	30.38	32.00	34.75
Masa de suelo seco + recipiente	g 36.6	27.34	25.91	29.83	32.16
Masa de agua	g 4.03	4.66	4.47	2.17	2.59
Masa de suelo seco	g 8.69	8.03	6.11	9.87	12.36
Contenido de agua	% 46.37	58.03	73.15	21.98	20.95
Promedio				21.47	

LIMITES	
Líquido (LL)	35 %
Plástico (LP)	22 %
Índice de plasticidad (IP=LL-LP)	13 %

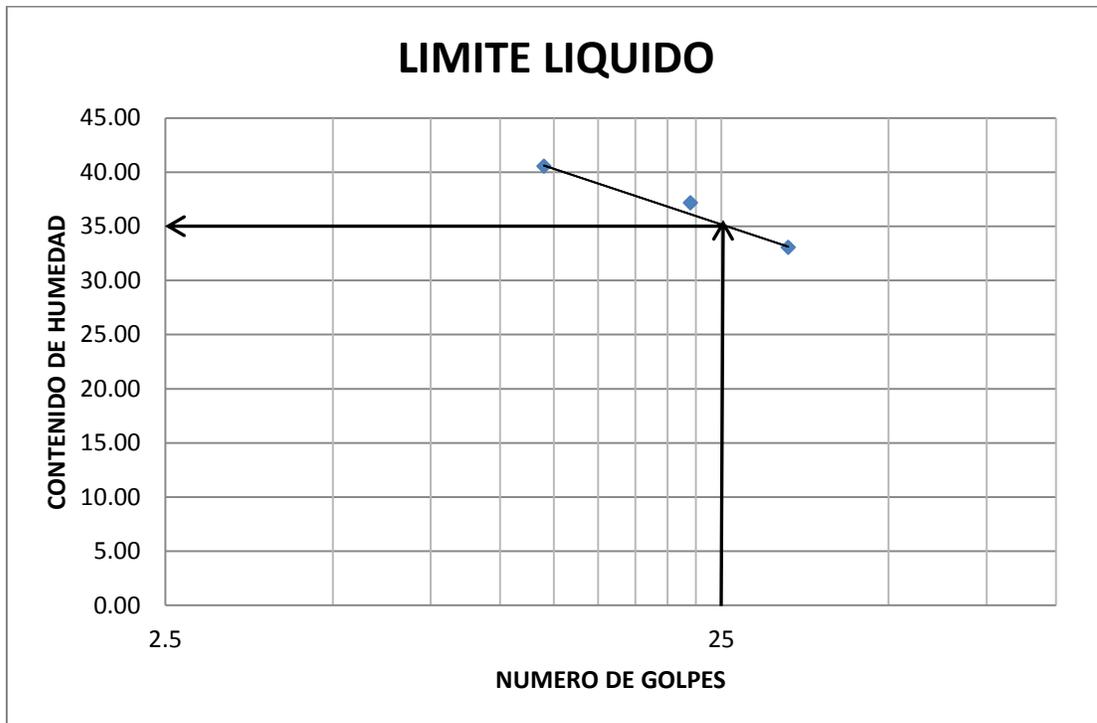


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/2
SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016

Muestra	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
No de golpes	33	29	22		
No de recipiente	T-0	94	0-12	0-3	0-4
Masa de recipiente	19.8	22.49	22.34	19.96	19.4
Masa de suelo húmedo + recipiente g	30.79	33.49	33.6	39.42	37.13
Masa de suelo seco + recipiente g	28.82	31.2	30.85	35.51	33.58
Masa de agua g	1.97	2.29	2.86	3.91	3.55
Masa de suelo seco g	9.02	8.71	8.4	15.55	14.18
Contenido de agua %	21.84	26.3	34.05	25.14	25.04
Promedio				25.09	

LIMITES	
Líquido (LL)	30 %
Plástico (LP)	25 %
Índice de plasticidad (IP = LL-LP)	5 %

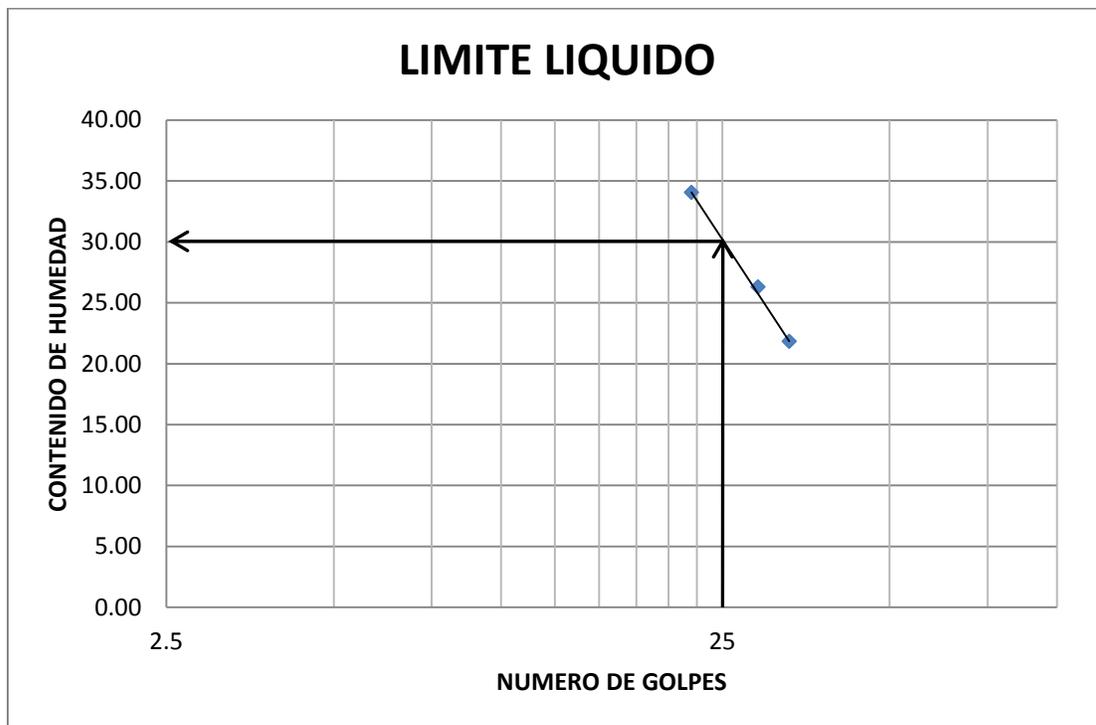


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DEL LIMITE, LIMITE PLASTICO E INDICE
DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**
ASTM D 4318-00

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/2
SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016



Observaciones: _____

ANEXO A-3



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO POR EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA ASTM D 854-02

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

No. de Matraz		3-A
Masa de Matraz	g	191.40
Volumen del Matraz	ml	500
Temperatura de ensayo (T_e)	°C	26.60
Densidad del agua a temperatura de ensayo	g/ml	0.9969
Masa del Matraz + suelo + agua a T_e	g	723.60
Masa del Matraz + agua a T_e	g	667.10
Código de Recipiente		13-5
Masa de Recipiente	g	77.60
Masa de solidos del suelo + Recipiente	g	134.1
Masa de solidos del suelo	g	56.50
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G_t)		2.43
Coeficiente de Temperatura a 20 °C (k)		1.00000
Gravedad específica a temperatura de 20 °C (G_s)		2.43



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO POR
EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA
ASTM D 854-02**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

No. de Matraz		M-2
Masa de Matraz	g	193.60
Volumen del Matraz	ml	500
Temperatura de ensayo (T_e)	°C	26.60
Densidad del agua a temperatura de ensayo	g/ml	0.9969
Masa del Matraz + suelo + agua a T_e	g	726.70
Masa del Matraz + agua a T_e	g	669.40
Código de Recipiente		10-10
Masa de Recipiente	g	65.10
Masa de solidos del suelo + Recipiente	g	122.4
Masa de solidos del suelo	g	57.30
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G_t)		2.47
Coeficiente de Temperatura a 20 °C (k)		1.00000
Gravedad específica a temperatura de 20 °C (G_s)		2.47



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO POR
EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA
ASTM D 854-02**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

No. de Matraz		M-7
Masa de Matraz	g	177.10
Volumen del Matraz	ml	500
Temperatura de ensayo (T_e)	°C	26.30
Densidad del agua a temperatura de ensayo	g/ml	0.9969
Masa del Matraz + suelo + agua a T_e	g	710.06
Masa del Matraz + agua a T_e	g	650.96
Código de Recipiente		G-3
Masa de Recipiente	g	50.60
Masa de solidos del suelo + Recipiente	g	109.7
Masa de solidos del suelo	g	59.10
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G_t)		2.36
Coficiente de Temperatura a 20 °C (k)		1.00000
Gravedad específica a temperatura de 20 °C (G_s)		2.36



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO POR
EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA
ASTM D 854-02**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

No. de Matraz		M-5
Masa de Matraz	g	195.10
Volumen del Matraz	ml	500
Temperatura de ensayo (T_e)	°C	26.60
Densidad del agua a temperatura de ensayo	g/ml	0.9969
Masa del Matraz + suelo + agua a T_e	g	729.50
Masa del Matraz + agua a T_e	g	670.20
Código de Recipiente		1-6
Masa de Recipiente	g	65.00
Masa de solidos del suelo + Recipiente	g	124.30
Masa de solidos del suelo	g	59.30
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G_t)		2.48
Coeficiente de Temperatura a 20 °C (k)		1.00000
Gravedad específica a temperatura de 20 °C (G_s)		2.48



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO POR
EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA
ASTM D 854-02**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 15 Agosto 2016

No. de Matraz		M-6
Masa de Matraz	g	190.50
Volumen del Matraz	ml	500
Temperatura de ensayo (T_e)	°C	26.70
Densidad del agua a temperatura de ensayo	g/ml	0.9969
Masa del Matraz + suelo + agua a T_e	g	723.80
Masa del Matraz + agua a T_e	g	663.90
Código de Recipiente		14-6
Masa de Recipiente	g	52.80
Masa de solidos del suelo + Recipiente	g	112.7
Masa de solidos del suelo	g	59.90
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G_t)		2.32
Coficiente de Temperatura a 20 °C (k)		1.00000
Gravedad específica a temperatura de 20 °C (G_s)		2.32

ANEXO A-4



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/4
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 10 Agosto2016

Peso Total (g) = 64.86
 Peso Retenido No.10 (g) = 0 Porcentaje (%) = 0.00
 Peso Que Pasa la No.10 (g) = 64.86 Porcentaje (%) = 100.00

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.0	0.00	0	0	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No.4	4.8	0.00	0.00	0.00	100
No.10	2.0	0.00	0.00	0.00	100
Fondo		64.86	100.00	100.00	0
	Total =	64.86			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/4
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 10 Agosto2016

Contenido de Humedad (%) = 0.22

Peso Total (g) = 65.00

Peso Retenido No.10 (g) = 0.00

Peso Que Pasa la No.10 (g) = 65.00

Peso Total Hidrom. (g) = 65.00

Peso Total Corregido por Hum. (g) = 64.86

Peso que pasa la No. 200 (g) = 54.31

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	% Referido a la Muestra Total
No.10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
No.20	0.85	1.63	2.51	2.51	97.49	97.49
No.40	0.425	1.49	2.30	4.81	95.19	95.19
No.60	0.250	1.62	2.50	7.31	92.69	92.69
No.100	0.150	1.98	3.05	10.36	89.64	89.64
No.200	0.075	3.11	4.79	15.16	84.84	84.84
Pasa No.200		55.03	84.84	100.00	0.00	0.00
	Total =	64.86				

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS HIDROMETRICO
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/4
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 10 Agosto 2016
 Hidrómetro No. 1 Gs de los Sólidos: 2.43
 Tipo de Hidrómetro: ASTM 152H Corr. por Menisco: 1 Corr. por Defloculante: 3
 Agente Dispersante: Hexametáfosfato de sodio Peso del Suelo Seco (g): 64.86
 % Que pasa No.200 84.84 Factor de Corrección (a): 1.058

Tiempo Transcurrido (Minutos)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura	Corrección por Defloc.	Lectura Real del Hidrómetro	Lectura Corregida del Hidrómetro o Rc	% Más Fino	Hidrómetro Corregido Por Menisco o R	L	L/T	K	D (mm)	% Referido a la Muestra Total
2	27.1	2.05	3	51	50.05	81.6	52	7.90	3.95	0.013	0.027	69
5	27.0	2.00	3	50	49.00	79.9	51	8.10	1.62	0.013	0.017	68
15	27.1	2.05	3	45	44.05	71.9	46	8.90	0.593	0.013	0.010	61
30	27.2	2.10	3	43	42.10	68.7	44	9.20	0.307	0.013	0.007	58
60	27.4	2.20	3	40	39.20	63.9	41	9.70	0.162	0.013	0.005	54
250	28.4	2.72	3	34	33.72	55.0	35	10.70	0.043	0.013	0.003	47
1440	26.7	1.89	3	29	27.89	45.5	30	11.50	0.008	0.013	0.001	39
2880	26.4	1.79	3	26	24.79	40.4	27	12.00	0.004	0.013	0.0009	34

Observaciones: _____

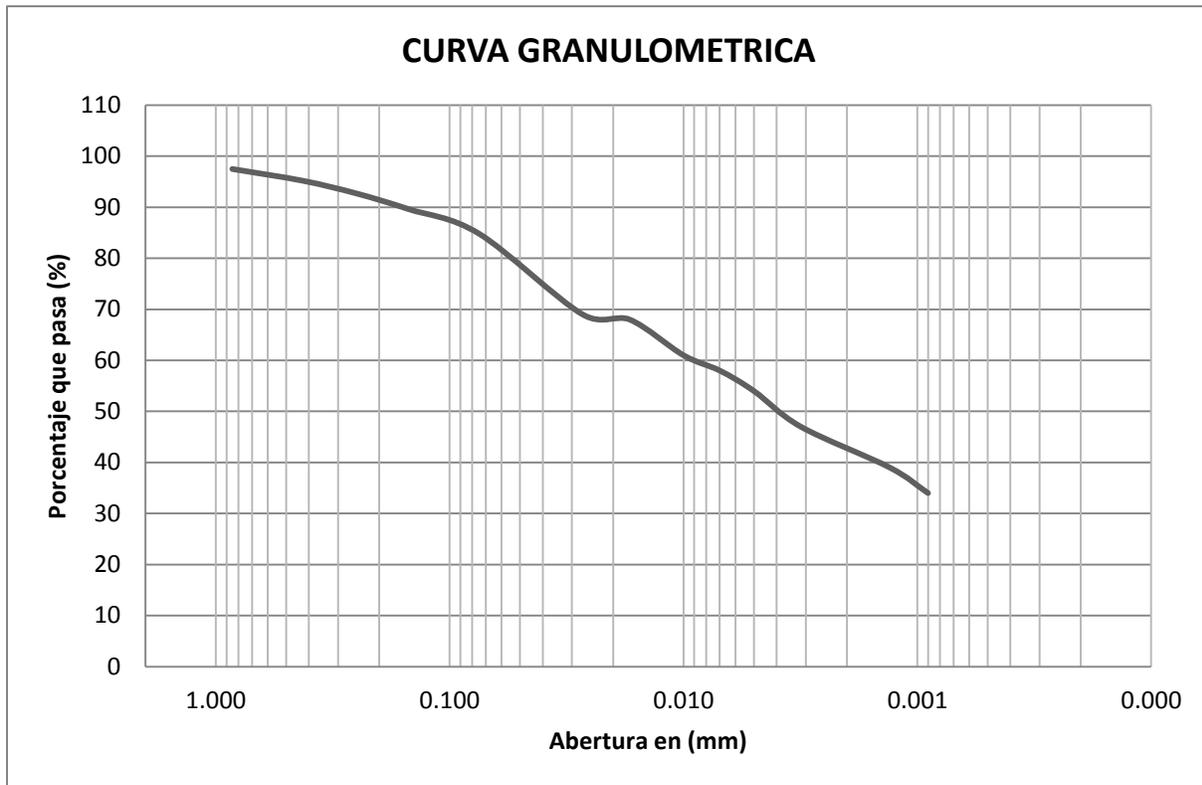


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CURVA GRANULOMETRICA
ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/4
SONDEO No.	1	Laborarista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	10 Agosto2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/4
SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 10 Agosto2016

Peso Total (g) = 64.38
Peso Retenido No.10 (g) = 0 Porcentaje (%) = 0.00
Peso Que Pasa la No.10 (g) = 64.38 Porcentaje (%) = 100.00

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.0	0.00	0	0	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No.4	4.8	0.00	0.00	0.00	100
No.10	2.0	0.00	0.00	0.00	100
Fondo		64.86	100.00	100.00	0
	Total =	64.38			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/4
 SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 10 Agosto2016

Contenido de Humedad (%) = 0.97

Peso Total (g) = 65.00

Peso Retenido No.10 (g) = 0.00

Peso Que Pasa la No.10 (g) = 65.00

Peso Total Hidrom. (g) = 65.00

Peso Total Corregido por Hum. (g) = 64.38

Peso que pasa la No. 200 (g) = 42.39

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	% Referido a la Muestra Total
No.10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
No.20	0.85	1.73	2.69	2.69	97.31	97.31
No.40	0.425	4.57	7.10	9.79	90.21	90.21
No.60	0.250	5.72	8.88	18.67	81.33	81.33
No.100	0.150	5.10	7.92	26.59	73.41	73.41
No.200	0.075	4.87	7.56	34.16	65.84	65.84
Pasa No.200		42.39	65.84	100.00	0.00	0.00
	Total =	64.38				

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS HIDROMETRICO
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/4
 SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 10 Agosto2016
 Hidrómetro No. 1 Gs de los Sólidos: 2.47
 Tipo de Hidrómetro: ASTM 152H Corr. por Menisco: 1 Corr. por Defloculante: 3
 Agente Dispersante: Hexametáfosfato de sodio Peso del Suelo Seco (g): 64.38
 % Que pasa No.200 65.84 Factor de Corrección (a): 1.046

Tiempo Transcurrido (Minutos)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura	Corrección por Defloculante	Lectura Real del Hidrómetro	Lectura Corregida del Hidrómetro o Rc	% Más Fino	Hidrómetro Corregido Por Menisco o R	L	L/T	K	D (mm)	% Referido a la Muestra Total
2	27.1	2.05	3	40	39.05	63.4	41	9.70	4.85	0.013	0.029	42
5	27.0	2.00	3	36	35.00	56.9	37	10.40	2.08	0.013	0.019	37
15	27.1	2.05	3	31	30.05	48.8	32	11.20	0.747	0.013	0.012	32
30	27.2	2.10	3	28	27.10	44.0	29	11.70	0.390	0.013	0.008	29
60	27.4	2.20	3	25	24.20	39.3	26	12.20	0.203	0.013	0.006	26
250	28.9	2.99	3	19	18.99	30.9	20	13.20	0.053	0.013	0.003	20
1440	27.2	2.10	3	15	14.10	22.9	16	13.80	0.010	0.013	0.001	15
2880	27.4	2.20	3	9	8.2	13.3	10	12.20	0.004	0.013	0.0008	9

Observaciones: _____

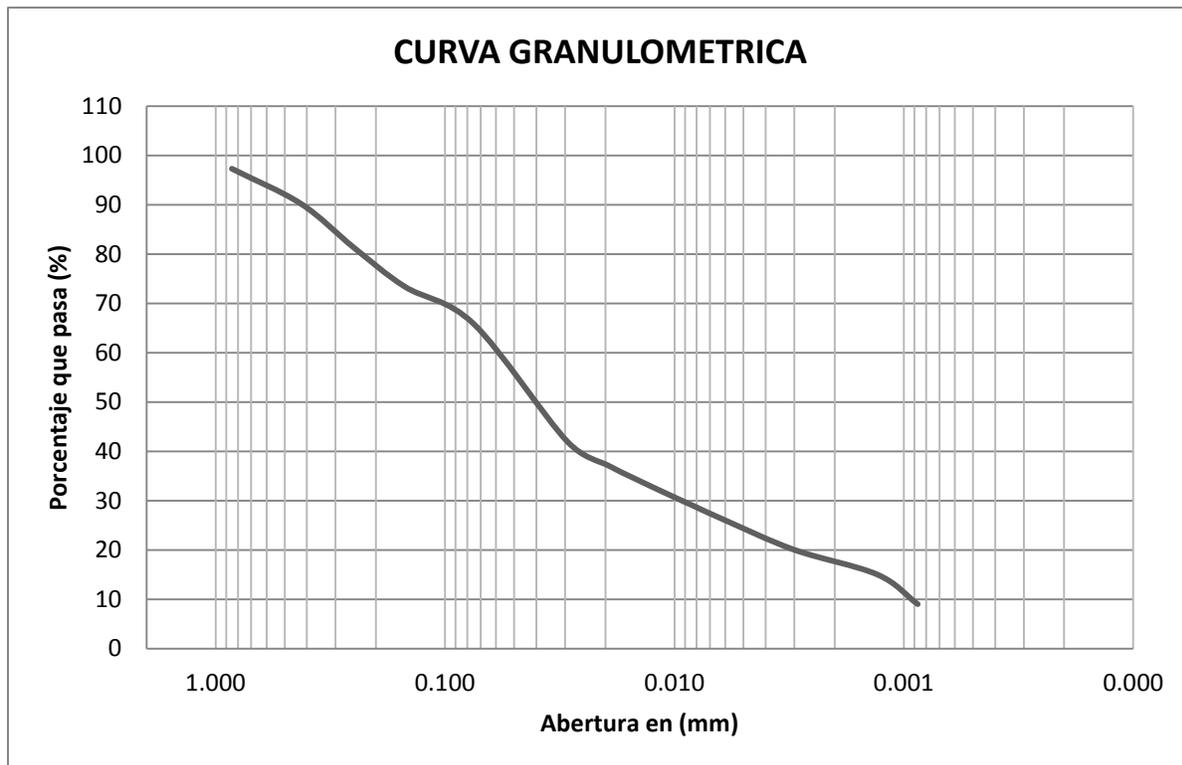


ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CURVA GRANULOMETRICA
ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/4
SONDEO No.	2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	10 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/4
SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Peso Total (g) = 64.65
Peso Retenido No.10 (g) = 0 Porcentaje (%) = 0.00
Peso Que Pasa la No.10 (g) = 64.65 Porcentaje (%) = 100.00

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.0	0.00	0	0	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No.4	4.8	0.00	0.00	0.00	100
No.10	2.0	0.00	0.00	0.00	100
Fondo		64.65	100.00	100.00	0
	Total =	64.65			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/4
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Contenido de Humedad (%) = 0.54

Peso Total (g) = 65.00

Peso Retenido No.10 (g) = 0.00

Peso Que Pasa la No.10 (g) = 65.00

Peso Total Hidrom. (g) = 65.00

Peso Total Corregido por Hum. (g) = 64.65

Peso que pasa la No. 200 (g) = 45.42

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	% Referido a la Muestra Total
No.10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
No.20	0.85	2.36	3.65	3.65	96.35	96.35
No.40	0.425	4.71	7.29	10.94	89.06	89.06
No.60	0.250	4.50	6.96	17.90	82.10	82.10
No.100	0.150	3.62	5.60	23.50	76.50	76.50
No.200	0.075	4.04	6.25	29.74	70.26	70.26
Pasa No.200		45.42	70.26	100.00	0.00	0.00
	Total =	64.65				

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS HIDROMETRICO
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/4
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016
 Hidrómetro No. 1 Gs de los Sólidos: 2.36
 Tipo de Hidrómetro: ASTM 152H Corr. por Menisco: 1 Corr. por Defloculante: 2
 Agente Dispersante: Hexametáfosfato de sodio Peso del Suelo Seco (g): 64.65
 % Que pasa No.200 70.26 Factor de Corrección (a): 1.080

Tiempo Transcurrido (Minutos)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura	Corrección por Defloc.	Lectura Real del Hidrómetro	Lectura Corregida del Hidrómetro Rc	% Más Fino	Hidrómetro Corregido Por Menisco o R	L	L/T	K	D (mm)	% Referido a la Muestra Total
2	26.7	1.89	2	46	45.89	76.7	47	8.80	4.40	0.013	0.029	54
5	26.6	1.86	2	44	43.86	73.3	45	9.10	1.82	0.013	0.019	51
15	26.6	1.86	2	40	39.86	66.6	41	9.70	0.647	0.013	0.011	47
30	26.4	1.79	2	39	38.79	64.8	40	9.90	0.330	0.013	0.008	46
60	26.6	1.86	2	36	35.86	59.9	37	10.40	0.173	0.013	0.006	42
250	28.3	2.66	2	33	33.66	56.2	34	10.90	0.044	0.013	0.003	40
1440	24.8	1.24	2	29	28.24	47.2	30	11.50	0.008	0.013	0.001	33
2880	24.8	1.24	2	27	26.24	43.8	28	11.90	0.004	0.013	0.0009	31

Observaciones: _____

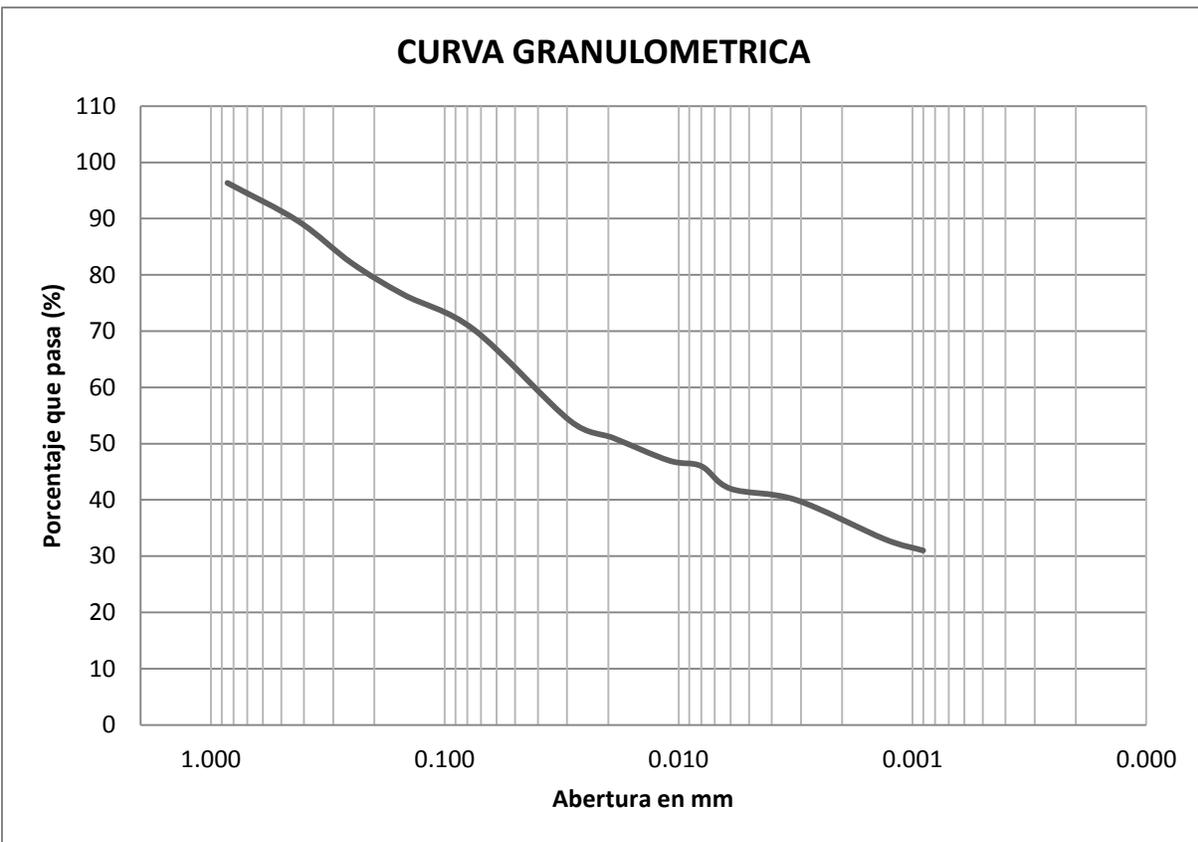


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CURVA GRANULOMETRICA
ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/4
SONDEO No.	3	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	11 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/4
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Peso Total (g) = 64.69
 Peso Retenido No.10 (g) = 0 Porcentaje (%) = 0.00
 Peso Que Pasa la No.10 (g) = 64.69 Porcentaje (%) = 100.00

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.0	0.00	0	0	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No.4	4.8	0.00	0.00	0.00	100
No.10	2.0	0.00	0.00	0.00	100
Fondo		64.69	100.00	100.00	0
	Total =	64.69			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/4
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016

Contenido de Humedad (%) = 0.48

Peso Total (g) = 65.00

Peso Retenido No.10 (g) = 0.00

Peso Que Pasa la No.10 (g) = 65.00

Peso Total Hidrom. (g) = 65.00

Peso Total Corregido por Hum. (g) = 64.69

Peso que pasa la No. 200 (g) = 38.48

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	% Referido a la Muestra Total
No.10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
No.20	0.85	1.56	2.41	2.41	97.59	97.59
No.40	0.425	4.39	6.79	9.20	90.80	90.80
No.60	0.250	6.43	9.94	19.14	80.86	80.86
No.100	0.150	6.52	10.08	29.22	70.78	70.78
No.200	0.075	7.31	11.30	40.52	59.48	59.48
Pasa No.200		38.48	59.48	100.00	0.00	0.00
	Total =	64.69				

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS HIDROMETRICO
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/4
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 11 Agosto 2016
 Hidrómetro No. 1 Gs de los Sólidos: 2.48
 Tipo de Hidrómetro: ASTM 152H Corr. por Menisco: 1 Corr. por Defloculante: 4
 Agente Dispersante: Hexametáfosfato de sodio Peso del Suelo Seco (g): 64.69
 % Que pasa No.200 59.48 Factor de Corrección (a): 1.043

Tiempo Transcurrido (Minutos)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura	Corrección por Defloc.	Lectura Real del Hidrómetro	Lectura Corregida del Hidrómetro Rc	% Más Fino	Hidrómetro Corregido Por Menisco o R	L	L/T	K	D (mm)	% Referido a la Muestra Total
2	26.7	1.89	4	34	31.89	51.4	35	10.70	5.35	0.013	0.031	31
5	26.7	1.89	4	31	28.89	46.6	32	11.20	2.24	0.013	0.020	28
15	26.7	1.89	4	27	24.89	40.1	28	11.90	0.793	0.013	0.012	24
30	26.8	1.93	4	24	21.93	35.4	25	12.40	0.413	0.013	0.009	21
60	26.9	1.96	4	22	19.96	32.2	23	12.70	0.212	0.013	0.006	19
250	28.7	2.89	4	17	15.89	25.6	18	13.50	0.054	0.013	0.003	15
1440	25.2	1.37	4	13	10.37	16.7	14	14.20	0.010	0.014	0.001	10
2880	26.3	1.76	4	12	9.76	15.7	13	14.70	0.005	0.013	0.0009	9

Observaciones: _____

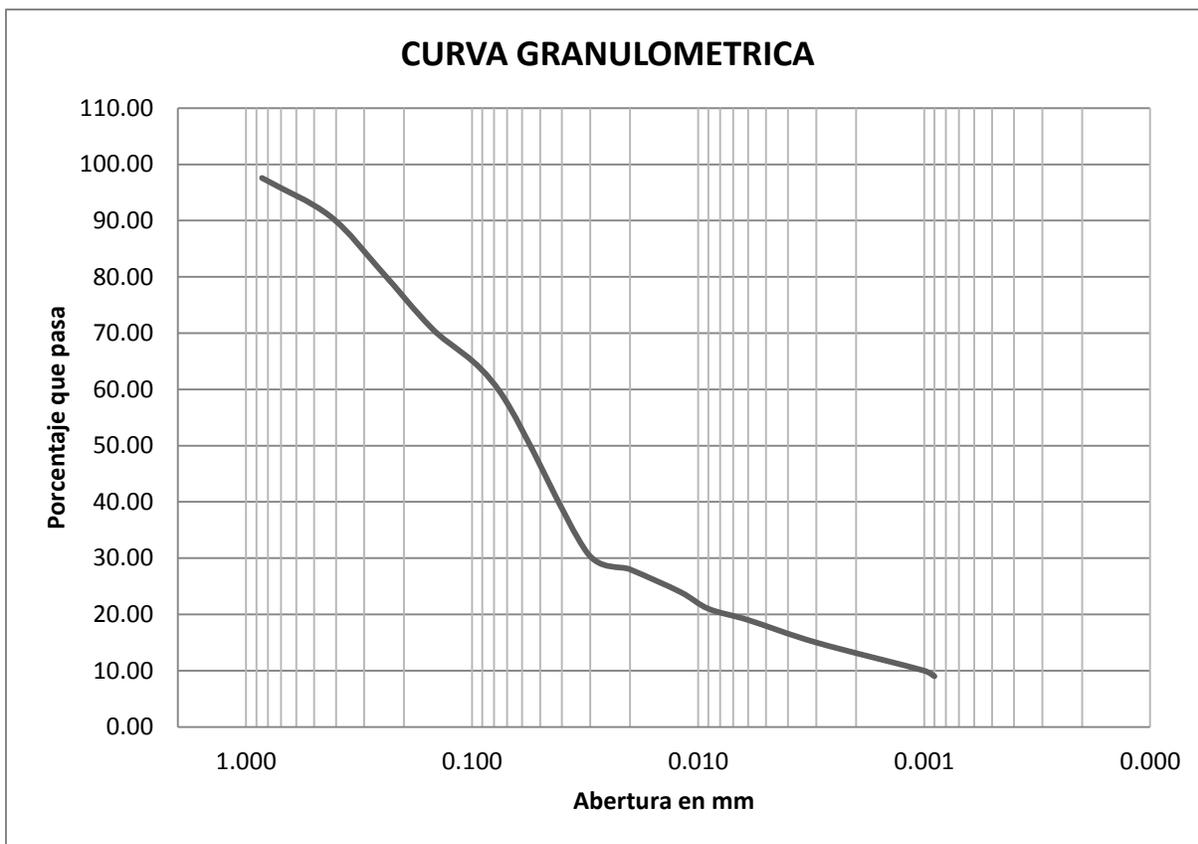


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CURVA GRANULOMETRICA
ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/4
SONDEO No.	4	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	11 Agosto 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/4
SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016

Peso Total (g) = 64.87
Peso Retenido No.10 (g) = 0 Porcentaje (%) = 0.00
Peso Que Pasa la No.10 (g) = 64.87 Porcentaje (%) = 100.00

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.0	0.00	0	0	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No.4	4.8	0.00	0.00	0.00	100
No.10	2.0	0.00	0.00	0.00	100
Fondo		64.87	100.00	100.00	0
	Total =	64.87			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/4
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016

Contenido de Humedad (%) = 0.20

Peso Total (g) = 65.00

Peso Retenido No.10 (g) = 0.00

Peso Que Pasa la No.10 (g) = 65.00

Peso Total Hidrom. (g) = 65.00

Peso Total Corregido por Hum. (g) = 64.87

Peso que pasa la No. 200 (g) = 40.95

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	% Referido a la Muestra Total
No.10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
No.20	0.85	1.15	1.77	1.77	98.23	98.23
No.40	0.425	3.81	5.87	7.65	92.35	92.35
No.60	0.250	6.26	9.65	17.30	82.70	82.70
No.100	0.150	6.03	9.30	26.59	73.41	73.41
No.200	0.075	6.67	10.28	36.87	63.13	63.13
Pasa No.200		40.95	63.13	100.00	0.00	0.00
	Total =	64.87				

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS HIDROMETRICO
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/4
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 12 Agosto 2016
 Hidrómetro No. 1 Gs de los Sólidos: 2.32
 Tipo de Hidrómetro: ASTM 152H Corr. por Menisco: 1 Corr. por Defloculante: 5
 Agente Dispersante: Hexametáfosfato de sodio Peso del Suelo Seco (g): 64.87
 % Que pasa No.200 63.13 Factor de Corrección (a): 1.094

Tiempo Transcurrido (Minutos)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura	Corrección por Defloc.	Lectura Real del Hidrómetro	Lectura Corregida del Hidrómetro Rc	% Más Fino	Hidrómetro Corregido Por Menisco o R	L	L/T	K	D (mm)	% Referido a la Muestra Total
2	26	1.65	5	30	26.65	44.9	31	11.14	5.57	0.014	0.033	28
5	25.9	1.62	5	25	21.62	36.5	26	12.20	2.44	0.014	0.022	23
15	25.8	1.58	5	21	17.58	29.6	22	12.90	0.860	0.014	0.013	19
30	25.8	1.58	5	17	13.58	22.9	18	13.50	0.450	0.014	0.009	14
60	25.9	1.62	5	14	10.62	17.9	15	14.00	0.233	0.014	0.007	11
250	27.1	2.05	5	10	7.05	11.9	11	10.90	0.044	0.013	0.003	8
1440	24.9	1.27	5	7	3.27	5.5	8	11.50	0.008	0.014	0.001	3
2880	25.1	1.34	5	6	2.34	3.9	7	15.30	0.005	0.014	0.001	2.5

Observaciones: _____

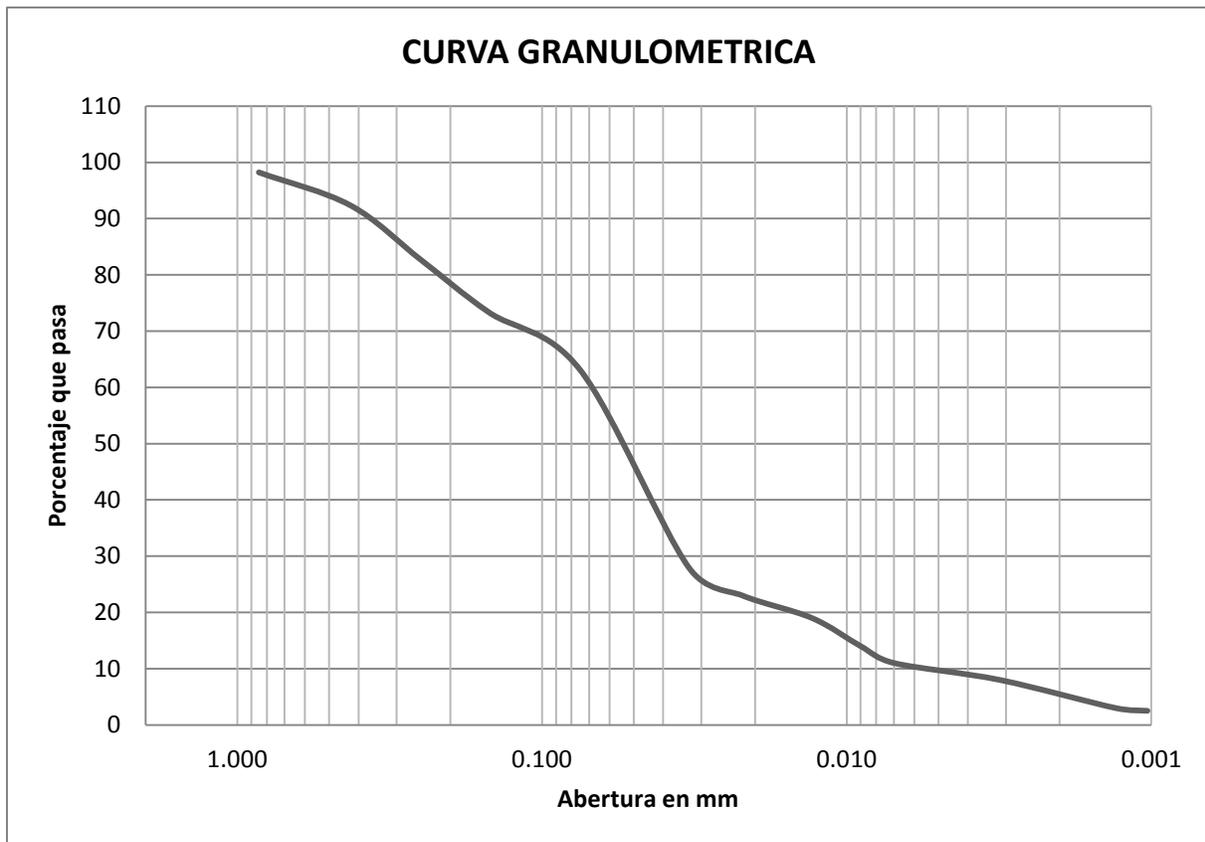


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CURVA GRANULOMETRICA
ASTM D 422-63

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/4
SONDEO No.	5	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	5	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	12 Agosto 2016



Observaciones: _____

ANEXO A-5

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN MÉTODO SUCS

ASTM D 2587-00

Muestra No 1

Porcentaje que pasa la malla No 200 = 84.84%

Límite líquido = 75%

Índice de plasticidad = 45%



Clasificación: CH (Arcilla Inorgánica de Plasticidad Alta)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN MÉTODO SUCS

ASTM D 2587-00

Muestra No 2

Porcentaje que pasa la malla No 200 = 65.84%

Límite líquido = 47%

Índice de plasticidad = 25%



Clasificación: CL (Arcilla Inorgánica de Plasticidad Baja a Media)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN MÉTODO SUCS

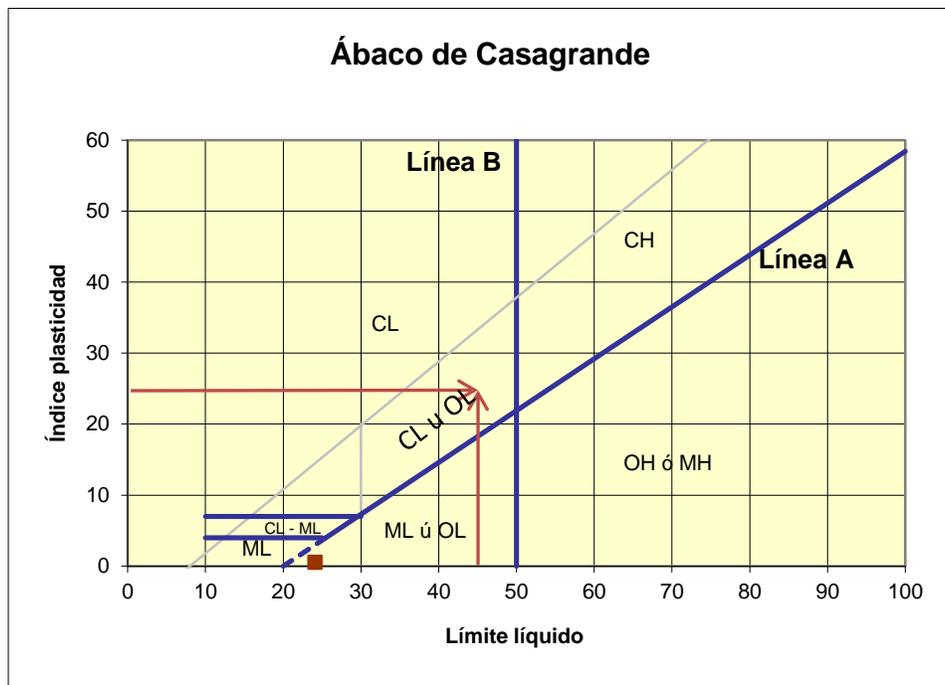
ASTM D 2587-00

Muestra No 3

Porcentaje que pasa la malla No 200 = 70.26%

Límite líquido = 46%

Índice de plasticidad = 25%



Clasificación: CL (Arcilla Inorgánica de Plasticidad Baja a Media)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN MÉTODO SUCS

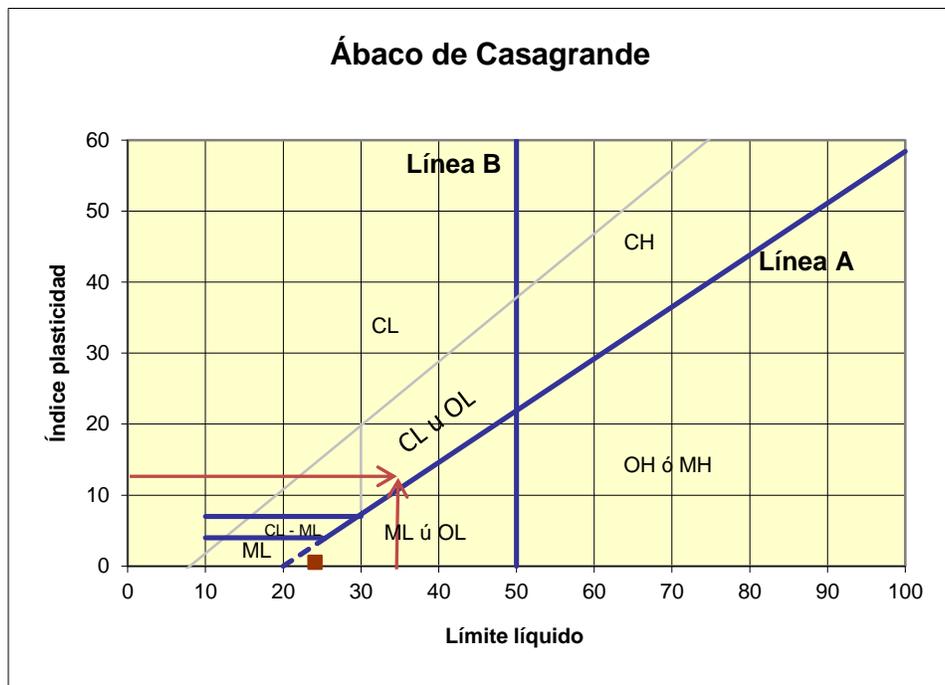
ASTM D 2587-00

Muestra No 4

Porcentaje que pasa la malla No 200 = 59.48%

Límite líquido = 35%

Índice de plasticidad = 13%



Clasificación: CL (Arcilla Inorgánica de Plasticidad Baja a Media)

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN MÉTODO SUCS

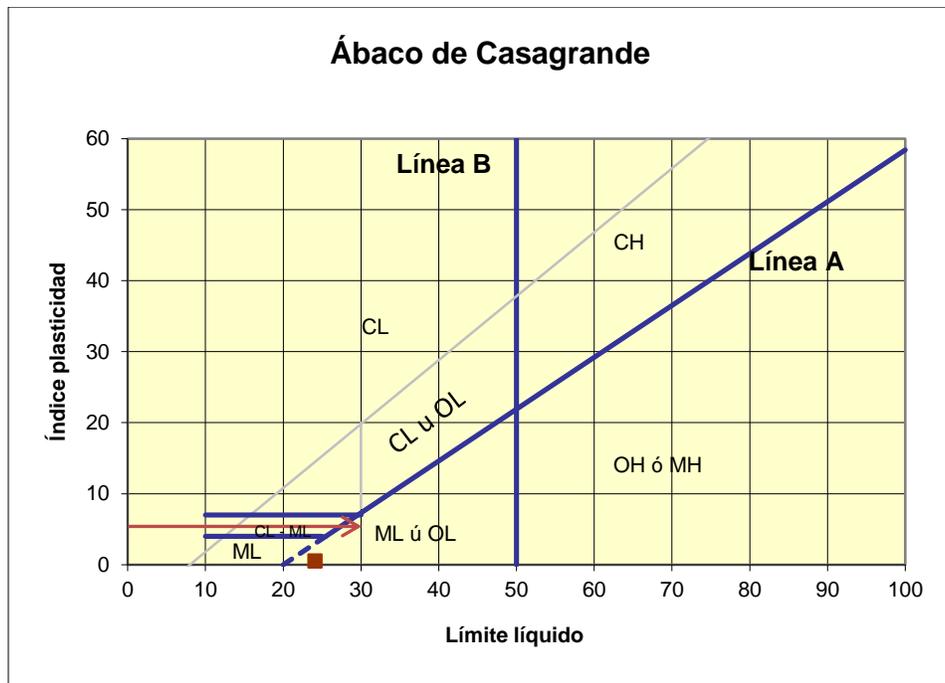
ASTM D 2587-00

Muestra No 5

Porcentaje que pasa la malla No 200 = 63.13%

Límite líquido = 30%

Índice de plasticidad = 5%



Clasificación: ML (Limo Arcilloso con Ligera Plasticidad)

ANEXO A-6



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS AASHTO T 180-01

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 19 Agosto 2016

Norma: AASHTO Método: T 180-01
 No de Capas: 5 Golpes/capa: 25 Dimensiones del Molde:
 Tipo de Suelo: CH No de Molde: 1 h (cm) = 11.64
 Gs: 2.43 Peso de Martillo (lb): 10 D (cm)= 10.12

DETERMINACION DE LA DENSIDAD-HUMEDAD

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000					
Humedad de prueba (%)	20	22	26	28	30					
Agua agregada (ml)	320	380	490	545	600					
Wsuelo húmedo + molde (g)	3642	3820	3830	3827	3801					
Wmolde (g)	2011	2011	2011	2011	2011					
Wsuelo Húmedo (g)	1631	1809	1819	1816	1790					
Volumen del molde (cm ³)	936.28	936.28	936.28	936.28	936.28					
Peso vol. húmedo (kg/m ³)	1742	1932	1943	1940	1912					
Humedad Promedio (%)	16.85	18.36	19.17	19.94	22.72					
Peso vol. seco (kg/m ³)	1491	1632	1630	1617	1558					
Humedad de Saturación (%)	25.9	20.1	21.2	20.7	24.2					
No. de tara	13-5	15-1	10-3	10-10	10-2	1-6	13-4	10-7	G-3	0-3
Wsuelo húmedo + tara (g)	819.3	712.0	931.1	836.1	743.1	762.0	839.1	935.6	880.9	794.4
Wsuelo seco + tara (g)	713.0	620.3	802.5	712.0	634.3	649.6	723.3	777.0	720.3	665.5
W de agua (g)	106.3	91.7	128.6	124.1	108.8	112.4	115.8	158.6	160.6	128.9
W de tara (g)	77.6	79.9	69.2	65.1	65.1	65.0	65.3	65.1	50.6	65.1
W de suelo seco (g)	635.4	540.4	733.3	646.9	569.2	584.6	658.0	711.9	669.7	600.4
Contenido de humedad (%)	16.73	16.97	17.54	19.18	19.11	19.23	17.60	22.28	23.98	21.47



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA

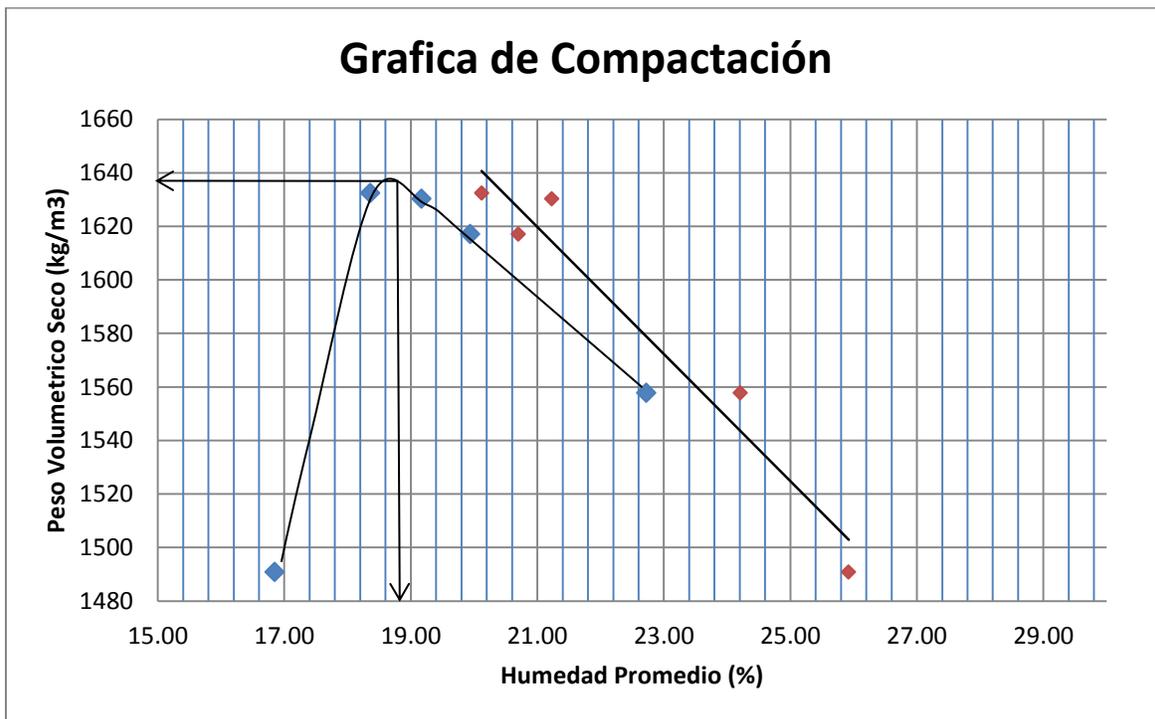


**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO: <u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No. <u>1</u>
UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No. <u>2/2</u>
SONDEO No. <u>1</u>	Laboratorista: <u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No. <u>1</u>	Elaboró: <u>Grupo de Tesis</u>
	Fecha de Ensayo: <u>19 Agosto 2016</u>

Humedad Optima (%) = 18.80
 Peso Volumétrico Máximo (Kg/m3) = 1,639

RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1

UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2

SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis

MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis

Fecha de Ensayo: 19 Agosto 2016

Norma: AASHTO Método: T 180-01

No de Capas: 5 Golpes/capa: 25 Dimensiones del Molde:

Tipo de Suelo: CL No de Molde: 1 h (cm) = 11.64

Gs: 2.47 Peso de Martillo (lb): 10 D (cm)= 10.12

DETERMINACION DE LA DENSIDAD-HUMEDAD

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000					
Humedad de prueba (%)	20	22	24	26	30					
Agua agregada (ml)	400	455	510	565	680					
Wsuelo húmedo + molde (g)	3814	3913	3900	3891	3814					
Wmolde (g)	2011	2011	2011	2011	2011					
Wsuelo Húmedo (g)	1803	1902	1889	1880	1803					
Volumen del molde (cm ³)	936.28	936.28	936.28	936.28	936.28					
Peso vol. húmedo (kg/m ³)	1926	2031	2018	2008	1926					
Humedad Promedio (%)	14.62	16.17	16.93	17.78	22.64					
Peso vol. seco (kg/m ³)	1680	1749	1725	1705	1570					
Humedad de saturación (%)	19.0	16.7	17.5	18.2	23.2					
No. de tara	13-5	14-6	10-7	13-4	10-10	14-4	10-3	0-3	10-2	15-1
Wsuelo húmedo + tara (g)	871.9	933.7	861.5	898.2	827.0	868.6	799.2	946.7	872.1	825.1
Wsuelo seco + tara (g)	790.8	800.2	764.5	768.3	720.0	748.8	688.3	814.4	728.0	683.1
W de agua (g)	81.1	133.5	97.0	129.9	107.0	119.8	110.9	132.3	144.1	142.0
W de tara (g)	77.6	52.8	65.1	65.3	65.1	65.3	69.2	65.1	65.1	79.9
W de suelo seco (g)	713.2	747.4	699.4	703.0	654.9	683.5	619.1	749.3	662.9	603.2
Contenido de humedad (%)	11.37	17.86	13.87	18.48	16.34	17.53	17.91	17.66	21.74	23.54



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA

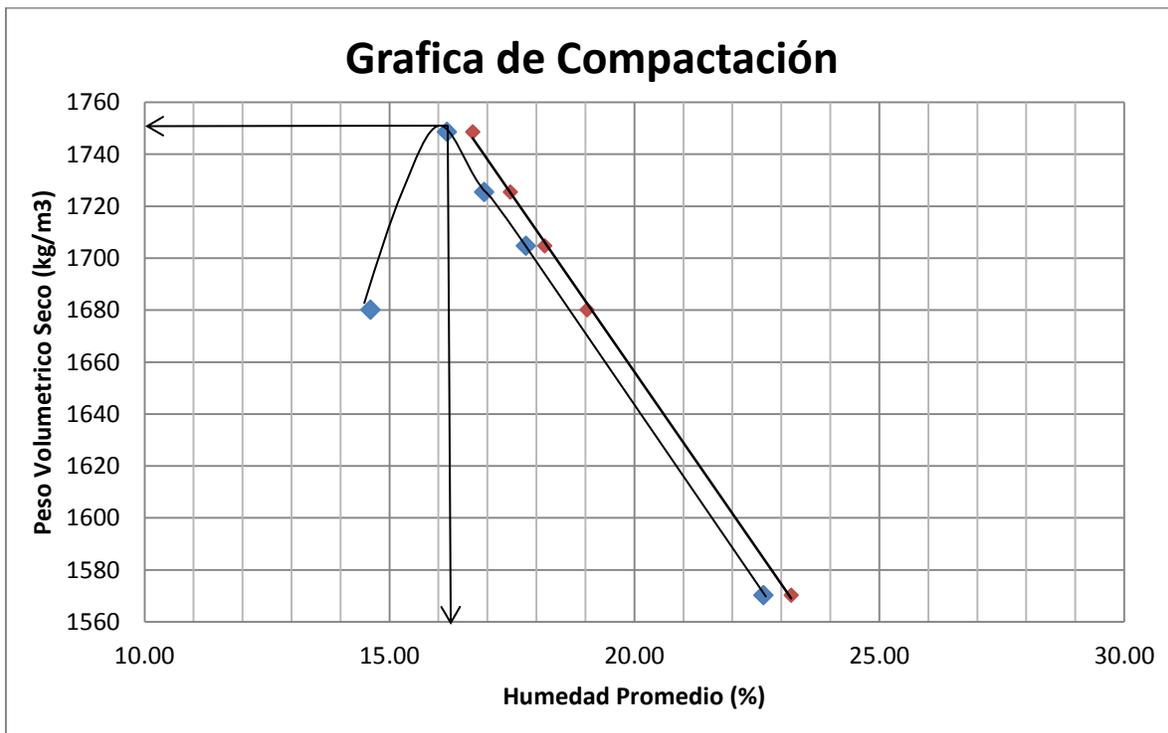


**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>2/2</u>
SONDEO No.	<u>2</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>2</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>19 Agosto 2016</u>

Humedad Optima (%) = 16.20
 Peso Volumétrico Máximo (Kg/m3) = 1,750

RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 25 Agosto2016

Norma: AASHTO Método: T 180-01
 No de Capas: 5 Golpes/capa: 25 Dimensiones del Molde:
 Tipo de Suelo: CL No de Molde: 1 h (cm) = 11.64
 Gs: 2.36 Peso de Martillo (lb): 10 D (cm)= 10.12

DETERMINACION DE LA DENSIDAD-HUMEDAD

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000					
Humedad de prueba (%)	20	22	24	26	28					
Agua agregada (ml)	355	410	465	525	580					
Wsuelo húmedo + molde (g)	3850	3914	3897	3879	3848					
Wmolde (g)	2011	2011	2011	2011	2011					
Wsuelo Húmedo (g)	1839	1903	1886	1868	1837					
Volumen del molde (cm3)	936.28	936.28	936.28	936.28	936.28					
Peso vol. húmedo (kg/m3)	1964	2033	2014	1995	1962					
Humedad Promedio (%)	14.37	15.80	17.98	20.43	22.27					
Peso vol. seco (kg/m3)	1608	1643	1599	1551	1502					
Humedad de saturación (%)	19.8	18.5	20.2	22.1	24.2					
No. de tara	10-3	0-3	15-1	10-10	10-2	13-5	G-3	14-6	13-4	1-6
Wsuelo húmedo + tara (g)	797.7	976.4	962.0	880.5	915.2	916.8	848.0	903.7	789.5	943.1
Wsuelo seco + tara (g)	704.2	867.6	840.5	768.9	786.7	783.9	711.2	765.8	655.1	786.2
W de agua (g)	93.5	108.8	121.5	111.6	128.5	132.9	136.8	137.9	134.4	156.9
W de tara (g)	77.6	79.9	69.2	65.1	64.3	52.8	65.1	65.0	65.3	65.1
W de suelo seco (g)	626.6	787.7	771.3	703.8	722.4	731.1	646.1	700.8	589.8	721.1
Contenido de humedad (%)	14.92	13.81	15.75	15.86	17.79	18.18	21.17	19.68	22.79	21.76

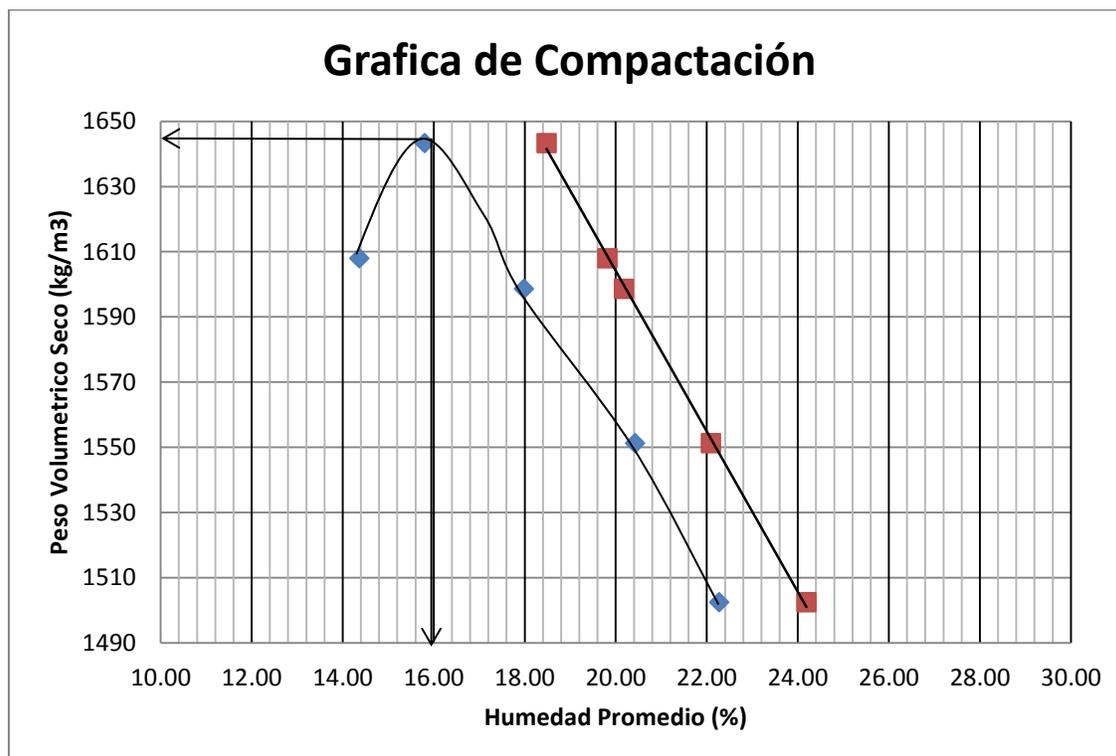


**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
AASHTO T 180-01**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/2
SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 25 Agosto2016

Humedad Optima (%) = 16.00
Peso Volumétrico Máximo (Kg/m³) = 1,648

RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 24 Agosto 2016

Norma: AASHTO Método: T 180-01
 No de Capas: 5 Golpes/capa: 25 Dimensiones del Molde:
 Tipo de Suelo: CL No de Molde: 1 h (cm) = 11.64
 Gs: 2.48 Peso de Martillo (lb): 10 D (cm)= 10.12

DETERMINACION DE LA DENSIDAD-HUMEDAD

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de prueba (%)	16	18	20	24	26					
Agua agregada (ml)	345	390	440	500	555					
Wsuelo húmedo + molde (g)	3886	3944	3954	3889	3845					
Wmolde (g)	2011	2011	2011	2011	2011					
Wsuelo Húmedo (g)	1875	1933	1943	1878	1834					
Volumen del molde (cm ³)	936.28	936.28	936.28	936.28	936.28					
Peso vol. húmedo (kg/m ³)	2003	2065	2075	2006	1959					
Humedad Promedio (%)	15.91	17.79	18.41	22.41	25.20					
Peso vol. seco (kg/m ³)	1618	1641	1641	1534	1465					
Humedad de saturación (%)	19.4	18.6	18.6	22.8	25.9					
No. de tara	12	14-4	X-1	00-6	1-6	10-2	10-10	10-3	0-3	13-4
Wsuelo húmedo + tara (g)	837.8	1023.2	923.2	947.4	885.3	922.6	935.8	904.9	824.0	929.2
Wsuelo seco + tara (g)	731.6	896.0	795.0	813.4	755.7	789.5	776.9	750.7	667.4	756.3
W de agua (g)	106.2	127.2	128.2	134.0	129.6	133.1	158.9	154.2	156.6	172.9
W de tara (g)	77.6	79.9	69.2	65.1	64.3	52.8	65.3	65.1	50.6	65.1
W de suelo seco (g)	654.0	816.1	725.8	748.3	691.4	736.7	711.6	685.6	616.8	691.2
Contenido de humedad (%)	16.24	15.59	17.66	17.91	18.74	18.07	22.33	22.49	25.39	25.01



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA

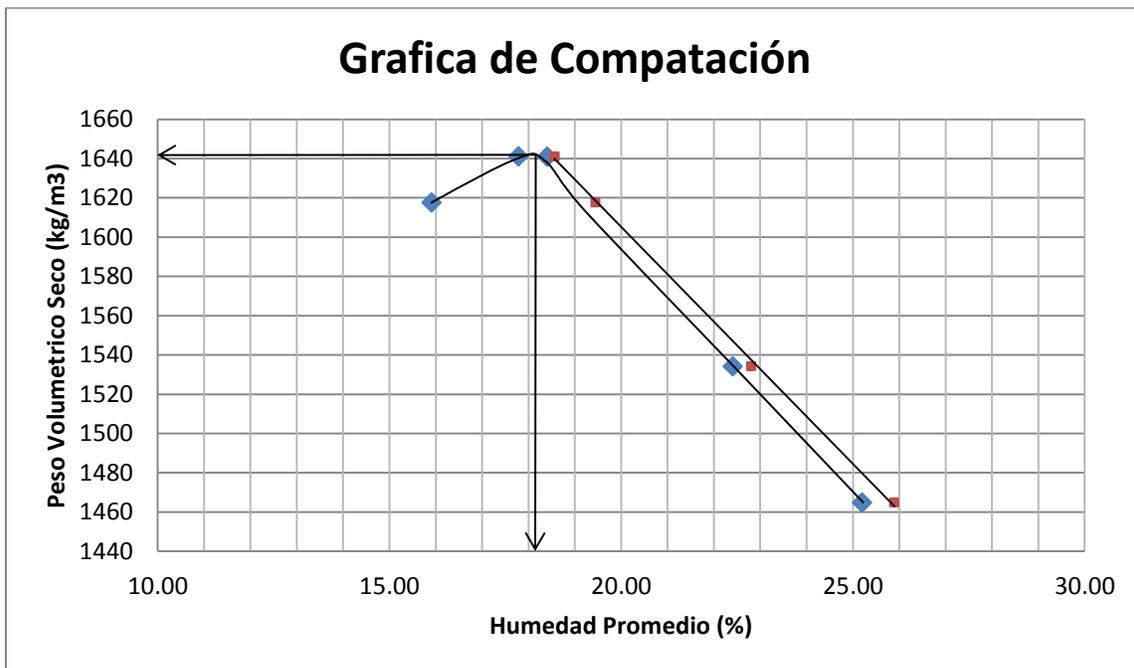


**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO: <u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No. <u>1</u>
UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No. <u>2/2</u>
SONDEO No. <u>4</u>	Laboratorista: <u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No. <u>4</u>	Elaboró: <u>Grupo de Tesis</u>
	Fecha de Ensayo: <u>24 Agosto 2016</u>

Humedad Optima (%) = 18.20
 Peso Volumétrico Máximo (Kg/m3) = 1,642

RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 07 Sept. 2016

Norma: AASHTO Método: T 180-01

No de Capas: 5 Golpes/capa: 25 Dimensiones del Molde:
 Tipo de Suelo: ML No de Molde: 1 h (cm) = 11.64
 Gs: 2.32 Peso de Martillo (lb): 10 D (cm)= 10.12

DETERMINACION DE LA DENSIDAD-HUMEDAD

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000					
Humedad de prueba (%)	16	18	22	24	26					
Agua agregada (ml)	190	245	355	410	460					
Wsuelo húmedo + molde (g)	3750	3771	3870	3883	3860					
Wmolde (g)	2011	2011	2011	2011	2011					
Wsuelo Húmedo (g)	1739	1760	1859	1872	1849					
Volumen del molde (cm ³)	936.28	936.28	936.28	936.28	936.28					
Peso vol. húmedo (kg/m ³)	1857	1880	1986	1999	1975					
Humedad Promedio (%)	15	16	20	21	24					
Peso vol. seco (kg/m ³)	1513	1518	1544	1541	1494					
Humedad de saturación (%)	23.7	23.5	22.4	22.5	24.6					
No. de tara	1-6	14-4	G-3	00-6	0-3	X-1	10-3	10-10	14-9	0-4
Wsuelo húmedo + tara (g)	804.2	752.0	730.0	856.1	938.1	803.1	710.2	721.6	750.8	674.3
Wsuelo seco + tara (g)	710.4	664.4	638.9	747.9	788.5	679.1	596.9	604.9	618.3	555.4
W de agua (g)	93.8	87.6	91.1	108.2	149.6	124.0	113.3	116.7	132.5	118.9
W de tara (g)	77.6	79.9	69.2	65.1	65.1	65.0	65.3	65.1	50.6	65.1
W de suelo seco (g)	632.8	584.5	569.7	682.8	723.4	614.1	531.6	539.8	567.7	490.3
Contenido de humedad (%)	14.82	14.99	15.99	15.85	20.68	20.19	21.31	21.62	23.34	24.25



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA

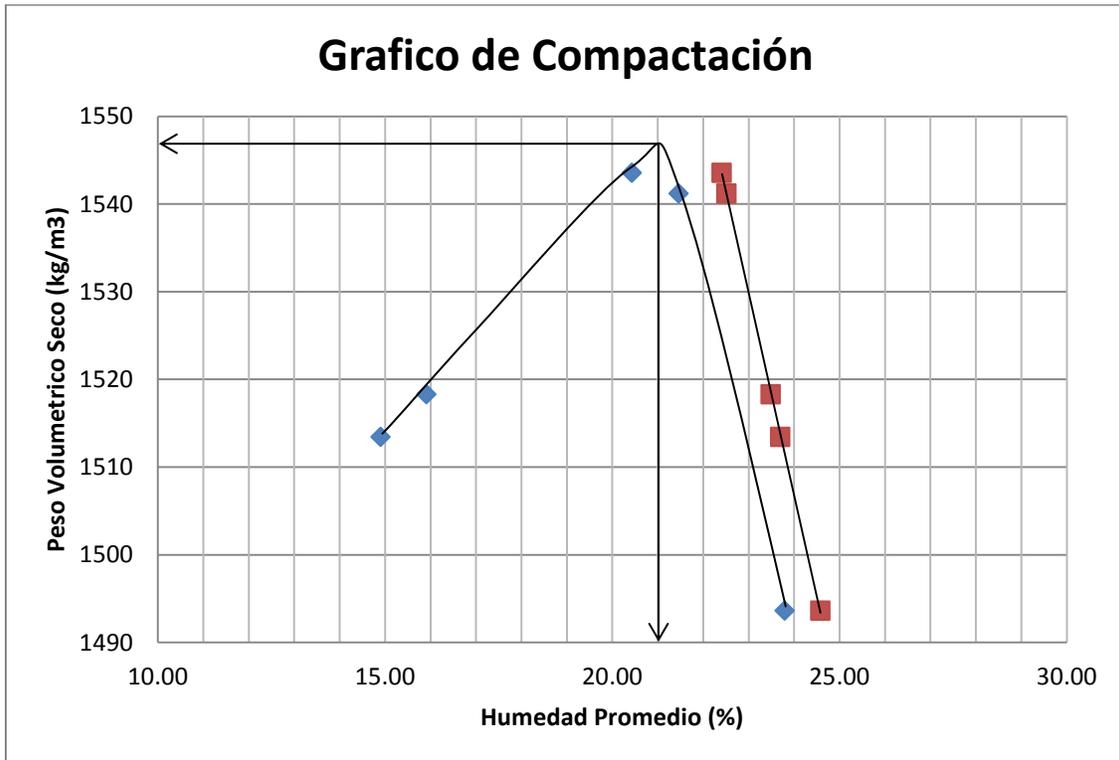


**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>2/2</u>
SONDEO No.	<u>5</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>5</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>07 Sep. 2016</u>

Humedad Optima (%) = 21.00
 Peso Volumétrico Máximo (Kg/m3) = 1,548

RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD



Observaciones: _____

ANEXO A-7



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/6
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	05-09 Sep. 2016

COMPACTACION

Molde No / No de golpes	3 / 56		2 / 25		1 / 10	
Agua Agregada (ml)	805		805		805	
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	10.435		9.856		9.501	
Peso molde (Kg)	6.423		6.308		6.326	
Peso suelo húmedo (Kg)	4.012		3.548		3.175	
Volumen del molde (m3)	0.002068		0.0020640		0.0020580	
Contenido de agua (%)	18.96		18.88		19.00	
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m3)	1940.04		1718.99		1542.76	
Peso Volumétrico seco (Kg/m3)	1630.83		1445.99		1296.44	
Peso de la muestra antes penetración (Kg)	4.257		4.148		3.83	
Saturada + molde después penetración (Kg)	10.68		10.456		10.154	
Peso muestra saturada después penetración (Kg)	4.257		4.148		3.828	
Peso Volumétrico húmedo saturado (Kg/m3)	2058.51		2009.69		1860.06	
Peso Volumétrico seco saturado (Kg/m3)	1475.05		1434.16		1284.12	
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA						
w % (De Saturación)	39.56		40.13		44.85	
Tara No.	14-6	A	X-2	C-37	10-8	G-1
Peso suelo húmedo + tara	257.50	195.10	228.20	236.80	222.20	235.80
Peso suelo seco + tara	198.50	154.90	180.10	189.40	167.40	181.40
Peso de tara	52.80	50.80	65.50	65.60	53.50	50.60
Peso de Agua	59.00	40.20	48.10	47.40	54.80	54.40
Peso de suelo seco	145.70	104.10	114.60	123.80	113.90	130.80
Contenido de agua (%)	40.49	38.62	41.97	38.29	48.11	41.59



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/6
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-09 Sep. 2016

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No / No de Golpes: 3 / 56			Molde No / No de Golpes: 2 / 25			Molde No / No de Golpes: 1 / 10		
Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.		
Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)
5/9/2016 2:15 p.m	0.00	0.000000	5/9/2016 2:15 p.m	0.00	0.000000	5/9/2016 2:15 p.m	0.00	0.000000
6/9/2016 2:15 p.m	242.00	0.242000	6/9/2016 2:15 p.m	466.00	0.466000	6/9/2016 2:15 p.m	448.00	0.448000
7/9/2016 2:15 p.m	398.00	0.398000	7/9/2016 2:15 p.m	729.00	0.729000	7/9/2016 2:15 p.m	459.00	0.459000
8/9/2016 2:15 p.m	441.00	0.441000	8/9/2016 2:15 p.m	776.00	0.776000	8/9/2016 2:15 p.m	459.04	0.459040
9/9/2016 2:15 p.m	472.00	0.472000	9/9/2016 2:15 p.m	782.00	0.782000	9/9/2016 2:15 p.m	464.04	0.464040

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/6
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-09 Sep. 2016

PENETRACION

Penetración en Pulg.	Molde No. 3		Molde No. 2		Molde No. 1	
	No de Golpes: 56		No de Golpes: 25		No de Golpes: 10	
	Lect. (0.001")	Lb / pulg2	Lect. (0.001")	Lb / pulg2	Lect. (0.001")	Lb / pulg2
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.018	6.23	0.007	1.65	0.025	4.08
0.050	0.043	15.39	0.032	6.66	0.050	7.59
0.075	0.068	21.05	0.057	10.45	0.075	10.09
0.100	0.093	23.63	0.082	13.32	0.100	11.81
0.150	0.143	25.92	0.150	17.54	0.150	13.67
0.200	0.193	27.85	0.182	20.05	0.200	15.32
0.250	0.243	29.35	0.232	21.84	0.250	16.61
0.300	0.293	31.79	0.300	23.27	0.300	17.40
0.400	0.393	34.29	0.382	24.63	0.400	18.97
0.500	0.493	38.30	0.482	26.49	0.500	20.40

Observaciones: _____

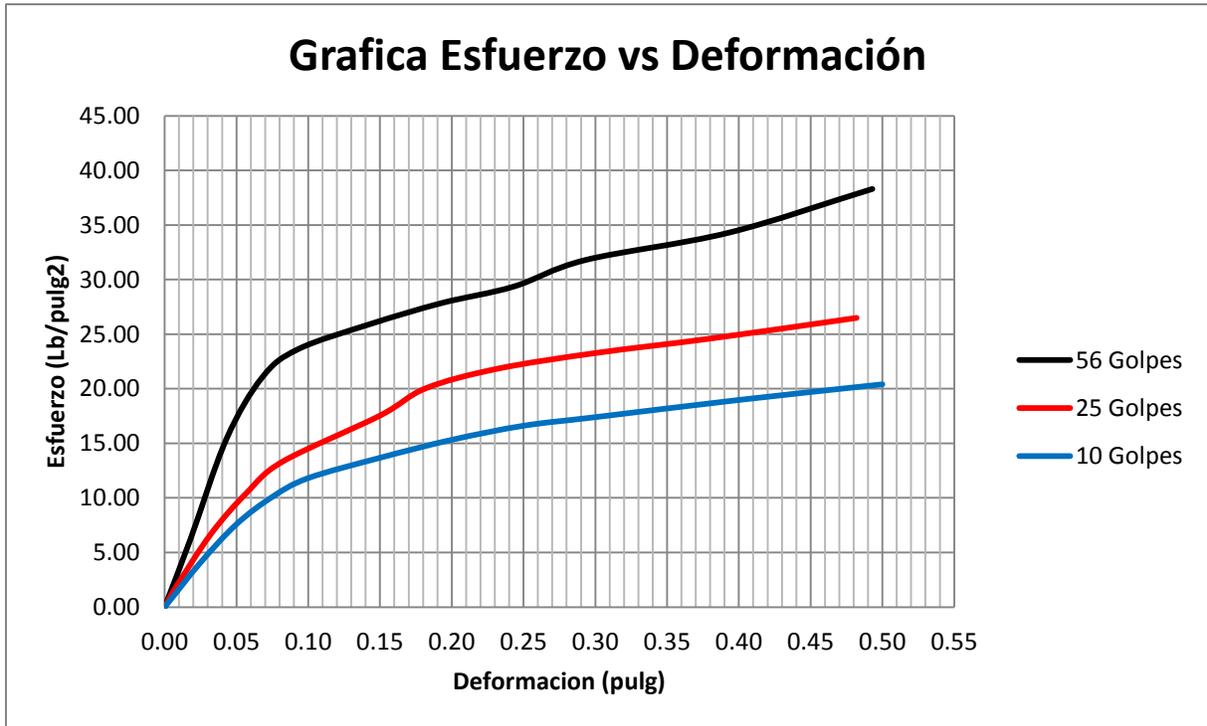


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/6
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	05-09 Sep. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 5/6
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-09 Sep. 2016

CUADRO RESUMEN PARA ENCONTRAR EL VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)

Lectura del defor. (0.001")	Carga Estándar	Molde No. 3			Molde No. 2			Molde No. 1		
		No de Golpes: 56			No de Golpes: 25			No de Golpes: 10		
		Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR
0		0	0		0	0		0	0	
25		0.018	6.23		0.007	1.65		0.025	4.08	
50		0.043	15.39		0.032	6.66		0.050	7.59	
75		0.068	21.05		0.057	10.45		0.075	10.09	
100	1000	0.093	23.63	2.36	0.082	13.32	1.33	0.100	11.81	1.18
150		0.143	25.92		0.150	17.54		0.150	13.67	
200	1500	0.193	27.85	1.86	0.182	20.05	1.34	0.200	15.32	1.02
250		0.243	29.35		0.232	21.84		0.250	16.61	
300		0.293	31.79		0.300	23.27		0.300	17.40	
400		0.393	34.29		0.382	24.63		0.400	18.97	
500		0.493	38.30		0.482	26.49		0.500	20.40	

Observaciones: _____

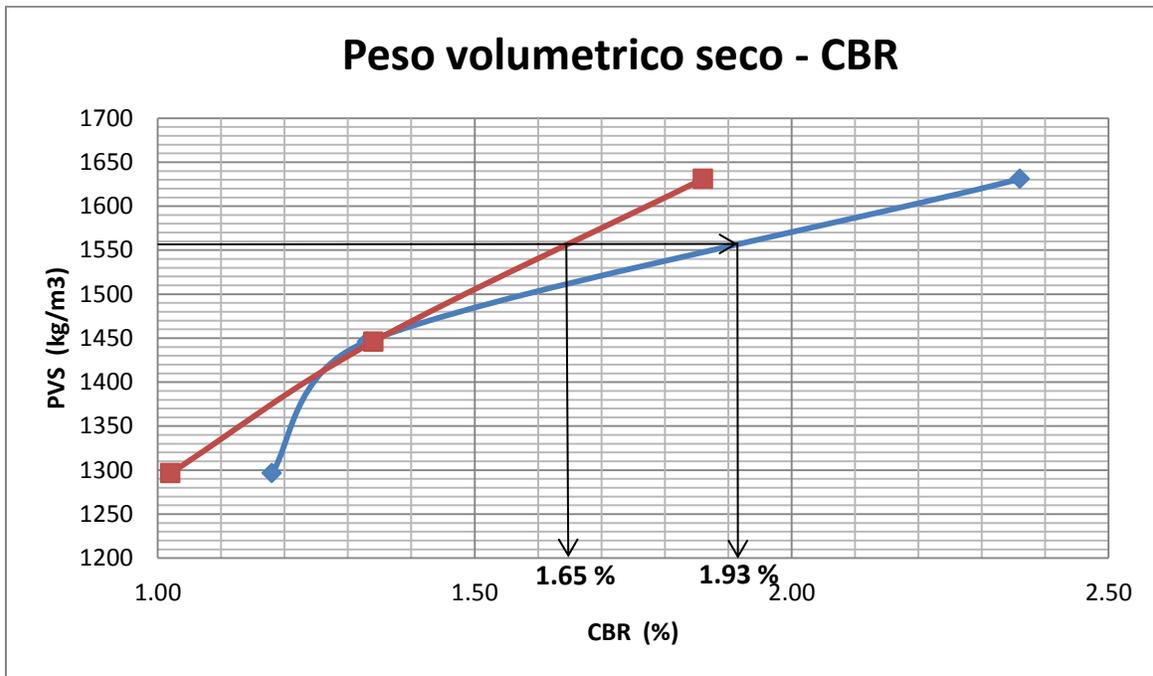


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>6/6</u>
SONDEO No.	<u>1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>1</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>05-09 Sep. 2016</u>
Densidad Máxima Proctor (Kg/m ³) =	<u>1,639</u>	CBR (%) de 0.100" =	<u>1.93</u>
Densidad al 95% (Kg/m ³) =	<u>1,557</u>	CBR (%) de 0.200" =	<u>1.65</u>



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/6
SONDEO No.	2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	09-13 Sep. 2016

COMPACTACION

Molde No / No de golpes	1 / 56	2 / 25	3 / 10
Agua Agregada (ml)	805	805	805
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	10.377	10.038	9.720
Peso molde (Kg)	6.326	6.308	6.423
Peso suelo húmedo (Kg)	4.051	3.730	3.297
Volumen del molde (m3)	0.0020580	0.0020640	0.002068
Contenido de agua (%)	16.13	15.99	16.08
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m3)	1968.42	1807.17	1594.29
Peso Volumétrico seco (Kg/m3)	1695.01	1558.04	1373.44
Peso de la muestra antes penetración (Kg)	4.051	4.204	3.861
Saturada + molde Después penetración (Kg)	10.720	10.512	10.283
Peso muestra saturada después penetración (Kg)	4.394	4.204	3.860
Peso Volumétrico húmedo saturado (Kg/m3)	2135.08	2036.82	1866.54
Peso Volumétrico seco saturado (Kg/m3)	1760.70	1623.73	1444.99

HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA

w % (De Saturación)	21.26		25.44		29.17	
Tara No.	10-2	G-3	14-4	0-4	00-6	X-1
Peso suelo húmedo + tara	305.30	250.70	318.60	253.50	312.00	301.40
Peso suelo seco + tara	256.90	221.20	262.50	218.80	252.30	245.60
Peso de tara	65.10	50.60	64.30	65.10	51.10	51.00
Peso de Agua	48.40	29.50	56.10	34.70	59.70	55.80
Peso de suelo seco	191.80	170.60	198.20	153.70	201.20	194.60
Contenido de agua (%)	25.23	17.29	28.30	22.58	29.67	28.67



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/6
 SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 09-13 Sep. 2016

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No / No de Golpes: 1 / 56			Molde No / No de Golpes: 2 / 25			Molde No / No de Golpes: 3 / 10		
Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.		
Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)
09/09/2016 4:00 p.m	0.00	0.000000	09/09/2016 4:00 p.m	0.00	0.000000	09/09/2016 4:00 p.m	0.00	0.000000
09/10/2016 4:00 p.m	270.00	0.270000	09/10/2016 4:00 p.m	355.00	0.355000	09/10/2016 4:00 p.m	307.00	0.307000
09/11/2016 4:00 p.m	353.00	0.353000	09/11/2016 4:00 p.m	380.00	0.380000	09/11/2016 4:00 p.m	319.00	0.319000
09/12/2016 4:00 p.m	389.00	0.389000	09/12/2016 4:00 p.m	388.00	0.388000	09/12/2016 4:00 p.m	323.00	0.323000
13/9/2016 4:00 p.m	410.00	0.410000	13/9/2016 4:00 p.m	391.00	0.391000	13/9/2016 4:00 p.m	325.00	0.325000

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	3/6
SONDEO No.	2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	09-13 Sep. 2016

PENETRACION

Penetración en Pulg.	Molde No. 1		Molde No. 2		Molde No. 3	
	No de Golpes: 56		No de Golpes: 25		No de Golpes: 10	
	Lect. (0.001")	Lb / pulg ²	Lect. (0.001")	Lb / pulg ²	Lect. (0.001")	Lb / pulg ²
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	0.025	8.16	0.025	6.66	0.025	3.58
0.050	0.050	13.89	0.050	11.24	0.050	5.58
0.075	0.075	18.26	0.075	14.96	0.075	7.23
0.100	0.100	21.34	0.100	18.11	0.100	8.66
0.150	0.150	27.56	0.150	23.20	0.150	11.17
0.200	0.200	31.14	0.200	27.06	0.200	13.60
0.250	0.250	35.87	0.250	29.93	0.250	15.82
0.300	0.300	39.38	0.300	32.07	0.300	18.04
0.400	0.400	45.61	0.400	36.16	0.400	22.05
0.500	0.500	51.33	0.500	40.17	0.500	25.85

Observaciones: _____

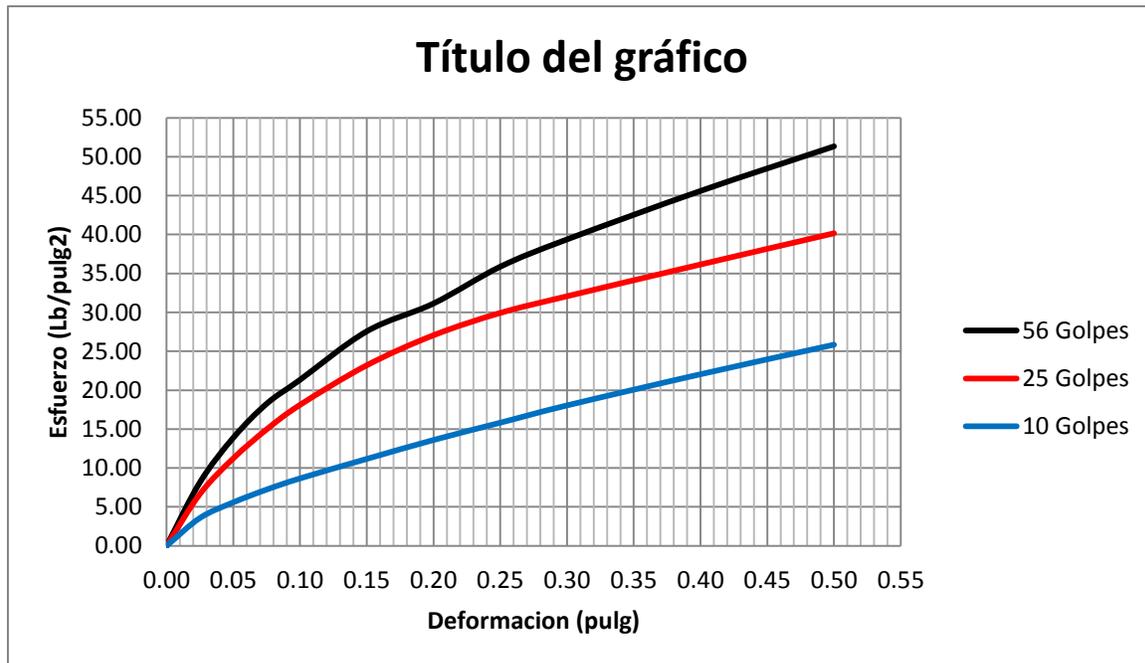


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/6
SONDEO No.	2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	09-13 Sep. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 5/6
 SONDEO No. 2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 09-13 Sep. 2016

CUADRO RESUMEN PARA ENCONTRAR EL VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)

Lectura del defor. (0.001")	Carga Estándar	Molde No. 1			Molde No. 2			Molde No. 3		
		No de Golpes: 56			No de Golpes: 25			No de Golpes: 10		
		Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR
0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
25		0.025	8.16		0.025	6.66		0.025	3.58	
50		0.050	13.89		0.050	11.24		0.050	5.58	
75		0.075	18.26		0.075	14.96		0.075	7.23	
100	1000	0.100	21.34	2.13	0.100	18.11	1.81	0.100	8.66	0.87
150		0.150	27.56		0.150	23.20		0.150	11.17	
200	1500	0.200	31.14	2.08	0.200	27.06	1.80	0.200	13.60	0.91
250		0.250	35.87		0.250	29.93		0.250	15.82	
300		0.300	39.38		0.300	32.07		0.300	18.04	
400		0.400	45.61		0.400	36.16		0.400	22.05	
500		0.500	51.33		0.500	40.17		0.500	25.85	

Observaciones: _____

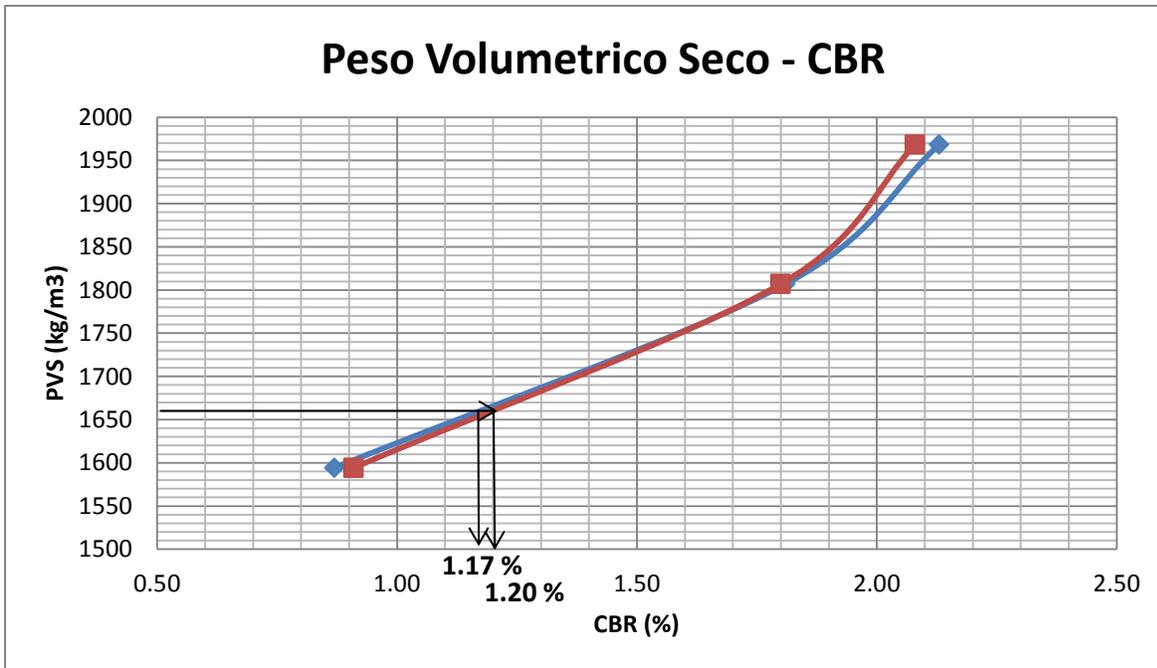


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>6/6</u>
SONDEO No.	<u>2</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>2</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>09-13 Sep. 2016</u>
Densidad Máxima Proctor (Kg/m ³) =	<u>1,750</u>	CBR de 0.100" (%) =	<u>1.17</u>
Densidad al 95% (Kg/m ³) =	<u>1,663</u>	CBR de 0.200" (%) =	<u>1.20</u>



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/6
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-09 Sep. 2016

COMPACTACION

Molde No / No de golpes	4 / 56		5 / 25		6-1 / 10	
Agua Agregada (ml)	700		700		700	
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	11.403		11.215		10.551	
Peso molde (Kg)	7.121		7.227		7.085	
Peso suelo húmedo (Kg)	4.282		3.988		3.466	
Volumen del molde (m3)	0.002063		0.0020695		0.0020632	
Contenido de agua (%)	18.08		17.84		18.02	
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m3)	2075.46		1927.02		1679.95	
Peso Volumétrico seco (Kg/m3)	1757.67		1635.29		1423.45	
Peso de la muestra antes penetración (Kg)	4.414		4.241		3.973	
Saturada + molde después penetración (Kg)	11.535		11.463		11.058	
Peso muestra saturada después penetración (Kg)	4.414		4.236		3.973	
Peso Volumétrico húmedo saturado (Kg/m3)	2139.44		2046.86		1925.69	
Peso Volumétrico seco saturado (Kg/m3)	1750.49		1612.62		1424.19	
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA						
w % (De Saturación)	22.22		26.93		35.21	
Tara No.	13-4	10-4	11-3	0-7	10-7	11-10
Peso suelo húmedo + tara	385.60	393.60	378.90	374.20	262.30	247.70
Peso suelo seco + tara	321.90	339.70	300.08	319.50	208.30	200.00
Peso de tara	65.30	64.90	65.20	50.00	65.10	54.20
Peso de Agua	63.70	53.90	78.82	54.70	54.00	47.70
Peso de suelo seco	256.60	274.80	234.88	269.50	143.20	145.80
Contenido de agua (%)	24.82	19.61	33.56	20.30	37.71	32.72



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	2/6
SONDEO No.	3	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	05-09 Sep. 2016

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No / No de Golpes: 4 / 56			Molde No / No de Golpes: 5 / 25			Molde No / No de Golpes: 6-1 / 10		
Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.		
Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)
5/9/2016 4:20 p.m	0.00	0.000000	5/9/2016 4:20 p.m	0.00	0.000000	5/9/2016 4:20 p.m	0.00	0.000000
6/9/2016 4:20 p.m	123.00	0.123000	6/9/2016 4:20 p.m	184.00	0.184000	6/9/2016 4:20 p.m	369.00	0.369000
7/9/2016 4:20 p.m	157.00	0.157000	7/9/2016 4:20 p.m	250.00	0.250000	7/9/2016 4:20 p.m	373.00	0.373000
8/9/2016 4:20 p.m	186.00	0.186000	8/9/2016 4:20 p.m	304.00	0.304000	8/9/2016 4:20 p.m	375.00	0.375000
9/9/2016 4:20 p.m	207.00	0.207000	9/9/2016 4:20 p.m	335.00	0.335000	9/9/2016 4:20 p.m	380.00	0.380000

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/6
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-09 Sep. 2016

PENETRACION

Penetración en Pulg.	Molde No. 4		Molde No. 5		Molde No. 6-1	
	No de Golpes: 56		No de Golpes: 25		No de Golpes: 10	
	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.013	8.59	0.008	3.22	0.018	4.37
0.050	0.038	24.70	0.033	12.82	0.043	9.88
0.075	0.063	37.87	0.058	20.12	0.068	13.25
0.100	0.088	43.89	0.083	24.70	0.093	15.39
0.150	0.138	49.90	0.133	29.50	0.143	18.47
0.200	0.188	56.63	0.183	33.01	0.193	20.83
0.250	0.238	58.42	0.233	36.30	0.243	22.55
0.300	0.288	61.93	0.283	38.45	0.293	24.20
0.400	0.388	72.24	0.383	42.60	0.393	26.63
0.500	0.488	82.26	0.483	46.47	0.493	29.14

Observaciones: _____

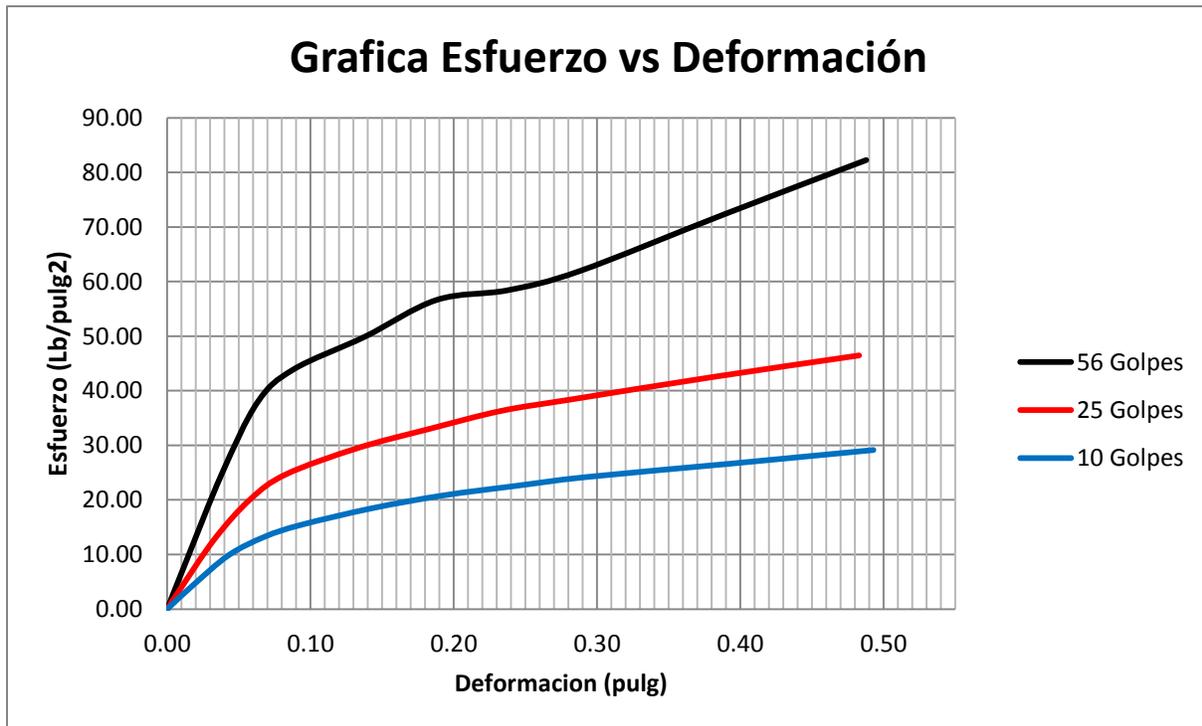


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/6
SONDEO No.	3	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	05-09 Sep. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 5/6
 SONDEO No. 3 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 05-09 Sep. 2016

CUADRO RESUMEN PARA ENCONTRAR EL VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)

Lectura del defor. (0.001")	Carga Estándar	Molde No. 4			Molde No. 5			Molde No. 6-1		
		No de Golpes: 56			No de Golpes: 25			No de Golpes: 10		
		Deformac. (pulg)	Lb / pulg2	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg2	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg2	CBR
0		0.00	0		0.00	0		0.00	0	
25		0.013	8.59		0.008	3.22		0.018	4.37	
50		0.038	24.70		0.033	12.82		0.043	9.88	
75		0.063	37.87		0.058	20.12		0.068	13.25	
100	1000	0.088	43.89	4.39	0.083	24.70	2.47	0.093	15.39	1.54
150		0.138	49.90		0.133	29.50		0.143	18.47	
200	1500	0.188	56.63	3.78	0.183	33.01	2.20	0.193	20.83	1.39
250		0.238	58.42		0.233	36.30		0.243	22.55	
300		0.288	61.93		0.283	38.45		0.293	24.20	
400		0.388	72.24		0.383	42.60		0.393	26.63	
500		0.488	82.26		0.483	46.47		0.493	29.14	

Observaciones: _____

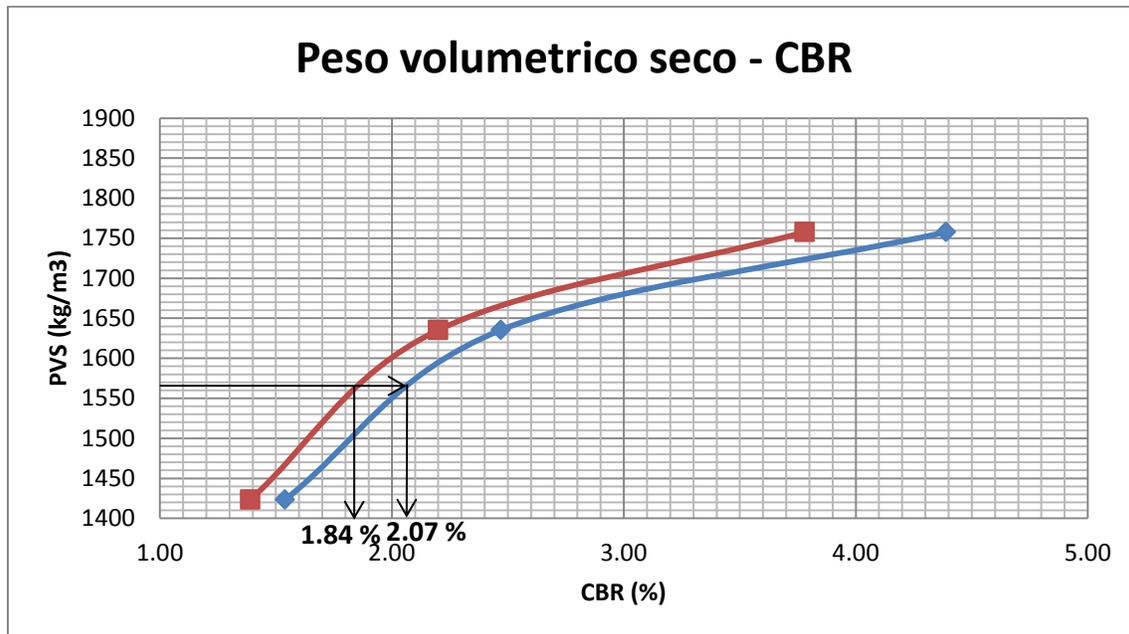


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	6/6
SONDEO No.	3	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	05-09 Sep. 2016
Densidad Máxima Proctor (Kg/m ³) =	1,648	CBR (%) de 0.100" =	2.07
Densidad al 95% (Kg/m ³) =	1,565	CBR (%) de 0.200" =	1.84



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/6
SONDEO No.	4	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	19-23 Sep. 2016

COMPACTACION

Molde No / No de golpes	3 / 56		2 / 25		1 / 10	
Agua Agregada (ml)	450		450		450	
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	10.719		10.327		9.911	
Peso molde (Kg)	6.423		6.308		6.326	
Peso suelo húmedo (Kg)	4.296		4.019		3.585	
Volumen del molde (m3)	0.002068		0.0020640		0.0020580	
Contenido de agua (%)	18.26		17.94		17.91	
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m3)	2077.37		1947.19		1741.98	
Peso Volumétrico seco (Kg/m3)	1756.61		1651.00		1477.38	
Peso de la muestra antes penetración (Kg)	4.511		4.320		3.998	
Saturada + molde después penetración (Kg)	10.924		10.637		10.34	
Peso muestra saturada después penetración (Kg)	4.501		4.329		4.014	
Peso Volumétrico húmedo saturado (Kg/m3)	2176.50		2097.38		1950.44	
Peso Volumétrico seco saturado (Kg/m3)	1812.45		1728.71		1590.70	
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA						
w % (De Saturación)	20.09		21.33		22.61	
Tara No.	0-3	0-4	10-2	G-3	10-10	00-6
Peso suelo húmedo + tara	278.20	255.40	299.00	276.20	332.20	262.50
Peso suelo seco + tara	241.60	224.40	256.00	238.40	281.70	224.50
Peso de tara	65.10	64.90	65.10	50.60	65.10	51.10
Peso de Agua	36.60	31.00	43.00	37.80	50.50	38.00
Peso de suelo seco	176.50	159.50	190.90	187.80	216.60	173.40
Contenido de agua (%)	20.74	19.44	22.52	20.13	23.31	21.91



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/6
SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 19-23 Sep. 2016

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No / No de Golpes: 3 / 56			Molde No / No de Golpes: 2 / 25			Molde No / No de Golpes: 1 / 10		
Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.		
Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)
19/9/2016 12:30 p.m	0.00	0.000000	19/9/2016 12:30 p.m	0.00	0.000000	19/9/2016 12:30 p.m	0.00	0.000000
20/9/2016 12:30 p.m	143.00	0.143000	20/9/2016 12:30 p.m	171.00	0.171000	20/9/2016 12:30 p.m	149.00	0.149000
21/9/2016 12:30 p.m	176.00	0.176000	21/9/2016 12:30 p.m	179.00	0.179000	21/9/2016 12:30 p.m	151.00	0.151000
22/9/2016 12:30 p.m	195.00	0.195000	22/9/2016 12:30 p.m	182.00	0.182000	22/9/2016 12:30 p.m	153.00	0.153000
23/9/2016 12:30 p.m	201.00	0.201000	23/9/2016 12:30 p.m	184.00	0.184000	23/9/2016 12:30 p.m	154.00	0.154000

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/6
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 19-23 Sep. 2016

PENETRACION

Penetración en Pulg.	Molde No. 3		Molde No. 2		Molde No. 1	
	No de Golpes: 56		No de Golpes: 25		No de Golpes: 10	
	Lect. (0.001")	Lb / pulg2	Lect. (0.001")	Lb / pulg2	Lect. (0.001")	Lb / pulg2
0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
0.025	0.025	10.52	0.025	10.67	0.025	8.52
0.050	0.050	19.83	0.050	20.98	0.050	15.97
0.075	0.075	31.14	0.075	31.86	0.075	21.69
0.100	0.100	42.24	0.100	43.46	0.100	26.56
0.150	0.150	65.65	0.150	62.93	0.150	33.72
0.200	0.200	86.27	0.200	75.46	0.200	39.02
0.250	0.250	102.38	0.250	84.20	0.250	42.67
0.300	0.300	115.05	0.300	92.72	0.300	45.89
0.400	0.400	135.39	0.400	108.18	0.400	50.19
0.500	0.500	154.43	0.500	123.57	0.500	58.06

Observaciones: _____



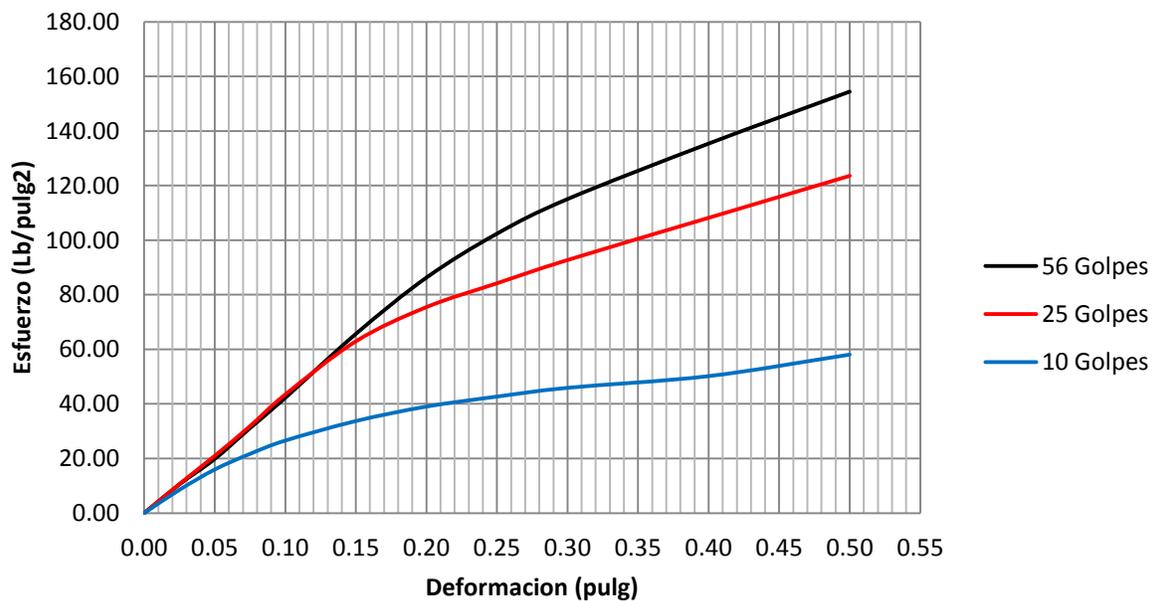
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/6
SONDEO No.	4	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	19-23 Sep. 2016

Grafica Esfuerzo vs Deformación



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 5/6
 SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 19-23 Sep. 2016

CUADRO RESUMEN PARA ENCONTRAR EL VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)

Lectura del defor. (0.001")	Carga Estándar	Molde No. 3			Molde No. 2			Molde No. 1		
		No de Golpes: 56			No de Golpes: 25			No de Golpes: 10		
		Deformac. (pulg)	Lb / pulg2	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg2	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg2	CBR
0		0	0		0	0		0	0	
25		0.025	10.52		0.025	10.67		0.025	8.52	
50		0.050	19.83		0.050	20.98		0.050	15.97	
75		0.075	31.14		0.075	31.86		0.075	21.69	
100	1000	0.100	42.24	4.22	0.100	43.46	4.35	0.100	26.56	2.66
150		0.150	65.65		0.150	62.93		0.150	33.72	
200	1500	0.200	86.27	5.75	0.200	75.46	5.03	0.200	39.02	2.60
250		0.250	102.38		0.250	84.20		0.250	42.67	
300		0.300	115.05		0.300	92.72		0.300	45.89	
400		0.400	135.39		0.400	108.18		0.400	50.19	
500		0.500	154.43		0.500	123.57		0.500	58.06	

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

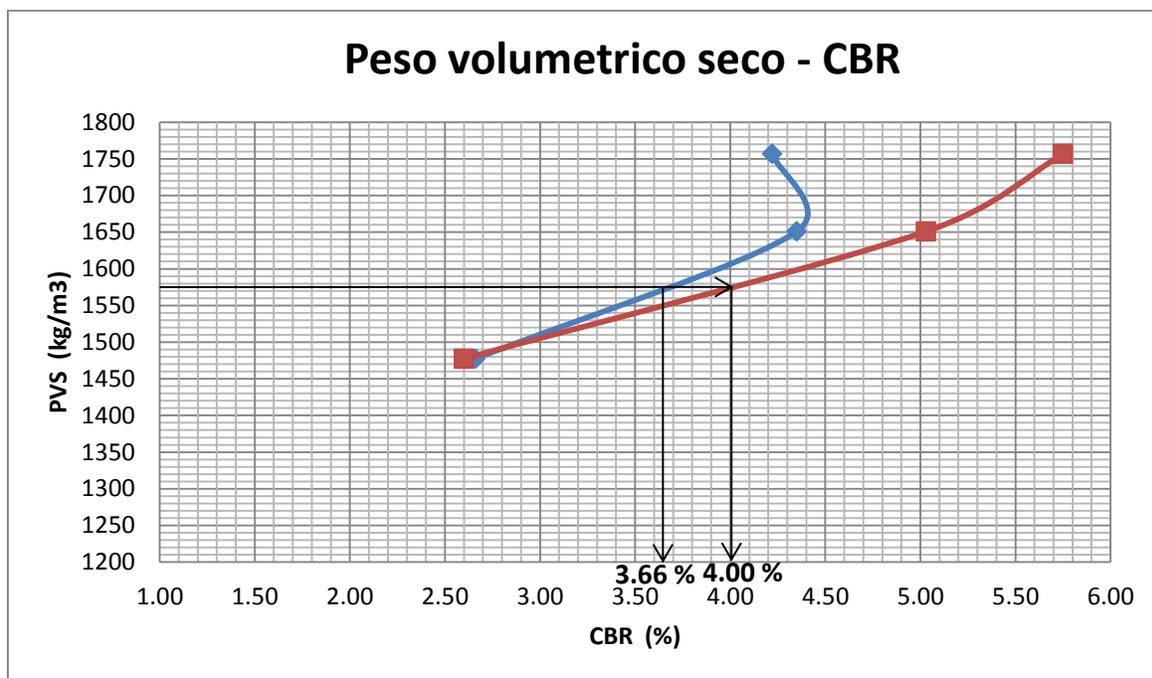
PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 6/6
SONDEO No. 4 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 19-23 Sep. 2016

Densidad Máxima Proctor (Kg/m³) = 1,642

CBR de 0.100" (%) = 3.66

Densidad al 95% (Kg/m³) = 1,560

CBR de 0.200" (%) = 4.00



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/6
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 09-13 Sep. 2016

COMPACTACION

Molde No / No de golpes	4 / 56		5 / 25		6-1 / 10	
Agua Agregada (ml)						
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	11.321		11.144		10.672	
Peso molde (Kg)	7.121		7.227		7.085	
Peso suelo húmedo (Kg)	4.200		3.917		3.587	
Volumen del molde (m3)	0.002063		0.0020695		0.0020632	
Contenido de agua (%)	18.62		18.88		18.55	
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m3)	2035.72		1892.72		1738.60	
Peso Volumétrico seco (Kg/m3)	1716.17		1592.12		1466.55	
Peso de la muestra antes penetración (Kg)	4.403		4.240		4.025	
Saturada + molde después penetración (Kg)	11.518		11.467		11.105	
Peso muestra saturada después penetración (Kg)	4.397		4.240		4.020	
Peso Volumétrico húmedo saturado (Kg/m3)	2131.20		2048.79		1948.47	
Peso Volumétrico seco saturado (Kg/m3)	1699.99		1627.49		1542.25	
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA						
w % (De Saturación)	25.37		25.89		26.34	
Tara No.	14-9	10-3	12	0-3	1-6	10-10
Peso suelo húmedo + tara	322.30	260.00	286.50	302.50	311.40	286.60
Peso suelo seco + tara	271.00	218.90	236.70	255.00	256.00	244.20
Peso de tara	50.60	69.20	50.60	65.10	65.00	65.10
Peso de Agua	51.30	41.10	49.80	47.50	55.40	42.40
Peso de suelo seco	220.40	149.70	186.10	189.90	191.00	179.10
Contenido de agua (%)	23.28	27.45	26.76	25.01	29.01	23.67



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/6
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 09-13 Sep. 2016

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No / No de Golpes: 4 / 56			Molde No / No de Golpes: 5 / 25			Molde No / No de Golpes: 6-1 / 10		
Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.		
Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)
9/9/2016 4:05 p.m	0.00	0.000000	9/9/2016 4:05 p.m	0.00	0.000000	9/9/2016 4:05 p.m	0.00	0.000000
10/9/2016 4:05 p.m	113.00	0.113000	10/9/2016 4:05 p.m	193.00	0.193000	10/9/2016 4:05 p.m	183.00	0.183000
11/9/2016 4:05 p.m	167.00	0.167000	11/9/2016 4:05 p.m	210.00	0.210000	11/9/2016 4:05 p.m	189.00	0.189000
12/9/2016 4:05 p.m	205.00	0.205000	12/9/2016 4:05 p.m	215.00	0.215000	12/9/2016 4:05 p.m	191.00	0.191000
13/9/2016 4:05 p.m	215.00	0.215000	13/9/2016 4:05 p.m	216.00	0.216000	13/9/2016 4:05 p.m	192.00	0.192000

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/6
SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 09-13 Sep. 2016

PENETRACION

Penetración en Pulg.	Molde No. 4		Molde No. 5		Molde No. 6-1	
	No de Golpes: 56		No de Golpes: 25		No de Golpes: 10	
	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	0.017	6.80	0.025	8.88	0.025	9.67
0.050	0.042	15.25	0.050	16.11	0.050	16.40
0.075	0.067	23.98	0.075	23.05	0.075	21.69
0.100	0.092	32.58	0.100	29.71	0.100	26.49
0.150	0.142	48.76	0.150	43.17	0.150	34.08
0.200	0.192	62.86	0.200	52.48	0.200	38.80
0.250	0.242	73.74	0.250	58.78	0.250	42.67
0.300	0.292	82.19	0.300	63.72	0.300	45.82
0.400	0.392	94.94	0.400	74.46	0.400	50.55
0.500	0.492	106.75	0.500	85.41	0.500	55.49

Observaciones: _____



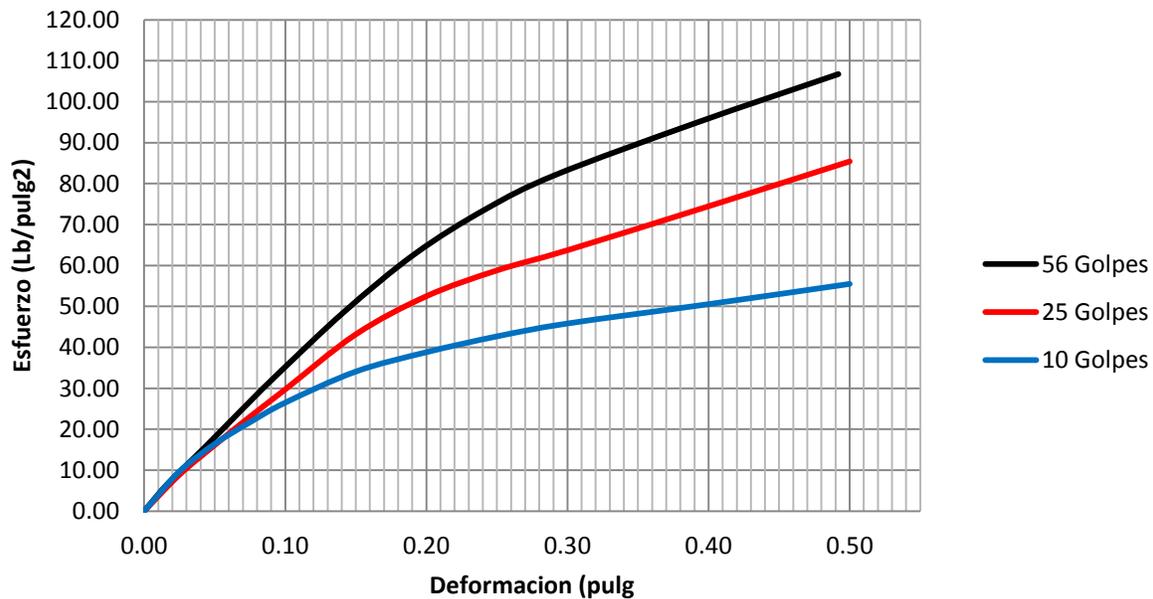
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/6
SONDEO No.	5	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	5	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	09-13 Sep. 2016

Grafica Esfuerzo vs Deformación



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 5/6
 SONDEO No. 5 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. 5 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 09-13 Sep. 2016

CUADRO RESUMEN PARA ENCONTRAR EL VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R)

Lectura del defor. (0.001")	Carga Estándar	Molde No. 4			Molde No. 5			Molde No. 6-1		
		No de Golpes: 56			No de Golpes: 25			No de Golpes: 10		
		Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR
0		0.00	0		0.00	0		0.00	0	
25		0.017	6.80		0.025	8.88		0.025	9.67	
50		0.042	15.25		0.050	16.11		0.050	16.40	
75		0.067	23.98		0.075	23.05		0.075	21.69	
100	1000	0.092	32.58	3.26	0.100	29.71	2.97	0.100	26.49	2.65
150		0.142	48.76		0.150	43.17		0.150	34.08	
200	1500	0.192	62.86	4.19	0.200	52.48	3.50	0.200	38.80	2.59
250		0.242	73.74		0.250	58.78		0.250	42.67	
300		0.292	82.19		0.300	63.72		0.300	45.82	
400		0.392	94.94		0.400	74.46		0.400	50.55	
500		0.492	106.75		0.500	85.41		0.500	55.49	

Observaciones: _____

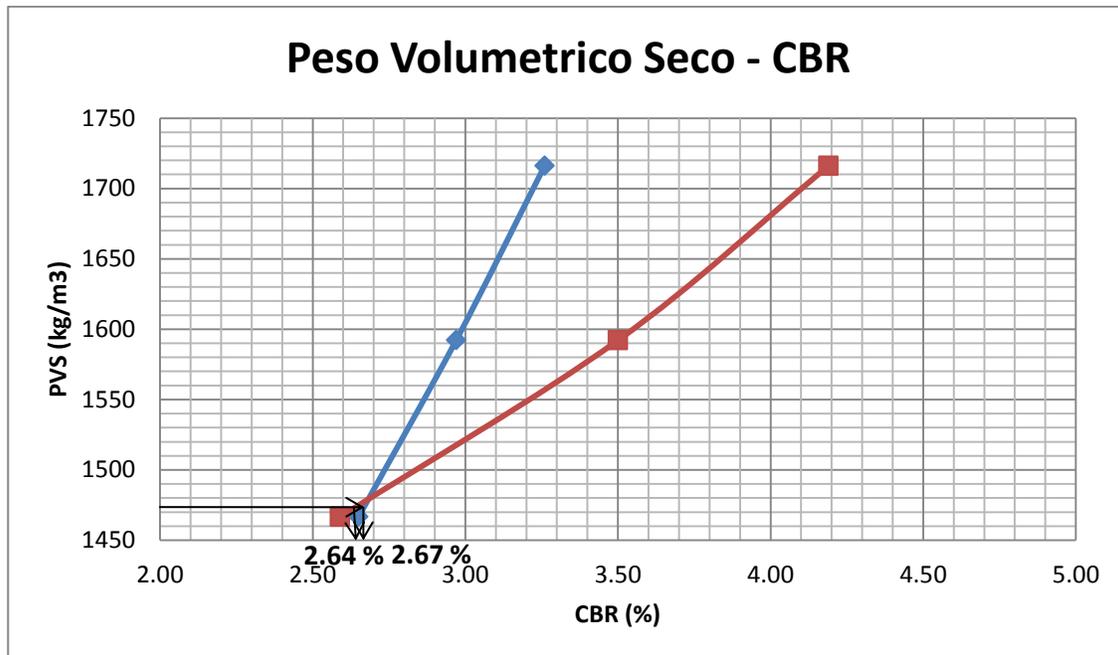


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>6/6</u>
SONDEO No.	<u>5</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>5</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>09-13 Sep. 2016</u>
Densidad Máxima Proctor (Kg/m ³) =	<u>1,548</u>	CBR de 0.100" (%) =	<u>2.67</u>
Densidad al 95% (Kg/m ³) =	<u>1,471</u>	CBR de 0.200" (%) =	<u>2.64</u>



Observaciones: _____

ANEXO A-8



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS ASTM D 2435-96

PROYECTO: <u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No. <u>1</u>
UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No. <u>1/23</u>
MUESTRA No. <u>Suelo Natural 1-1</u>	Laboratorista: <u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro: <u>1</u>	Elaboró: <u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro: <u>0.0025</u>	Fecha: <u>24 Oct. 2016</u>

DATOS INICIALES

Masa del anillo (g)	63.30
Masa de muestra húmeda + Anillo (g)	184.40
Masa de muestra húmeda (g)	121.10
Diámetro del anillo (cm)	6.34
Altura del anillo (cm)	2.00
Área de la muestra (cm ²)	31.57
Volumen inicial (cm ³)	63.14
Humedad Inicial	21.83
Masa de la muestra seca (g)	99.40

DATOS ANTES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	121.10
Masa de muestra seca (g)	99.40
Masa de agua (g)	21.70
Volumen inicial (cm ³)	63.14
Volumen de sólidos (cm ³)	40.91
Volumen de Vacíos (cm ³)	22.23
Relación de vacíos inicial	0.54
Humedad Inicial (%)	21.83
Grado de saturación (%)	97.60

DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	132.8
Masa de muestra seca (g)	99.40
Masa de agua (g)	33.40
Volumen total final (cm ³)	72.61
Volumen de sólidos (cm ³)	40.91
Volumen de Vacíos	31.71
Relación de vacíos final	0.78
Humedad final (%)	33.60
Grado de saturación (%)	105.34



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

SATURACION

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
24 Octubre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	9.4975	0.0025
"	-	0.25	"	"	9.4900	0.0100
"	-	0.50	"	"	9.4725	0.0275
"	8:31 AM	1	"	"	9.4350	0.0650
"	8:32 AM	2	"	"	9.3875	0.1125
"	8:34 AM	4	"	"	9.2975	0.2025
"	8:38 AM	8	"	"	9.1900	0.3100
"	8:45 AM	15	"	"	9.0375	0.4625
"	9:00 AM	30	"	"	8.3150	1.1850
"	9:30 AM	60	"	"	8.0500	1.4500
"	10:30 AM	120	"	"	7.2075	2.2925
"	12:30 AM	240	25 °C	"	6.1600	3.3400
"	4:30 PM	480	25 °C	"	4.3800	5.1200
25 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	1.4475	8.0525

Observaciones: _____



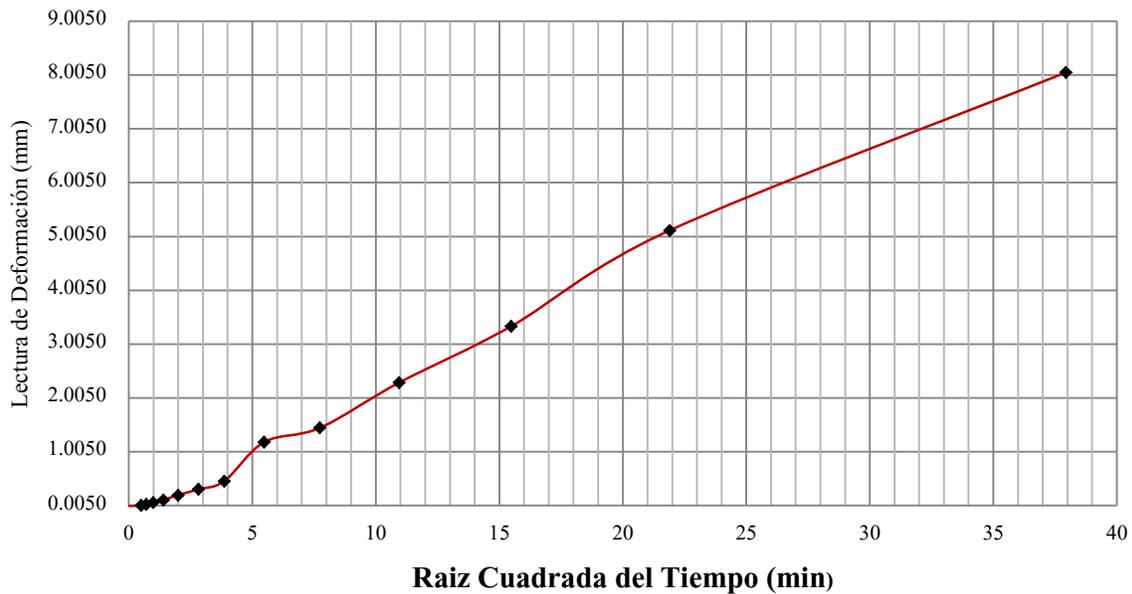
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	3/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	24 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 4/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 25 Oct. 2016

Carga No.1 - 1.007 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
25 Octubre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	31.27 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	10.3025	0.3025
"	-	0.25	"	"	10.3450	0.3450
"	-	0.50	"	"	10.3750	0.3750
"	8:31 AM	1	"	"	10.4200	0.4200
"	8:32 AM	2	"	"	10.4700	0.4700
"	8:34 AM	4	"	"	11.0125	1.0125
"	8:38 AM	8	"	"	11.0625	1.0625
"	8:45 AM	15	"	"	11.1050	1.1050
"	9:00 AM	30	"	"	11.1500	1.1500
"	9:30 AM	60	"	"	11.1900	1.1900
"	10:30 AM	120	"	"	11.2175	1.2175
"	12:30 AM	240	25 °C	"	11.2400	1.2400
"	4:30 PM	480	25 °C	"	11.2575	1.2575
26 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	11.2700	1.2700

Observaciones: _____



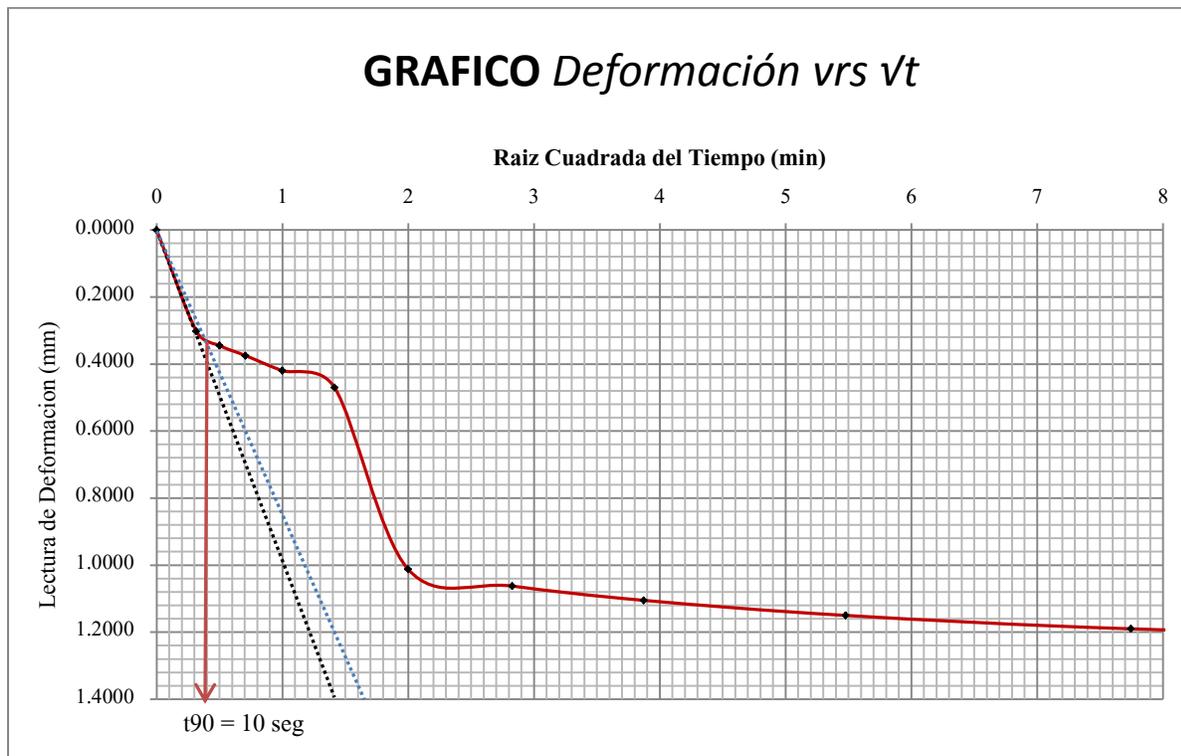
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>5/23</u>
MUESTRA No.	<u>Suelo Natural 1-1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro:	<u>1</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro:	<u>0.0025</u>	Fecha:	<u>25 Oct. 2016</u>

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 6/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 26 Oct. 2016

Carga No.2 - 2.008 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
26 Octubre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	62.37 kPa	10.0000	1.2700
"	-	0.1	"	"	10.0925	1.3625
"	-	0.25	"	"	10.1050	1.3750
"	-	0.50	"	"	10.1100	1.3800
"	8:31 AM	1	"	"	10.1325	1.4025
"	8:32 AM	2	"	"	10.1450	1.4150
"	8:34 AM	4	"	"	10.1625	1.4325
"	8:38 AM	8	"	"	10.1750	1.4450
"	8:45 AM	15	"	"	10.2075	1.4775
"	9:00 AM	30	"	"	10.2375	1.5075
"	9:30 AM	60	"	"	10.2675	1.5375
"	10:30 AM	120	"	"	10.3000	1.5700
"	12:30 AM	240	24 °C	"	10.3300	1.6000
"	4:30 PM	480	25 °C	"	10.3550	1.6250
27 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	23 °C	"	11.3825	2.6525

Observaciones: _____



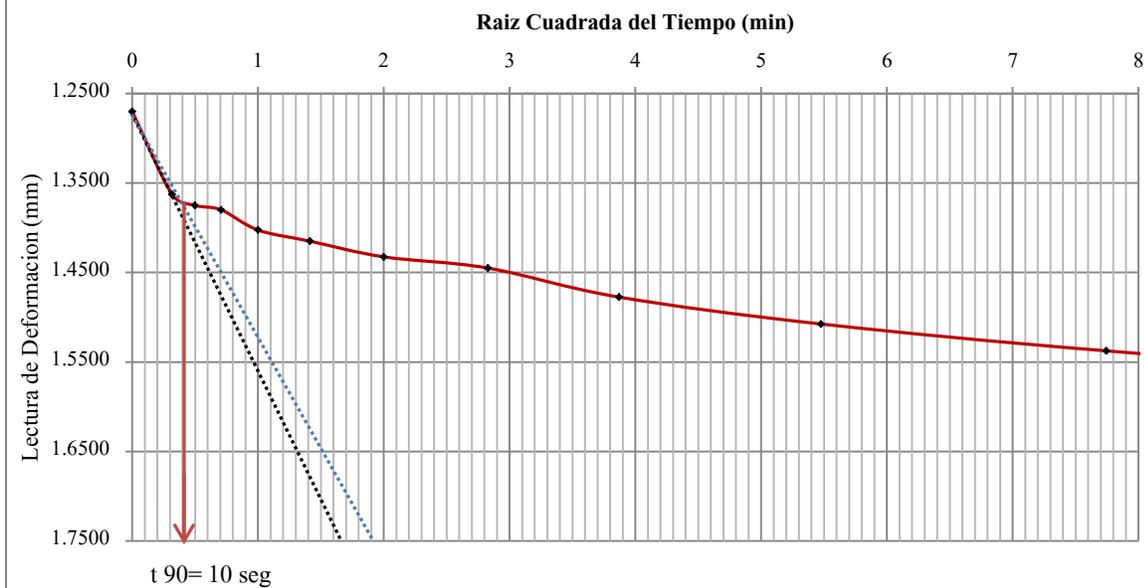
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	7/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	26 Oct. 2016

GRAFICO *Deformación vrs vt*



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 8/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 27 Oct. 2016

Carga No.3 - 4.0205kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
27 Octubre de 2016	8:30 AM	0	23 °C	124.89 kPa	10.0000	2.6525
"	-	0.1	"	"	10.1125	2.7650
"	-	0.25	"	"	10.1250	2.7775
"	-	0.50	"	"	10.1425	2.7950
"	8:31 AM	1	"	"	10.1600	2.8125
"	8:32 AM	2	"	"	10.1800	2.8325
"	8:34 AM	4	"	"	10.2075	2.8600
"	8:38 AM	8	"	"	10.2350	2.8875
"	8:45 AM	15	"	"	10.2675	2.9200
"	9:00 AM	30	"	"	10.3100	2.9625
"	9:30 AM	60	"	"	10.3575	3.0100
"	10:30 AM	120	24 °C	"	10.4100	3.0625
"	12:30 AM	240	24 °C	"	10.4600	3.1125
"	4:30 PM	480	26 °C	"	11.0025	3.6550
28 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	11.0425	3.6950

Observaciones: _____

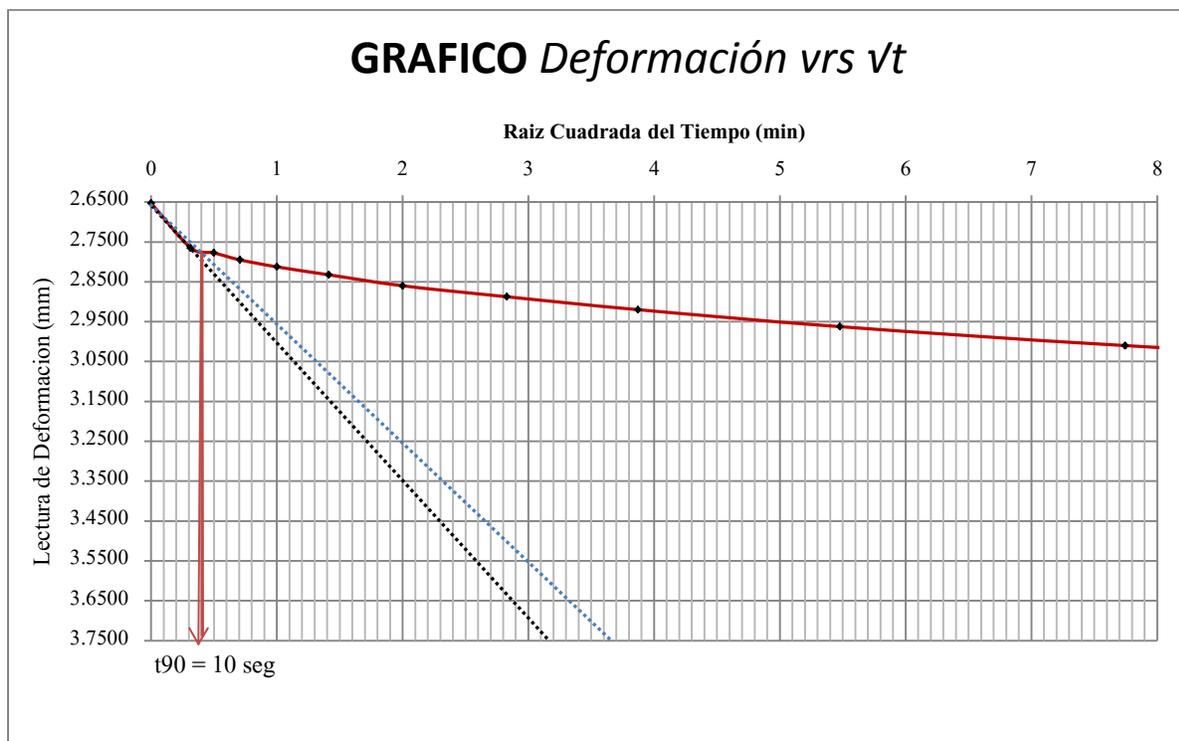


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	9/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	27 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 10/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 28 Oct. 2016

Carga No.4 - 8.0275 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
28 Octubre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	249.35 kPa	10.0000	3.6950
"	-	0.1	"	"	10.1425	3.8375
"	-	0.25	"	"	10.1700	3.8650
"	-	0.50	"	"	10.1875	3.8825
"	8:31 AM	1	"	"	10.2100	3.9050
"	8:32 AM	2	"	"	10.2350	3.9300
"	8:34 AM	4	"	"	10.2650	3.9600
"	8:38 AM	8	"	"	10.2950	3.9900
"	8:45 AM	15	"	"	10.3325	4.0275
"	9:00 AM	30	"	"	10.3800	4.0750
"	9:30 AM	60	"	"	10.4375	4.1325
"	10:30 AM	120	"	"	11.0050	4.7000
"	12:30 AM	240	25 °C	"	11.0775	4.7725
"	4:30 PM	480	26 °C	"	11.1425	4.8375
29 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	11.1975	4.8925

Observaciones: _____

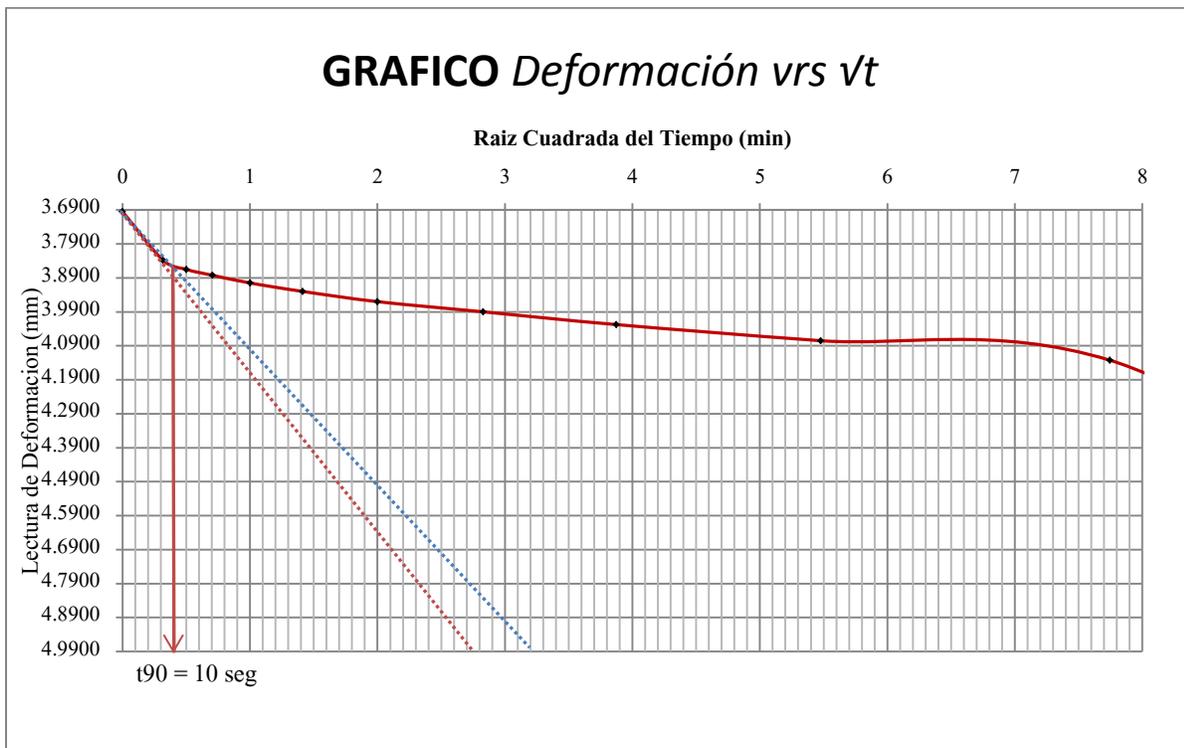


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>11/23</u>
MUESTRA No.	<u>Suelo Natural 1-1</u>	Laborarista:	<u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro:	<u>1</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro:	<u>0.0025</u>	Fecha:	<u>28 Oct. 2016</u>



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 12/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 29 Oct. 2016

Carga No.5 - 16.0215 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
29 Octubre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	497.68 kPa	10.0000	4.8925
"	-	0.1	"	"	10.1575	5.0500
"	-	0.25	"	"	10.1825	5.0750
"	-	0.50	"	"	10.2050	5.0975
"	8:31 AM	1	"	"	10.2325	5.1250
"	8:32 AM	2	"	"	10.2575	5.1500
"	8:34 AM	4	"	"	10.2875	5.1800
"	8:38 AM	8	"	"	10.3225	5.2150
"	8:45 AM	15	"	"	10.3300	5.2225
"	9:00 AM	30	"	"	10.4050	5.2975
"	9:30 AM	60	"	"	10.4650	5.3575
"	10:30 AM	120	"	"	11.0350	5.9275
"	12:30 AM	240	25 °C	"	11.1150	6.0075
"	4:30 PM	480	26 °C	"	11.1900	6.0825
30 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	11.2500	6.1425

Observaciones: _____

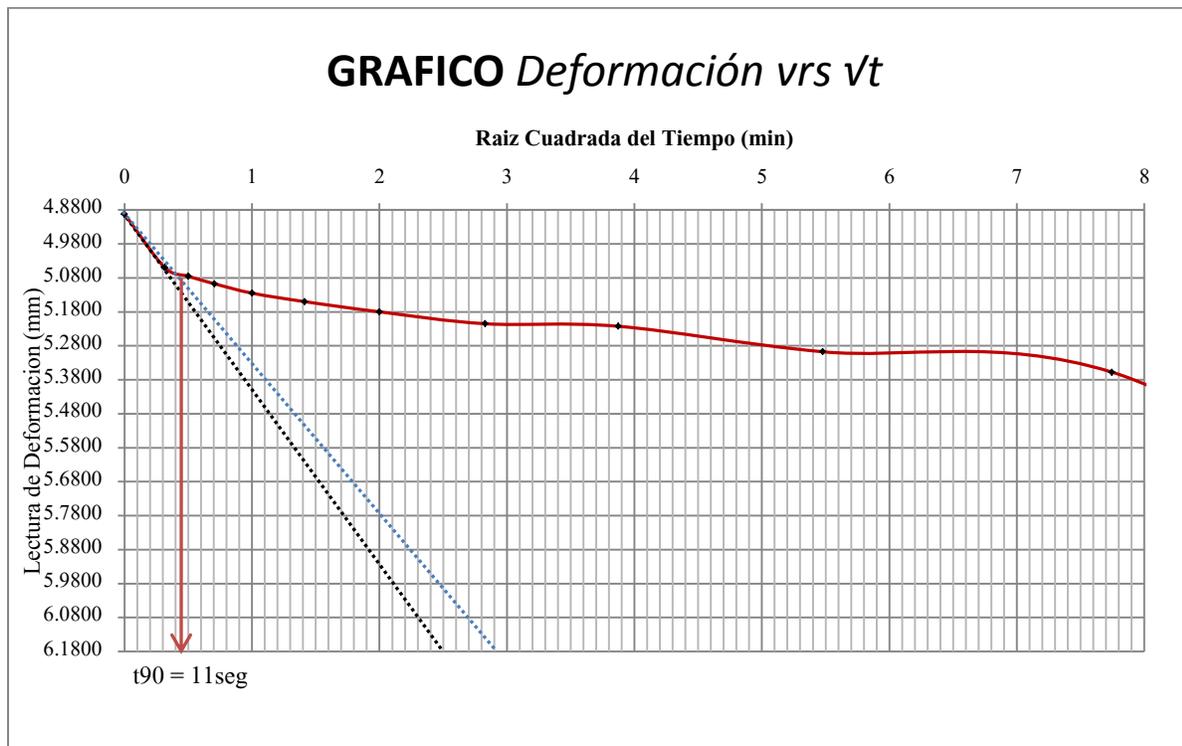


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	13/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	29 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 14/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 30 Oct. 2016

Carga No.6 - 32.0215 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
30 Octubre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	994.69 kPa	10.0000	6.1425
"	-	0.1	"	"	10.1550	6.2975
"	-	0.25	"	"	10.1800	6.3225
"	-	0.50	"	"	10.2025	6.3450
"	8:31 AM	1	"	"	10.2275	6.3700
"	8:32 AM	2	"	"	10.2525	6.3950
"	8:34 AM	4	"	"	10.2825	6.4250
"	8:38 AM	8	"	"	10.3175	6.4600
"	8:45 AM	15	"	"	10.3375	6.4800
"	9:00 AM	30	"	"	10.4125	6.5550
"	9:30 AM	60	"	"	10.4775	6.6200
"	10:30 AM	120	"	"	11.0525	7.1950
"	12:30 AM	240	25 °C	"	11.1350	7.2775
"	4:30 PM	480	26 °C	"	11.2200	7.3625
31 Octubre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	11.2700	7.4125

Observaciones: _____



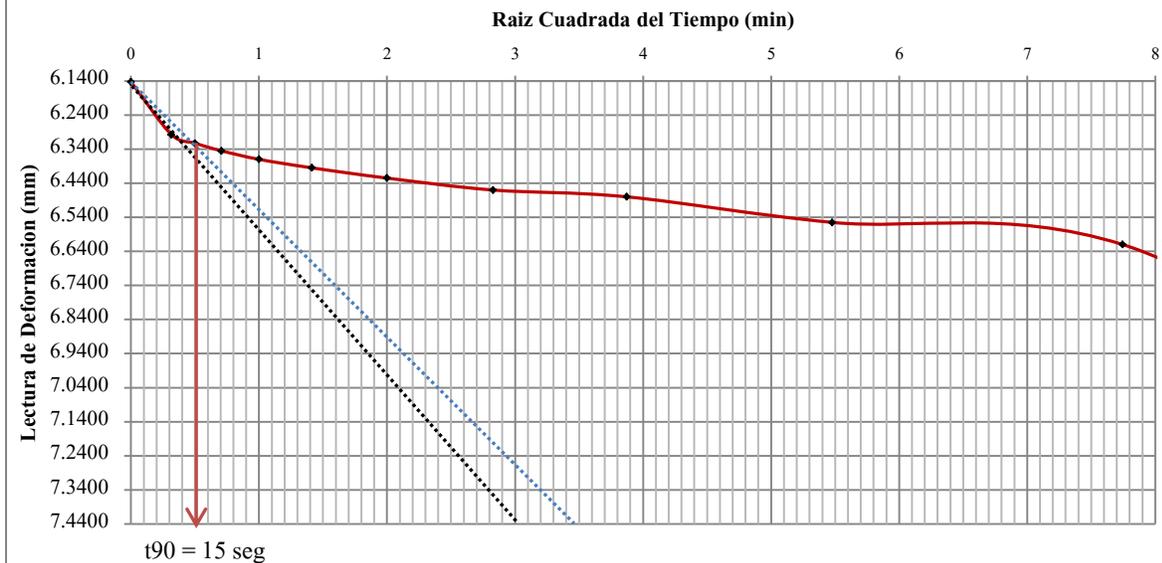
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	15/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	30 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 16/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 3 Nov. 2016

Descarga No.1 - 16.0000 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
3 Noviembre de 2016	8:20 AM	0	24 °C	497.68 kPa	10.0000	7.4125
"	-	0.1	"	"	9.4475	7.3600
"	-	0.25	"	"	9.4475	7.3600
"	-	0.50	"	"	9.4475	7.3600
"	8:21 AM	1	"	"	9.4475	7.3600
"	8:22 AM	2	"	"	9.4475	7.3600
"	8:24 AM	4	"	"	9.4475	7.3600
"	8:28 AM	8	"	"	9.4425	7.3550
"	8:35 AM	15	"	"	9.4400	7.3525
"	8:50 AM	30	"	"	9.4350	7.3475
"	9:20 AM	60	"	"	9.4275	7.3400
"	10:20 AM	120	"	"	9.4225	7.3350
"	12:20 AM	240	25 °C	"	9.4150	7.3275
"	4:20 PM	480	26 °C	"	9.4075	7.3200
4 Noviembre de 2016	8:20 AM	1440	24 °C	"	9.4000	7.3125

Observaciones: _____

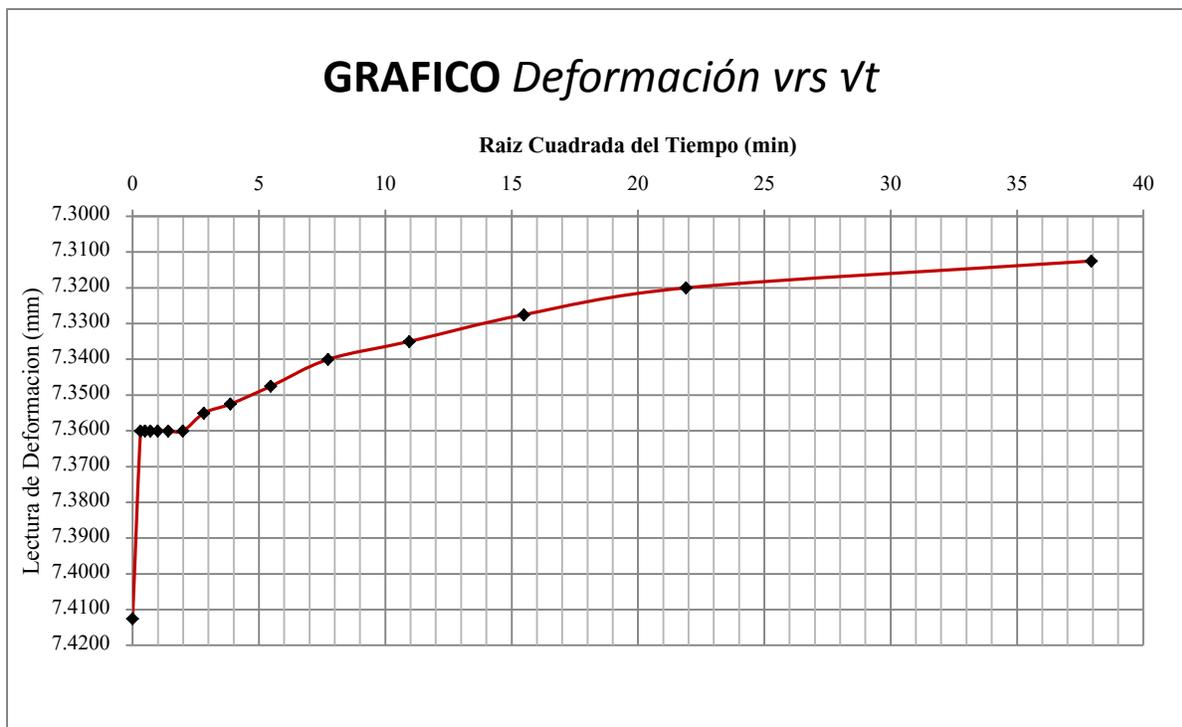


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	17/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	3 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 18/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 4 Nov. 2016

Descarga No.2 - 7.9940 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
4 Noviembre de 2016	8:20 AM	0	24 °C	249.35 kPa	10.0000	7.3125
"	-	0.1	"	"	9.4675	7.2800
"	-	0.25	"	"	9.4650	7.2775
"	-	0.50	"	"	9.4625	7.2750
"	8:21 AM	1	"	"	9.4600	7.2725
"	8:22 AM	2	"	"	9.4575	7.2700
"	8:24 AM	4	"	"	9.4500	7.2625
"	8:28 AM	8	"	"	9.4450	7.2575
"	8:35 AM	15	"	"	9.4350	7.2475
"	8:50 AM	30	"	"	9.4225	7.2350
"	9:20 AM	60	"	"	9.4075	7.2200
"	10:20 AM	120	"	"	9.3825	7.1950
"	12:20 AM	240	25 °C	"	9.3575	7.1700
"	4:20 PM	480	26 °C	"	9.3325	7.1450
5 Noviembre de 2016	8:20 AM	1440	24 °C	"	9.3050	7.1175

Observaciones: _____

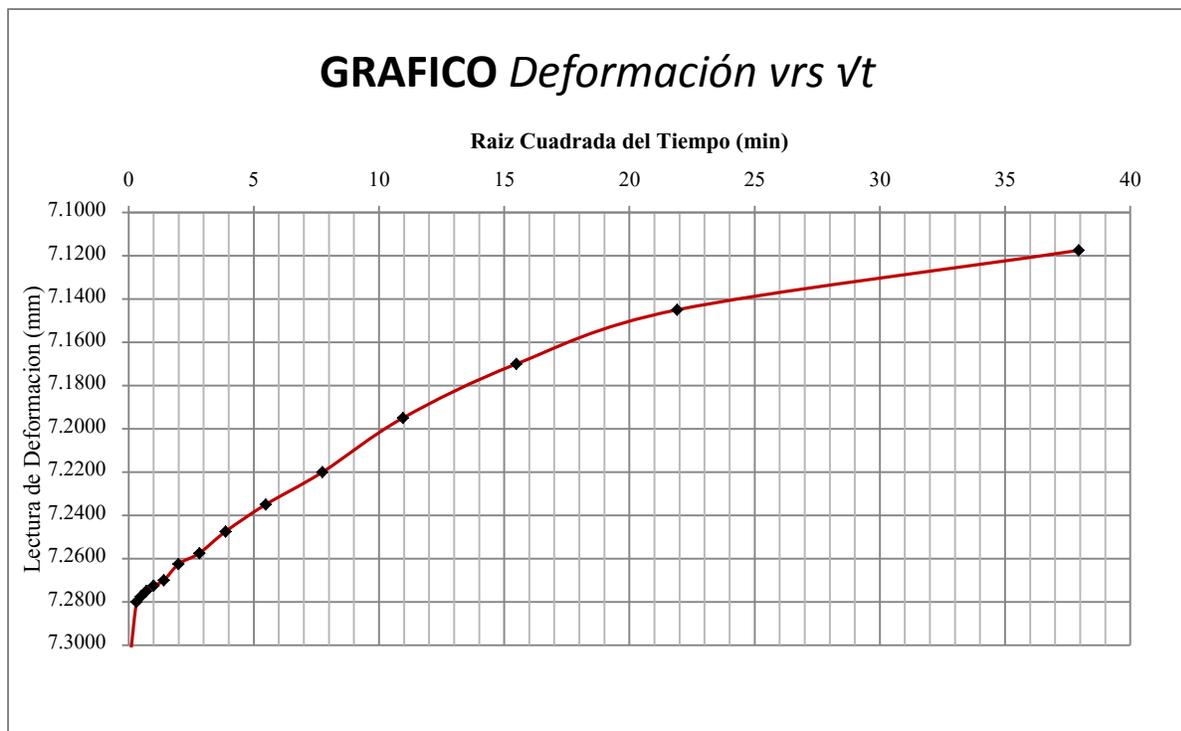


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	19/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	4 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 20/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 1 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 5 Nov. 2016

Descarga No.3 - 8.0275 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
5 Noviembre de 2016	8:20 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	7.1175
"	-	0.1	"	"	9.4175	7.0350
"	-	0.25	"	"	9.4050	7.0225
"	-	0.50	"	"	9.3950	7.0125
"	8:21 AM	1	"	"	9.3825	7.0000
"	8:22 AM	2	"	"	9.3675	6.9850
"	8:24 AM	4	"	"	9.3450	6.9625
"	8:28 AM	8	"	"	9.3150	6.9325
"	8:35 AM	15	"	"	9.2800	6.8975
"	8:50 AM	30	"	"	9.2225	6.8400
"	9:20 AM	60	"	"	9.1325	6.7500
"	10:20 AM	120	"	"	9.0050	6.6225
"	12:20 AM	240	25 °C	"	8.3150	5.9325
"	4:20 PM	480	26 °C	"	8.0575	5.6750
6 Noviembre de 2016	8:20 AM	1440	24 °C	"	7.4650	5.0825

Observaciones: _____

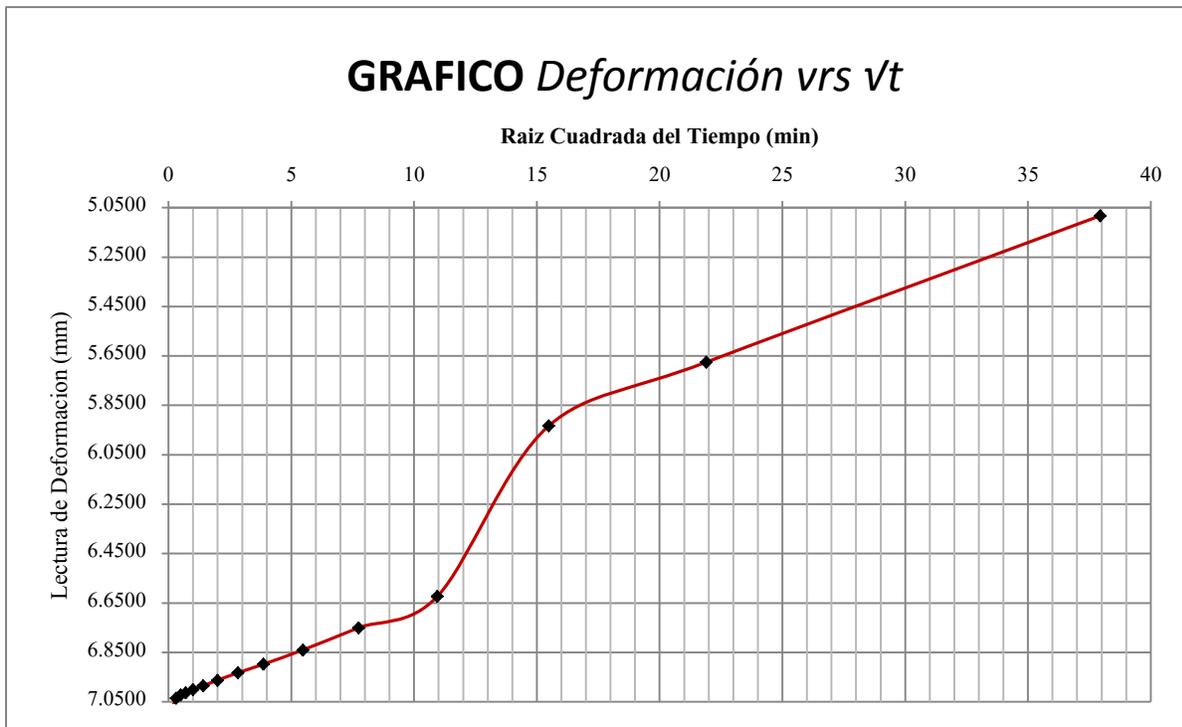


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	21/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	5 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS

ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental
 SONDEO No. 1
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-1

Reporte No. 1
 Hoja No. 22/23
 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 6 Nov.2016

DATOS DEL ENSAYO

Altura del anillo = 20.0 mm $A_c = 31.57 \text{ cm}^2$ $2H_o = 12.957 \text{ mm}$
 Peso de los sólidos = 61.47 g $G_s = 2.43$ $2H_i = 28.053 \text{ mm}$

T °C	γ_w (g/cm ³)	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H _o (mm)	$e = \frac{2H - 2H_o}{2H_o}$	Hm (cm)	Hm ² (cm ²)	t 90 (seg)	Av (cm ²)	Cv (cm ² /seg)	e m (mm)	Pm (kPa)
0		0.000	0.0000	20.000	7.0430	0.544							
							2.40263	5.77261				0.854	0.000
24	0.99733	0.000	-8.0525	28.0525	15.0955	1.165							
							2.74175	7.51719	10	0.00313	0.6375	1.116	15.635
24	0.99733	31.270	1.2700	26.7825	13.8255	1.067							
							2.61063	6.81536	10	0.00336	0.5779	1.015	46.820
23	0.99757	62.370	1.3525	25.4300	12.4730	0.963							
							2.49088	6.20446	10	0.00129	0.5261	0.922	93.630
24	0.99733	124.890	1.0425	24.3875	11.4305	0.882							
							2.37888	5.65905	10	0.00074	0.4799	0.836	187.120
24	0.99733	249.350	1.1975	23.1900	10.2330	0.790							
							2.25650	5.09179	11	0.00039	0.3925	0.742	373.515
24	0.99733	497.680	1.2500	21.9400	8.9830	0.693							
							2.13050	4.53903	15	0.00020	0.2566	0.644	746.185
24	0.99733	994.690	1.2700	20.6700	7.7130	0.595							
24	0.99733	497.680	0.1000	20.7700	7.8130	0.603							
24	0.99733	249.350	0.1950	20.9650	8.0080	0.618							
24	0.99733	0.000	2.0350	23.0000	10.0430	0.775							

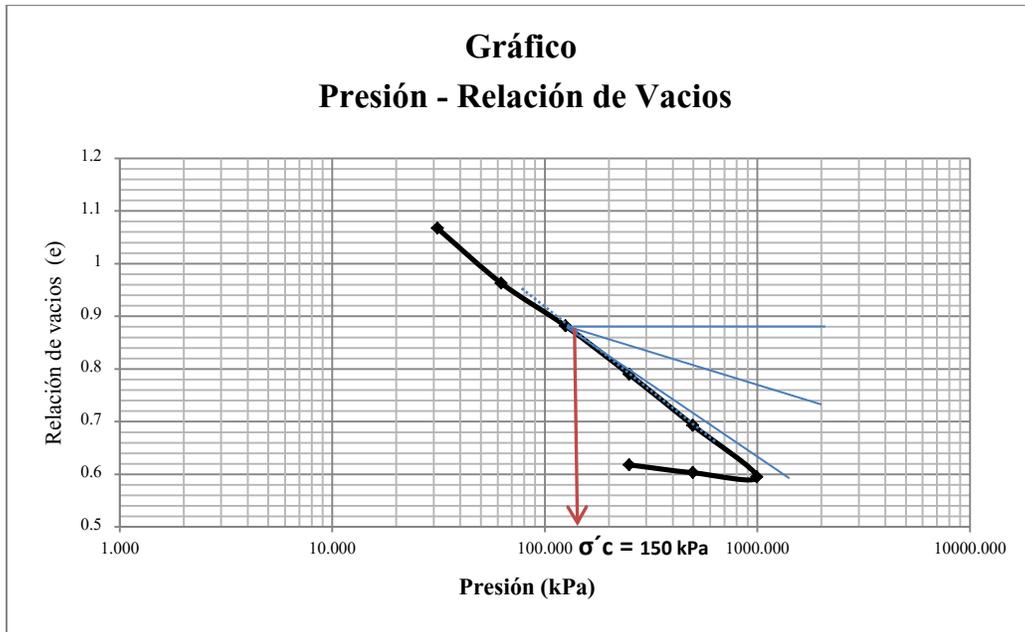


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	23/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	6 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

DATOS INICIALES

Masa del anillo (g)	63.50
Masa de muestra húmeda + Anillo (g)	183.50
Masa de muestra húmeda (g)	120.00
Diámetro del anillo (cm):	6.32
Altura del anillo (cm)	2.00
Área de la muestra (cm ²)	31.37
Volumen inicial (cm ³)	62.74
Humedad Inicial	22.82
Masa de la muestra seca (g)	97.70

DATOS ANTES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	120.00
Masa de muestra seca (g)	97.70
Masa de agua (g)	22.30
Volumen inicial (cm ³)	62.74
Volumen de sólidos (cm ³)	40.21
Volumen de Vacíos (cm ³)	22.54
Relación de vacíos inicial	0.56
Humedad Inicial (%)	22.82
Grado de saturación (%)	98.95

DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	131.30
Masa de muestra seca (g)	97.70
Masa de agua (g)	33.60
Volumen total final (cm ³)	76.44
Volumen de sólidos (cm ³)	40.21
Volumen de Vacíos	36.24
Relación de vacíos final	0.91
Humedad final (%)	34.39
Grado de saturación (%)	92.72



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

SATURACION

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
24 Octubre de 2016	9:10 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	9.4500	0.0500
"	-	0.25	"	"	9.4350	0.0650
"	-	0.50	"	"	9.4300	0.0700
"	9:11 AM	1	"	"	9.3825	0.1175
"	9:12 AM	2	"	"	9.3350	0.1650
"	9:14 AM	4	"	"	9.3025	0.1975
"	9:18 AM	8	"	"	9.2150	0.2850
"	9:25 AM	15	"	"	9.1075	0.3925
"	9:40 AM	30	"	"	8.3225	1.1775
"	10:10 AM	60	"	"	7.4150	2.0850
"	11:10 AM	120	"	"	6.3400	3.1600
"	1:10 PM	240	25 °C	"	5.1250	4.3750
"	5:10 PM	480	25 °C	"	2.3350	7.1650
25 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	24 °C	"	0.1175	9.3825

Observaciones: _____



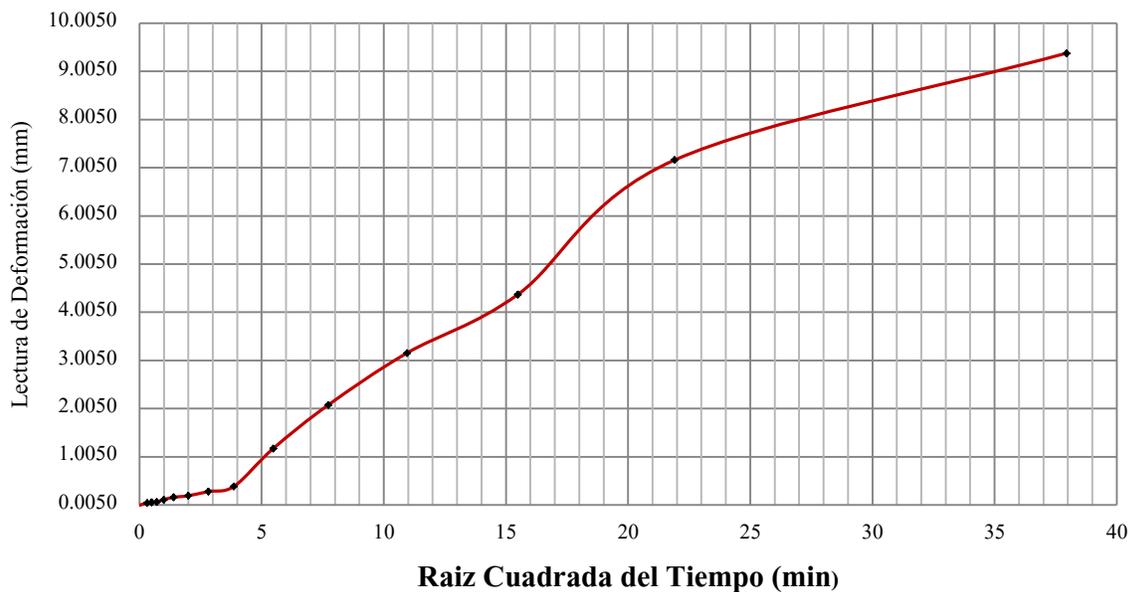
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	3/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	24 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 4/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 25 Oct. 2016

Carga No.1 - 1.007 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
25 Octubre de 2016	9:10 AM	0	24 °C	31.58 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	11.0500	1.0500
"	-	0.25	"	"	11.1025	1.1025
"	-	0.50	"	"	11.1550	1.1550
"	9:11 AM	1	"	"	11.2065	1.2065
"	9:12 AM	2	"	"	11.2700	1.2700
"	9:14 AM	4	"	"	11.3375	1.3375
"	9:18 AM	8	"	"	11.4350	1.4350
"	9:25 AM	15	"	"	11.4650	1.4650
"	9:40 AM	30	"	"	12.0200	2.0200
"	10:10 AM	60	25 °C	"	12.0650	2.0650
"	11:10 AM	120	"	"	12.0950	2.0950
"	1:10 PM	240	"	"	12.1175	2.1175
"	5:10 PM	480	26 °C	"	12.1375	2.1375
26 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	24 °C	"	12.1600	2.1600

Observaciones: _____



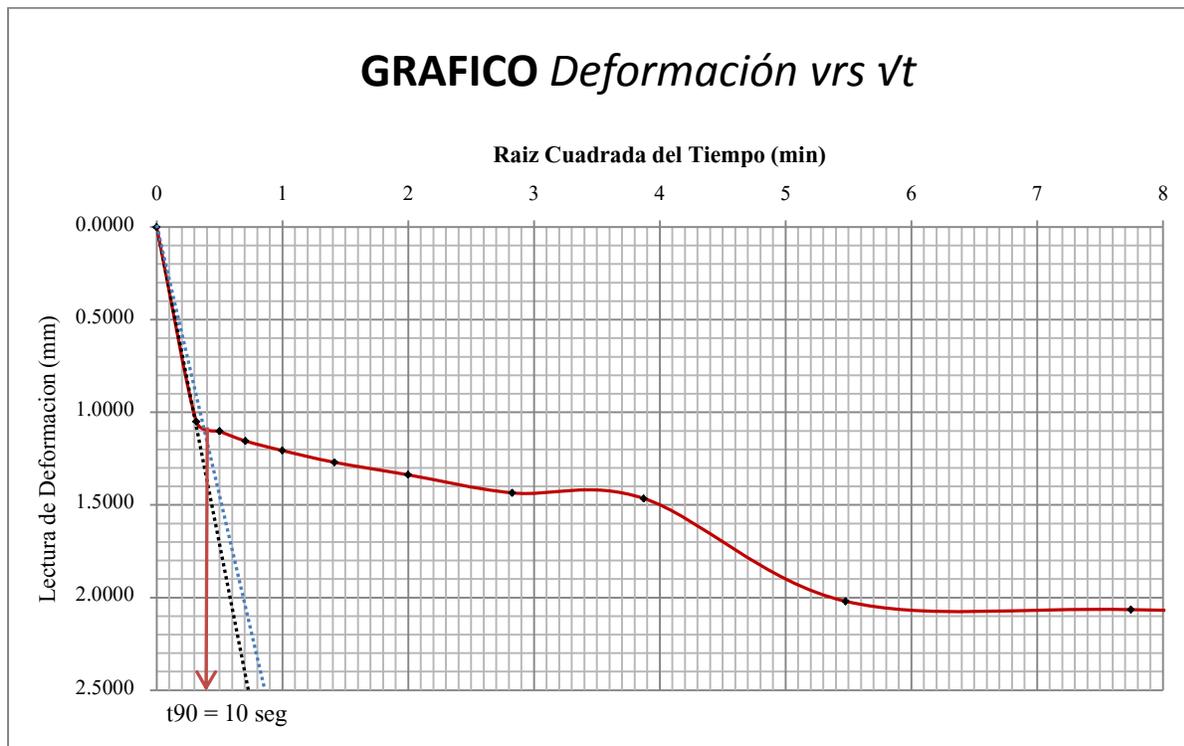
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	5/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	25 Oct. 2016

GRAFICO *Deformación vrs \sqrt{t}*



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 6/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidómetro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 26 Oct. 2016

Carga No.2 - 2.014 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
26 Octubre de 2016	9:10 AM	0	24 °C	62.96 kPa	10.0000	1.2700
"	-	0.1	"	"	10.0775	1.3475
"	-	0.25	"	"	10.0900	1.3600
"	-	0.50	"	"	10.1050	1.3750
"	9:11 AM	1	"	"	10.1200	1.3900
"	9:12 AM	2	"	"	10.1400	1.4100
"	9:14 AM	4	"	"	10.1625	1.4325
"	9:18 AM	8	"	"	10.1925	1.4625
"	9:25 AM	15	"	"	10.2150	1.4850
"	9:40 AM	30	"	"	10.2575	1.5275
"	10:10 AM	60	"	"	10.2975	1.5675
"	11:10 AM	120	"	"	10.3325	1.6025
"	1:10 PM	240	25 °C	"	10.3650	1.6350
"	5:10 PM	480	"	"	10.3950	1.6650
27 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	23 °C	"	10.4325	1.7025

Observaciones: _____

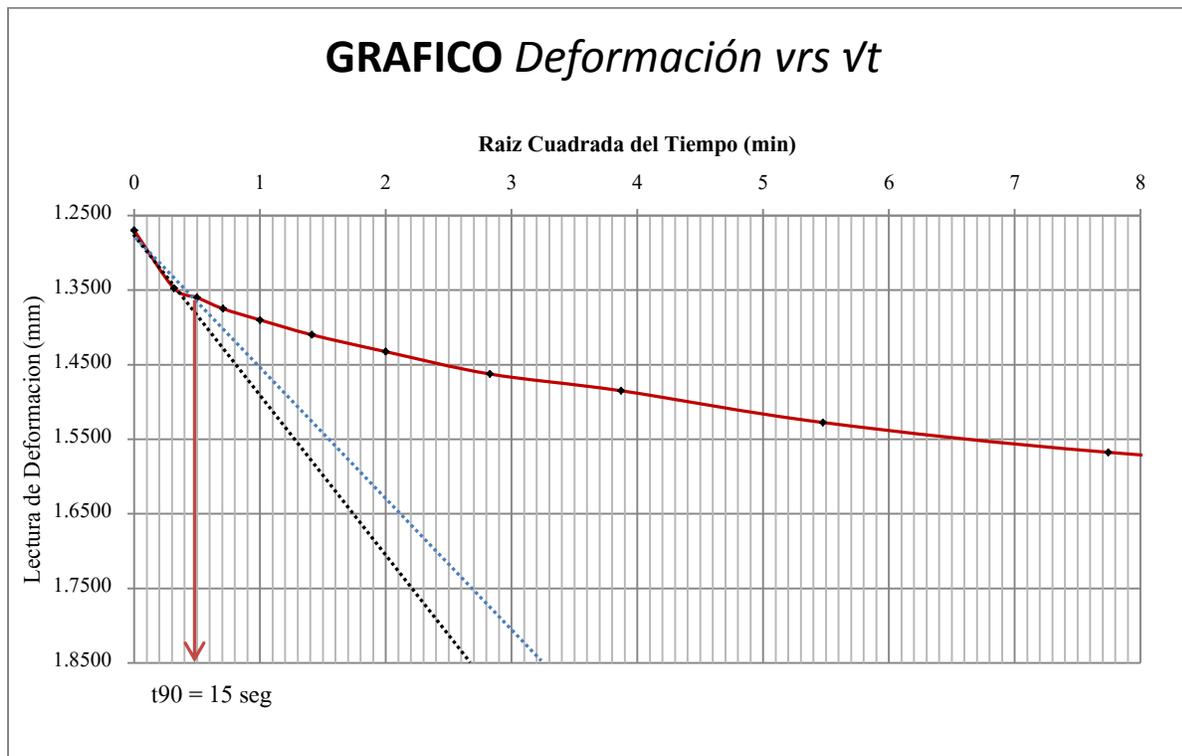


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	7/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	26 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 8/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 27 Oct. 2016

Carga No.3 - 4.0205 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
27 Octubre de 2016	9:10 AM	0	23 °C	125.68 kPa	10.0000	2.6525
"	-	0.1	"	"	10.0950	2.7475
"	-	0.25	"	"	10.1150	2.7675
"	-	0.50	"	"	10.1300	2.7825
"	9:11 AM	1	"	"	10.1500	2.8025
"	9:12 AM	2	"	"	10.1750	2.8275
"	9:14 AM	4	"	"	10.2025	2.8550
"	9:18 AM	8	"	"	10.2350	2.8875
"	9:25 AM	15	"	"	10.2725	2.9250
"	9:40 AM	30	"	"	10.3275	2.9800
"	10:10 AM	60	24 °C	"	10.3900	3.0425
"	11:10 AM	120	"	"	10.4600	3.1125
"	1:10 PM	240	25 °C	"	11.0200	3.6725
"	5:10 PM	480	26 °C	"	11.0725	3.7250
28 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	24 °C	"	11.1200	3.7725

Observaciones: _____

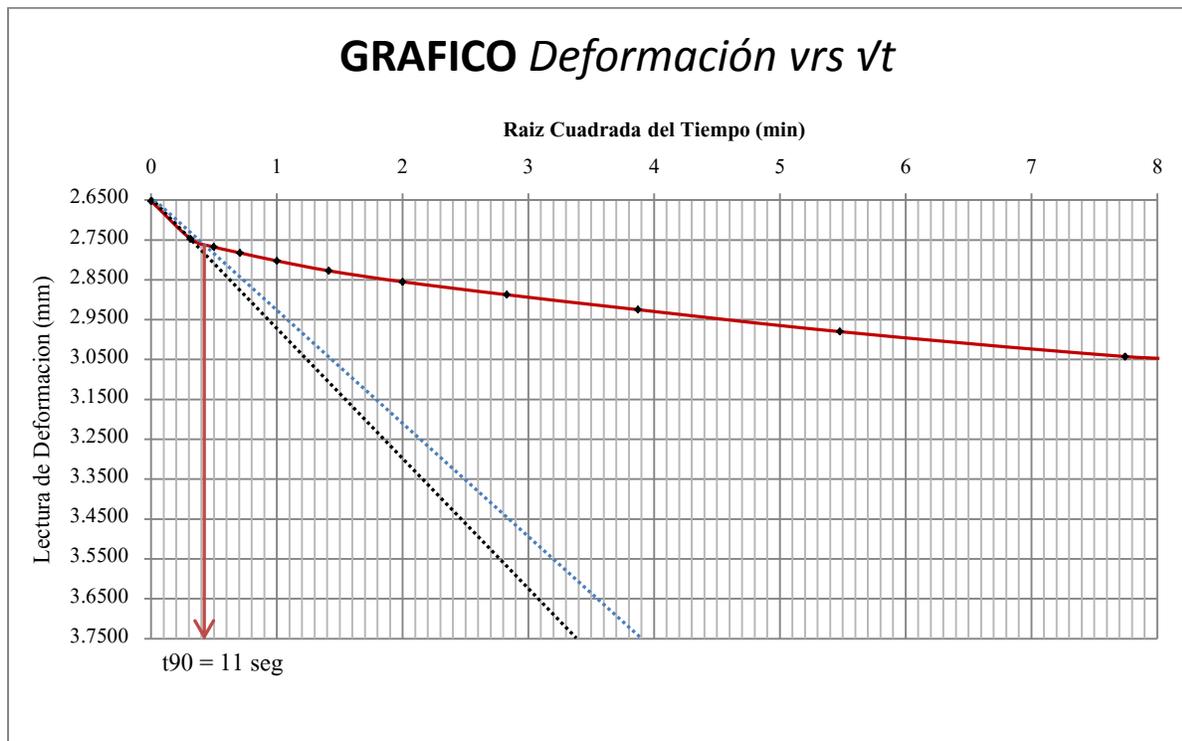


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	9/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	27 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 10/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 28 Oct. 2016

Carga No.4 - 8.0275 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
28 Octubre de 2016	9:10 AM	0	24 °C	250.94 kPa	10.0000	3.6950
"	-	0.1	"	"	10.1500	3.8450
"	-	0.25	"	"	10.1575	3.8525
"	-	0.50	"	"	10.1875	3.8825
"	9:11 AM	1	"	"	10.2100	3.9050
"	9:12 AM	2	"	"	10.2275	3.9225
"	9:14 AM	4	"	"	10.2700	3.9650
"	9:18 AM	8	"	"	10.3025	3.9975
"	9:25 AM	15	"	"	10.3450	4.0400
"	9:40 AM	30	"	"	10.4025	4.0975
"	10:10 AM	60	"	"	10.4775	4.1725
"	11:10 AM	120	"	"	11.0625	4.7575
"	1:10 PM	240	25 °C	"	11.1450	4.8400
"	5:10 PM	480	26 °C	"	11.2025	4.8975
29 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	24 °C	"	11.2525	4.9475

Observaciones: _____

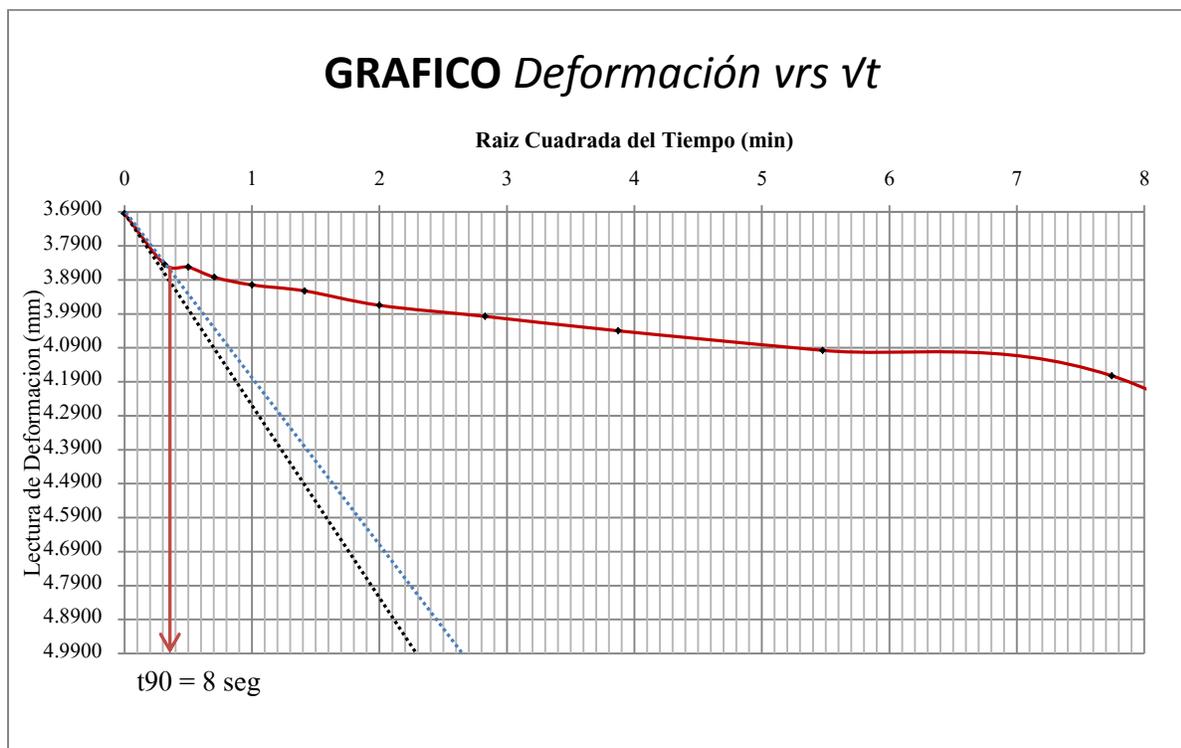


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	11/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	28 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 12/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 29 Oct. 2016

Carga No.5 - 16.018 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
29 Octubre de 2016	9:10 AM	0	24 °C	500.75 kPa	10.0000	4.8925
"	-	0.1	"	"	10.1650	5.0575
"	-	0.25	"	"	10.1925	5.0850
"	-	0.50	"	"	10.2125	5.1050
"	9:11 AM	1	"	"	10.2350	5.1275
"	9:12 AM	2	"	"	10.2625	5.1550
"	9:14 AM	4	"	"	10.2950	5.1875
"	9:18 AM	8	"	"	10.3325	5.2250
"	9:25 AM	15	"	"	10.3750	5.2675
"	9:40 AM	30	"	"	10.4325	5.3250
"	10:10 AM	60	"	"	11.0025	5.8950
"	11:10 AM	120	"	"	11.0925	5.9850
"	1:10 PM	240	25 °C	"	11.1750	6.0675
"	5:10 PM	480	26 °C	"	11.2375	6.1300
30 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	24 °C	"	11.2950	6.1875

Observaciones: _____

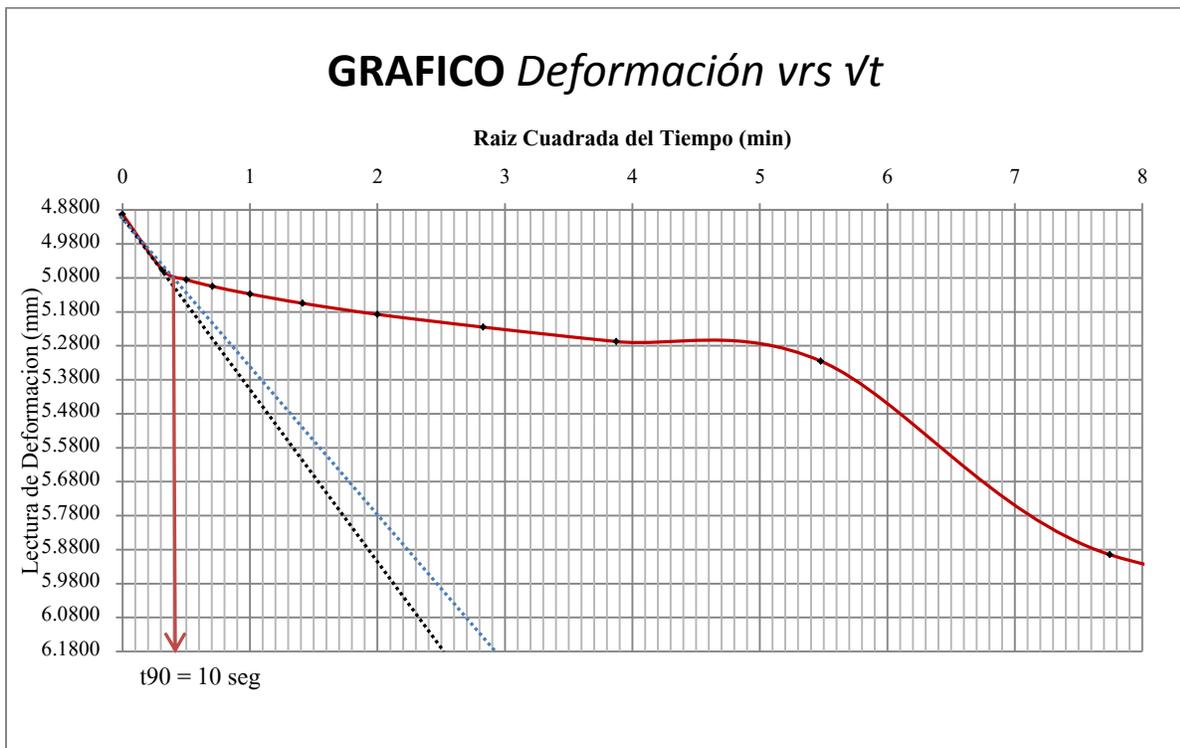


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>13/23</u>
MUESTRA No.	<u>Suelo Natural 1-2</u>	Laborarista:	<u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro:	<u>2</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro:	<u>0.0025</u>	Fecha:	<u>29 Oct. 2016</u>



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 14/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 30 Oct. 2016

Carga No.6 - 31.995 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
30 Octubre de 2016	9:10 AM	0	24 °C	1000.20 kPa	10.0000	6.1425
"	-	0.1	"	"	10.1650	6.3075
"	-	0.25	"	"	10.1925	6.3350
"	-	0.50	"	"	10.2100	6.3525
"	9:11 AM	1	"	"	10.2300	6.3725
"	9:12 AM	2	"	"	10.2550	6.3975
"	9:14 AM	4	"	"	10.2850	6.4275
"	9:18 AM	8	"	"	10.3200	6.4625
"	9:25 AM	15	"	"	10.3625	6.5050
"	9:40 AM	30	"	"	10.4225	6.5650
"	10:10 AM	60	"	"	11.0000	7.1425
"	11:10 AM	120	"	"	11.0900	7.2325
"	1:10 PM	240	25 °C	"	11.1575	7.3000
"	5:10 PM	480	26 °C	"	11.2325	7.3750
31 Octubre de 2016	9:10 AM	1440	25 °C	"	11.2975	7.4400

Observaciones: _____



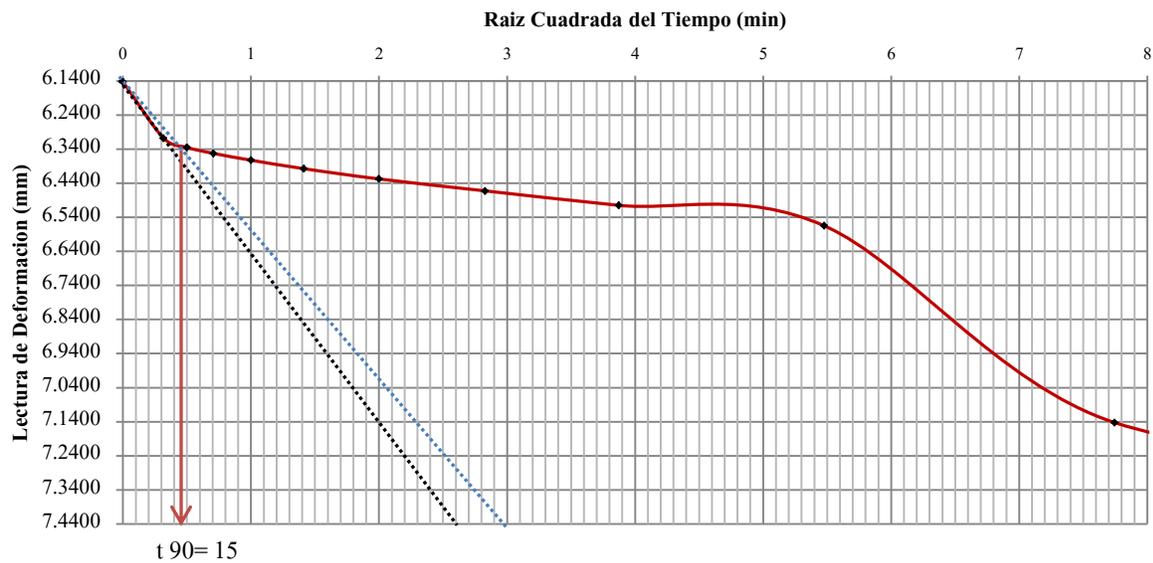
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	15/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	30 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 16/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 3 Nov. 2016

Descarga No.1 - 15.977kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
3 Noviembre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	500.75 kPa	10.0000	7.4125
"	-	0.1	"	"	9.4700	7.3825
"	-	0.25	"	"	9.4650	7.3775
"	-	0.50	"	"	9.4625	7.3750
"	8:31 AM	1	"	"	9.4625	7.3750
"	8:32 AM	2	"	"	9.4600	7.3725
"	8:34 AM	4	"	"	9.4550	7.3675
"	8:38 AM	8	"	"	9.4500	7.3625
"	8:45 AM	15	"	"	9.4475	7.3600
"	9:00 AM	30	"	"	9.4400	7.3525
"	9:30 AM	60	"	"	9.4325	7.3450
"	10:30 AM	120	"	"	9.4250	7.3375
"	12:30 PM	240	25 °C	"	9.4200	7.3325
"	4:30 PM	480	26 °C	"	9.4125	7.3250
4 Noviembre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	9.4025	7.3150

Observaciones: _____



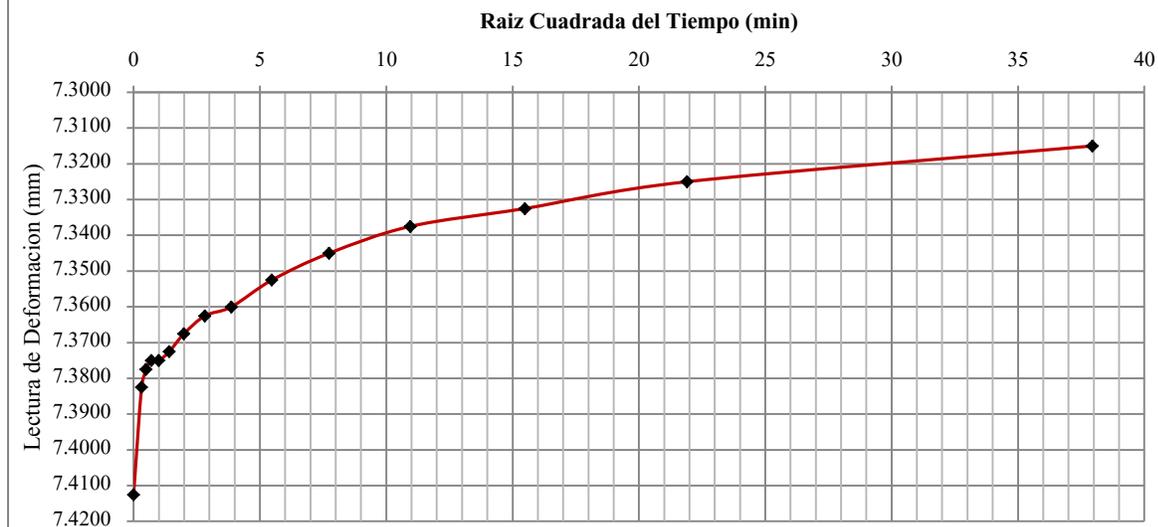
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	17/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	3 Nov. 2016

GRAFICO Deformación vs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 18/23
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 4 Nov. 2016

Descarga No.2 - 8.000 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
4 Noviembre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	250.65 kPa	10.0000	7.3125
"	-	0.1	"	"	9.4725	7.2850
"	-	0.25	"	"	9.4725	7.2850
"	-	0.50	"	"	9.4700	7.2825
"	8:31 AM	1	"	"	9.4675	7.2800
"	8:32 AM	2	"	"	9.4625	7.2750
"	8:34 AM	4	"	"	9.4575	7.2700
"	8:38 AM	8	"	"	9.4500	7.2625
"	8:45 AM	15	"	"	9.4425	7.2550
"	9:00 AM	30	"	"	9.4300	7.2425
"	9:30 AM	60	"	"	9.4125	7.2250
"	10:30 AM	120	"	"	9.3875	7.2000
"	12:30 PM	240	"	"	9.3600	7.1725
"	4:30 PM	480	25 °C	"	9.3375	7.1500
5 Noviembre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	9.3075	7.1200

Observaciones: _____

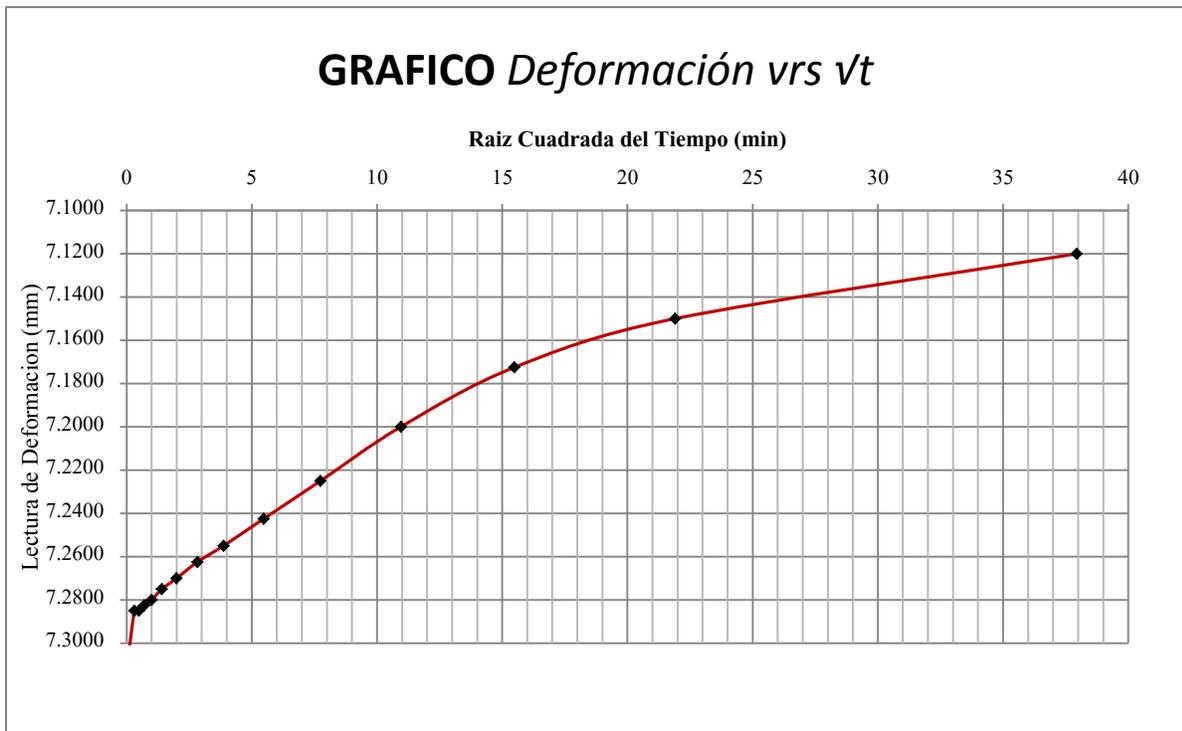


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	19/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	4 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 20/23
MUESTRA No. Suelo Natural 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 2 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 5 Nov. 2016

Descarga No.3 - 8.018 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
5 Noviembre de 2016	8:30 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	7.1175
"	-	0.1	"	"	9.3925	7.0100
"	-	0.25	"	"	9.3800	6.9975
"	-	0.50	"	"	9.3700	6.9875
"	8:31 AM	1	"	"	9.3575	6.9750
"	8:32 AM	2	"	"	9.3425	6.9600
"	8:34 AM	4	"	"	9.3225	6.9400
"	8:38 AM	8	"	"	9.2925	6.9100
"	8:45 AM	15	"	"	9.2575	6.8750
"	9:00 AM	30	"	"	9.2000	6.8175
"	9:30 AM	60	"	"	9.1100	6.7275
"	10:30 AM	120	"	"	8.4775	6.0950
"	12:30 PM	240	25 °C	"	8.2775	5.8950
"	4:30 PM	480	26 °C	"	8.0400	5.6575
6 Noviembre de 2016	8:30 AM	1440	24 °C	"	7.2475	4.8650

Observaciones: _____



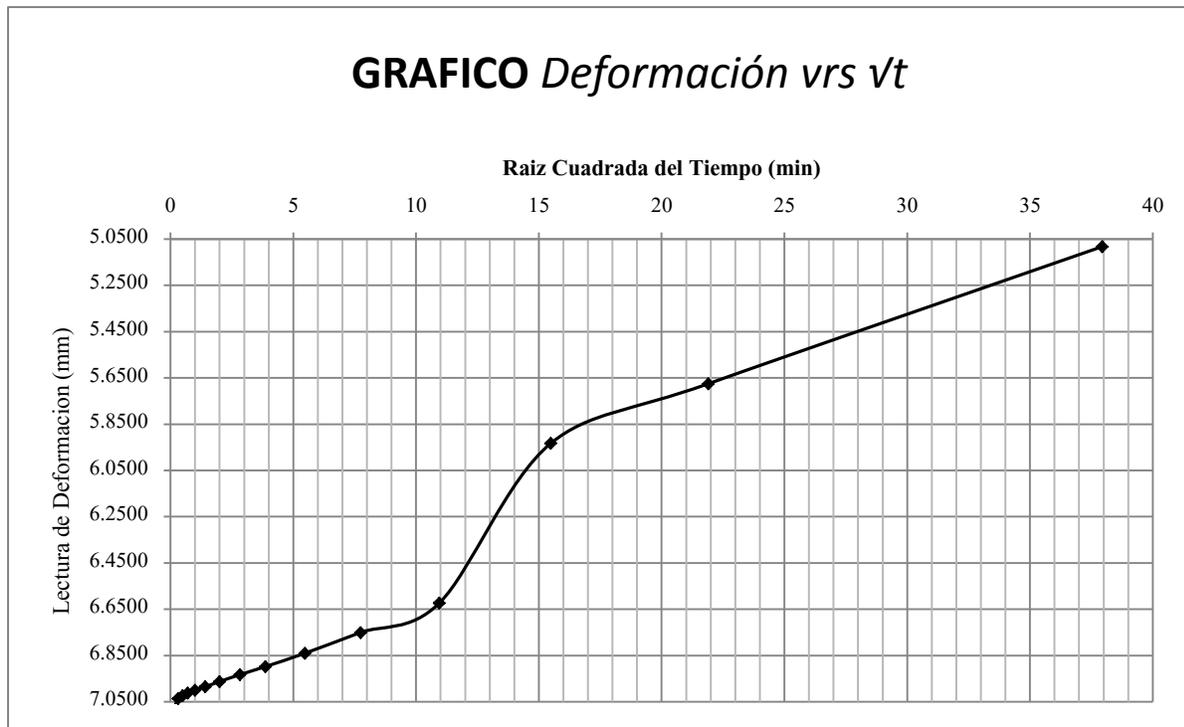
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	21/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidrometro:	2	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	5 Nov. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS

ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental
 SONDEO No. 1
 MUESTRA No. Suelo Natural 1-2

Reporte No. 1
 Hoja No. 22/23
 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 6 Nov.2016

DATOS DEL ENSAYO

Altura del anillo = 20 mm
 Peso de los sólidos = 61.47 g

Ac = 31.37 cm²
 Gs = 2.43

2H_o = 12.82 mm
 2H_i = 29.383 mm

T °C	γ _w (g/cm ³)	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H _o (mm)	e = 2H-2H _o /2H _o	H _m (cm)	H _m ² (cm ²)	t 90 (seg)	Av (cm ²)	Cv (cm ² /seg)	K _m (cm ² /seg)	K _m 20 °C	e m (mm)	P _m (kg/cm ²)
0	0	0.000	0.0000	20.000	7.1800	0.560									
							2.46913	6.09658						0.926	0.000
24	0.99733	0.000	-9.3825	29.3825	16.5625	1.292									
							2.83025	8.01032	10	0.00534	0.6793	1.64E-06	1.45E-06	1.208	15.790
24	0.99733	31.580	2.1600	27.2225	14.4025	1.123									
							2.70063	7.29338	15	0.00108	0.4123	2.1E-07	1.82E-07	1.107	47.270
23	0.99757	62.960	0.4325	26.7900	13.9700	1.090									
							2.62300	6.88013	11	0.00139	0.5304	3.60E-07	3.19E-07	1.046	94.320
24	0.99733	125.680	1.1200	25.6700	12.8500	1.002									
							2.50438	6.27189	8	0.00078	0.6648	2.65E-07	2.35E-07	0.953	188.310
24	0.99733	250.940	1.2525	24.4175	11.5975	0.905									
							2.37700	5.65013	10	0.00040	0.4791	1.04E-07	9.24E-08	0.854	375.845
24	0.99733	500.750	1.2950	23.1225	10.3025	0.804									
							2.24738	5.05069	15	0.00020	0.2855	3.29E-08	2.92E-08	0.753	750.475
25	0.99708	1000.200	1.2975	21.8250	9.0050	0.702									
24	0.99733	500.750	0.0975	21.9225	9.1025	0.710									
24	0.99733	250.650	0.1925	22.1150	9.2950	0.725									
24	0.99733	0.000	2.2525	24.3675	11.5475	0.901									

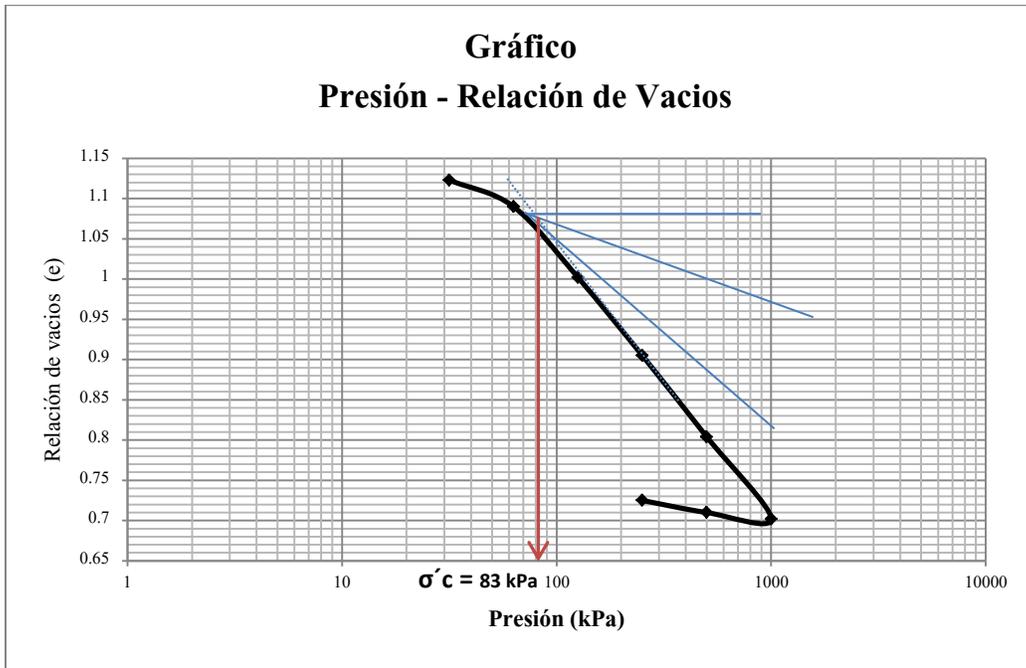


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	23/23
MUESTRA No.	Suelo Natural 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	6 Nov. 2016



Observaciones: _____

ANEXO B-1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN SUELO-CAL
 MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL PH
 ASTM D 6276-99**

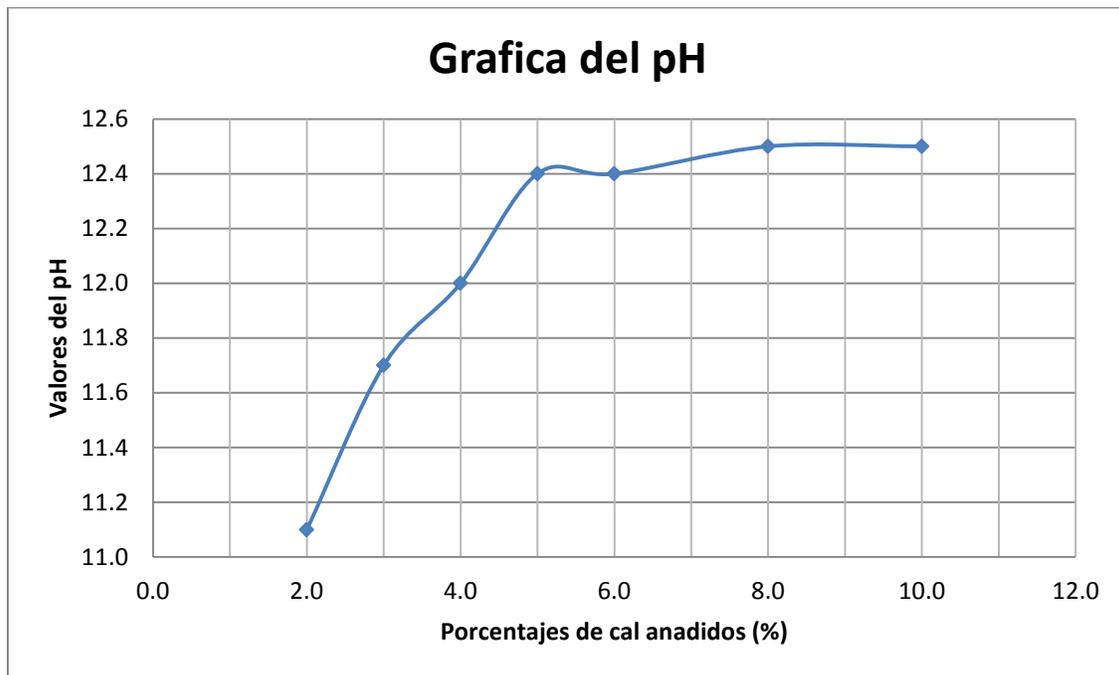
PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/2
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	11 Oct. 2016

N° de muestra	% de cal	Peso total	Peso de suelo	Peso de cal	Cantidad de agua	Valor de pH
1	2%	25 g	24.50 g	0.50 g	100 ml	11.1
2	3%	25 g	24.25 g	0.75 g	100 ml	11.7
3	4%	25 g	24.00 g	1.00 g	100 ml	12
4	5%	25 g	23.75 g	1.25 g	100 ml	12.4
5	6%	25 g	23.50 g	1.50 g	100 ml	12.4
6	8%	25 g	23.25 g	1.75 g	100 ml	12.5
7	10%	25 g	23.00 g	2.00 g	100 ml	12.5
Condición Saturada	100 %	2.00 g	0.00 g	2.00 g	100 ml	12.6



**ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN SUELO-CAL
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL PH
ASTM D 6276-99**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>2/2</u>
SONDEO No.	<u>1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>1</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>11 Oct. 2016</u>



ANEXO B-2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO POR EL METODO DEL MATRAZ CON AGUA ASTM D 854-02

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/1
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 26/10/2016

No. de Matraz		M-5
Masa de Matraz	g	195.40
Volumen del Matraz	ml	500
Temperatura de ensayo (T_e)	°C	25.00
Densidad del agua a temperatura de ensayo	g/ml	1.0000
Masa del Matraz + suelo + agua a T_e	g	727.10
Masa del Matraz + agua a T_e	g	696.33
Código de Recipiente		A-5
Masa de Recipiente	g	69.30
Masa de solidos del suelo + Recipiente	g	124.2
Masa de solidos del suelo	g	54.90
Gravedad específica a temperatura de ensayo (G_t)		2.28
Coefficiente de Temperatura a 20 °C (k)		1.00000
Gravedad específica a temperatura de 20 °C (G_s)		2.28

ANEXO B-3



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/4
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 28/10/2016

Peso Total (g) = 64.72
 Peso Retenido No.10 (g) = 0.00 Porcentaje (%) = 0.00
 Peso Que Pasa la No.10 (g) = 64.82 Porcentaje (%) = 100.00

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.0	0.00	0	0	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No.4	4.8	0.00	0.00	0.00	100
No.10	2.0	0.00	0.00	0.00	100
Fondo		64.72	100.00	100.00	0
	Total =	64.72			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SUELOS
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/4
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 28/10/2016

Contenido de Humedad (%) = 0.44

Peso Total (g) = 65.00

Peso Retenido No.10 (g) = 0.00

Peso Que Pasa la No.10 (g) = 65.00

Peso Total Hidrom. (g) = 65.00

Peso Total Corregido por Hum. (g) = 64.72

Peso que pasa la No. 200 (g) = 51.34

Tamiz	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	% Referido a la Muestra Total
No.10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
No.20	0.850	1.05	1.62	1.62	100.00	100.00
No.30	0.600	0.55	0.85	2.47	97.53	97.53
No.40	0.420	0.89	1.38	3.85	96.15	96.15
No.50	0.300	1.56	2.41	6.26	93.74	93.74
No.100	0.150	4.63	7.15	13.41	86.59	86.59
No.200	0.075	4.70	7.26	20.67	79.33	79.33
Pasa No.200		51.34	79.33	100.00	0.00	0.00
	Total =	64.72				

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUMAN URBINA



ANALISIS HIDROMETRICO
 ASTM D 422-63

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/4
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 28/10/2016
 Hidrómetro No. 1 Gs de los Sólidos: 2.28
 Tipo de Hidrómetro: ASTM 152H Corr. por Menisco: 1 Corr. por Defloculante: 5
 Agente Dispersante: Hexametáfosfato de sodio Peso del Suelo Seco (g): 64.72
 % Que pasa No.200 79.33 Factor de Corrección (a): 1.109

Tiempo Transcurrido (Minutos)	Temperatura (°C)	Corrección por Temperatura	Corrección por Defloc.	Lectura Real del Hidrómetro	Lectura Corregida del Hidrómetro Rc	% Más Fino	Hidrómetro Corregido Por Menisco o R	L	L/T	K	D (mm)	% Referido a la Muestra Total
2	24.5	1.15	5	50	46.15	79.1	51	8.10	4.05	0.014	0.029	63
5	24.2	1.06	5	49	45.06	77.2	50	8.30	1.66	0.014	0.019	61
15	24.4	1.12	5	43	39.12	67.0	44	9.20	0.613	0.014	0.011	53
30	24.4	1.12	5	40	36.12	61.9	41	9.70	0.323	0.014	0.008	49
60	24.6	1.18	5	37	33.18	56.9	38	10.20	0.170	0.014	0.006	45
250	26.3	1.75	5	31	27.75	47.6	32	11.20	0.045	0.014	0.003	38
1440	24.0	1.00	5	26	22.00	37.7	27	12.00	0.008	0.014	0.001	30
2880	24.2	1.06	5	23	19.06	32.7	24	12.50	0.004	0.014	0.0009	26

Observaciones: _____

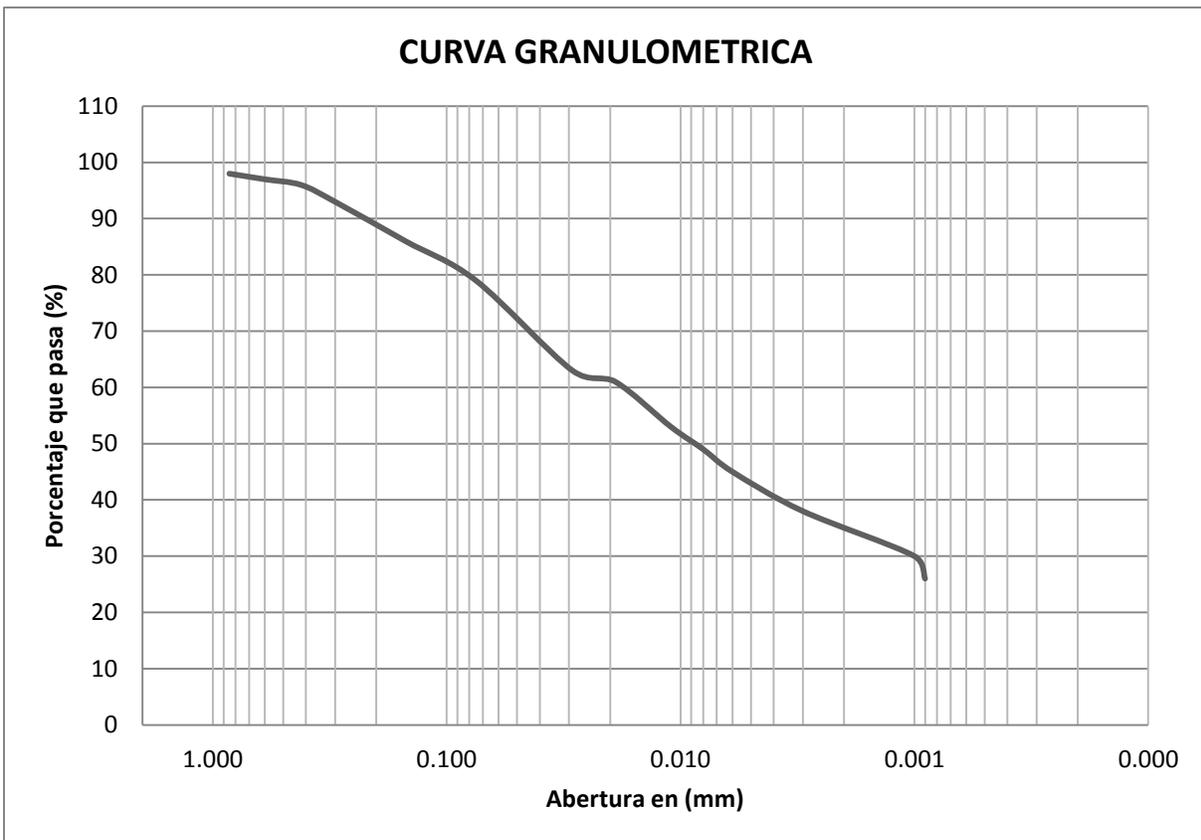


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



CURVA GRANULOMETRICA
ASTM D 422-63

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>4/4</u>
SONDEO No.	<u>1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>SUELO-CAL</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>28/10/2016</u>



Observaciones: _____

ANEXO B-4



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS AASHTO T 180-01

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/2
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 12 Oct. 2016
 Norma: AASHTO Método: T 180-01
 No de Capas: 5 Golpes/capa: 25 Dimensiones del Molde:
 Tipo de Suelo: _____ No de Molde: 1 h (cm) = 11.64
 Gs: 2.28 Peso de Martillo (lb): 10 D (cm)= 10.12

DETERMINACION DE LA DENSIDAD-HUMEDAD

W de la muestra (g)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Humedad de prueba (%)	18	20	22	24	26					
Agua agregada (ml)	137	190	243	296	350					
Wsuelo húmedo + molde (g)	3634	3663	3691	3721	3710					
Wmolde (g)	2011	2011	2011	2011	2011					
Wsuelo Húmedo (g)	1623	1652	1680	1710	1699					
Volumen del molde (cm ³)	936.28	936.28	936.28	936.28	936.28					
Peso vol. húmedo (g/cm ³)	1733	1764	1794	1826	1815					
Humedad Promedio (%)	16.56	17.49	18.26	20.09	22.43					
Peso vol. seco (kg/m ³)	1487	1502	1517	1521	1482					
Humedad de Saturación (%)	26.8	26.1	25.4	25.3	27.0					
No. de tara	0-9	0-4	10-2	12-10	10-7	A	11-7	G-3	00-6	G-1
Wsuelo húmedo + tara (g)	492.5	570.0	627.2	696.3	675.5	708.5	590.4	642.1	573.5	756.5
Wsuelo seco + tara (g)	434.7	493.5	543.8	602.1	583.8	604.2	500.0	545.9	475.8	629.9
W de agua (g)	57.8	76.5	83.4	94.2	91.7	104.3	90.4	96.2	97.7	126.6
W de tara (g)	69.8	50.9	65.1	65.3	65.1	50.8	64.5	50.6	51.1	50.6
W de suelo seco (g)	364.9	442.6	478.7	536.8	518.7	553.4	435.5	495.3	424.7	579.3
Contenido de humedad (%)	15.84	17.28	17.42	17.55	17.68	18.85	20.75	19.42	23.00	21.85



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA

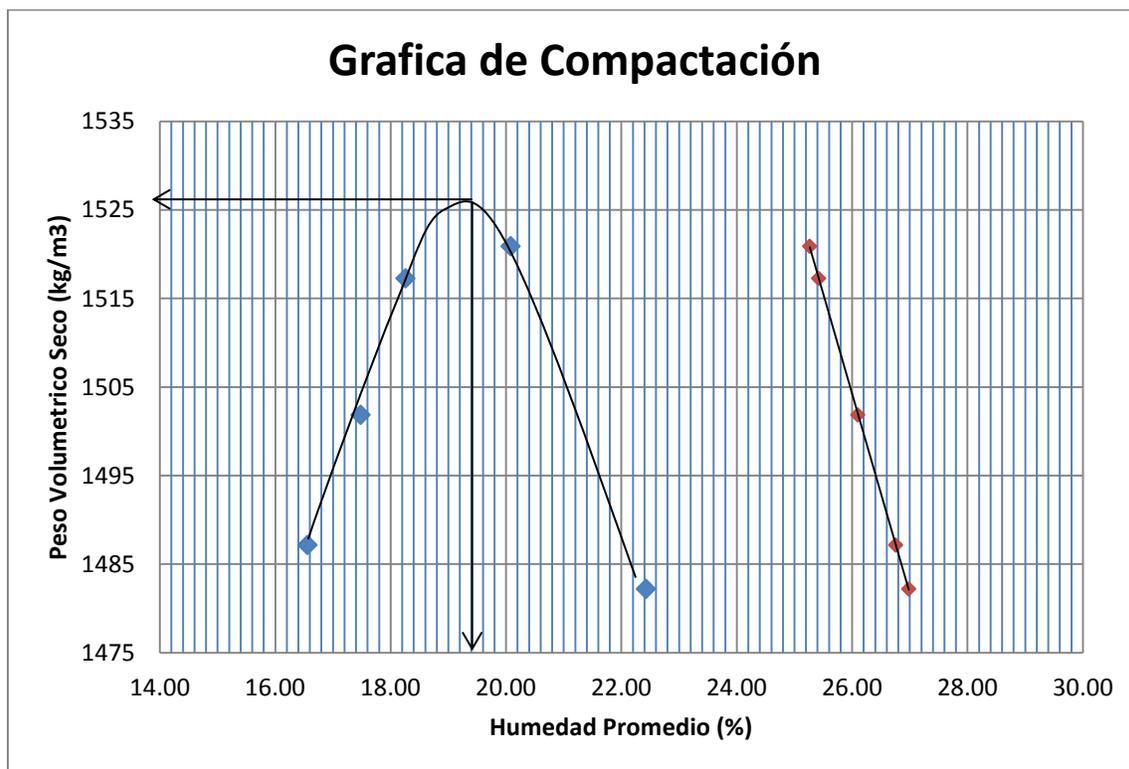


**DETERMINACION EN LABORATORIO DE LAS CARACTERISTICAS
 DE COMPACTACION DE LOS SUELOS
 AASHTO T 180-01**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>2/2</u>
SONDEO No.	<u>1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
MUESTRA No.	<u>5</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
		Fecha de Ensayo:	<u>12 Oct. 2016</u>

Humedad Optima (%) = 19.40
 Peso Volumétrico Máximo (Kg/m3) = 1,527

RELACIÓN DENSIDAD-HUMEDAD



Observaciones: _____

ANEXO B-5



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	1/6
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	SUELO-CAL	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	24-28 Oct. 2016

COMPACTACION

Molde No / No de golpes	1 / 56		2 / 25		3 / 10	
Agua Agregada (ml)	1191		1191		1191	
Peso suelo húmedo + molde (Kg)	10.209		9.952		9.763	
Peso molde (Kg)	6.326		6.308		6.423	
Peso suelo húmedo (Kg)	3.883		3.644		3.340	
Volumen del molde (m3)	0.0020580		0.0020640		0.002068	
Contenido de agua (%)	19.72		19.58		19.39	
Peso Volumétrico húmedo (Kg/m3)	1886.78		1765.50		1615.09	
Peso Volumétrico seco (Kg/m3)	1576.00		1476.42		1352.78	
Peso de la muestra antes penetración (Kg)	4.006		3.874		3.687	
Saturada + molde después penetración (Kg)	10.338		10.168		10.097	
Peso muestra saturada después penetración (Kg)	4.012		3.86		3.674	
Peso seco calculado (Kg)						
Peso Volumétrico húmedo saturado (Kg/m3)	1949.47		1870.16		1776.60	
Peso Volumétrico seco saturado (Kg/m3)	1562.77		1452.08		1326.52	
HUMEDADES DE MUESTRA SATURADA						
w % (De Saturación)	24.74		28.79		33.93	
Tara No.	10-7	0-3	X-1	G-1	14-4	G-3
Peso suelo húmedo + tara	296.70	291.20	262.70	290.30	342.10	290.50
Peso suelo seco + tara	250.10	247.00	214.60	237.60	273.40	228.30
Peso de tara	65.10	65.10	51.00	50.60	64.30	50.60
Peso de Agua	46.60	44.20	48.10	52.70	68.70	62.20
Peso de suelo seco	185.00	181.90	163.60	187.00	209.10	177.70
Contenido de agua (%)	25.19	24.30	29.40	28.18	32.86	35.00



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/6
SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
Fecha de Ensayo: 24-28 Oct. 2016

REGISTRO DEL HINCHAMIENTO

Molde No / No de Golpes: 1 / 56			Molde No / No de Golpes: 2 / 25			Molde No / No de Golpes: 3 / 10		
Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.			Sobrecarga 10 Lb.		
Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)	Fecha/Hora	Lect. (u) (0.001 Pulg)	Defor. (Pulg)
24/10/2016 2:40 p.m	0.00	0.000000	24/10/2016 2:40 p.m	0.00	0.000000	24/10/2016 2:40 p.m	0.00	0.000000
25/10/2016 2:40 p.m	3.00	0.003000	25/10/2016 2:40 p.m	6.00	0.006000	25/10/2016 2:40 p.m	9.00	0.009000
26/10/2016 2:40 p.m	3.00	0.003000	26/10/2016 2:40 p.m	7.00	0.007000	26/10/2016 2:40 p.m	9.00	0.009000
27/10/2016 2:40 p.m	3.00	0.003000	27/10/2016 2:40 p.m	7.00	0.007000	27/10/2016 2:40 p.m	9.00	0.009000
28/10/2016 2:40 p.m	3.00	0.003000	28/10/2016 2:40 p.m	7.00	0.007000	28/10/2016 2:40 p.m	9.00	0.009000

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 3/6
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 24-28 Sep. 2016

PENETRACION

Penetración en Pulg.	Molde No. 1		Molde No. 2		Molde No. 3	
	No de Golpes: 56		No de Golpes: 25		No de Golpes: 10	
	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	0.015	237.77	0.008	89.35	0.025	153.72
0.050	0.040	739.65	0.033	386.19	0.050	270.56
0.075	0.065	993.17	0.058	517.78	0.075	308.29
0.100	0.090	1154.76	0.083	612.64	0.100	337.43
0.150	0.140	1400.91	0.133	762.13	0.150	386.47
0.200	0.190	1528.42	0.183	888.93	0.200	426.14
0.250	0.240	1627.72	0.233	988.23	0.250	458.35
0.300	0.290	1713.42	0.283	1073.93	0.300	488.35
0.400	0.390	1808.00	0.383	1168.51	0.400	540.98
0.500	0.490	1808.00	0.483	1168.51	0.500	585.08

Observaciones: _____



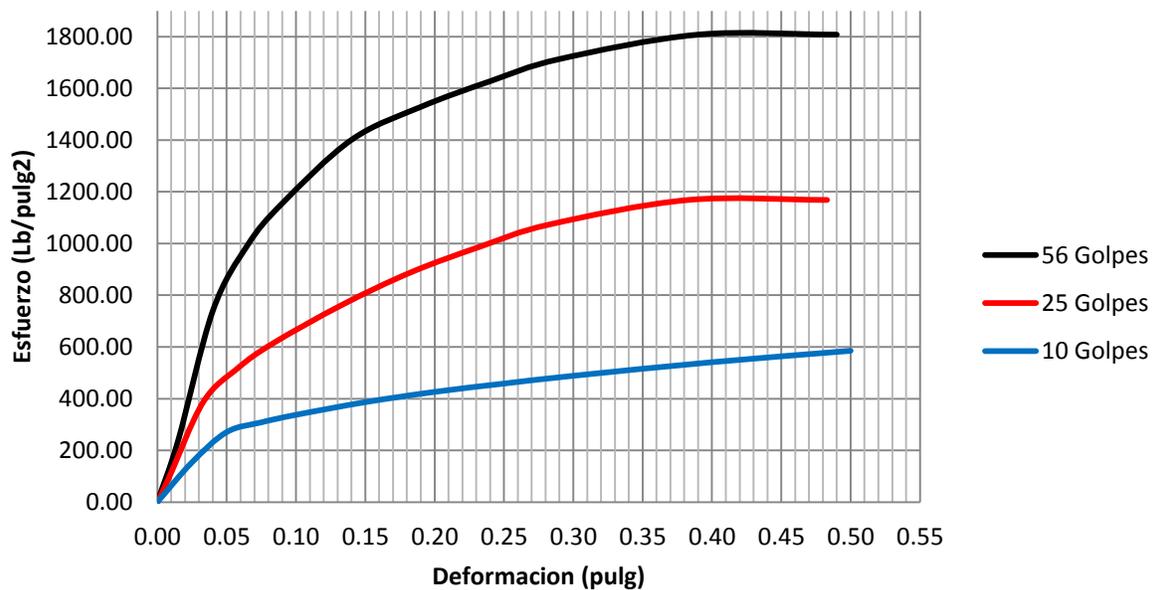
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	4/6
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	SUELO-CAL	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	24-28 Oct. 2016

Grafica Esfuerzo vs Deformación



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 5/6
 SONDEO No. 1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 MUESTRA No. SUELO-CAL Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 24-28 Oct. 2016

CUADRO RESUMEN PARA ENCONTRAR EL VALOR DE SOPORTE CALIFORNIA (C.B.R.)

Lectura del defor. (0.001")	Carga Estándar	Molde No.	1			Molde No.	2			Molde No.	3		
		No de Golpes: 56			No de Golpes: 25			No de Golpes: 10					
		Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR	Deformac. (pulg)	Lb / pulg ²	CBR			
0		0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00				
25		0.025	237.77		0.025	89.35		0.025	153.72				
50		0.050	739.65		0.050	386.19		0.050	270.56				
75		0.075	993.17		0.075	517.78		0.075	308.29				
100	1000	0.100	1154.76	115.48	0.100	612.64	61.26	0.100	337.43	33.74			
150		0.150	1400.91		0.150	762.13		0.150	386.47				
200	1500	0.200	1425.68	95.05	0.200	888.93	59.26	0.200	426.14	28.41			
250		0.250	1425.68		0.250	988.23		0.250	458.35				
300		0.300	1425.68		0.300	1073.93		0.300	488.35				
400		0.400	1425.68		0.400	1168.51		0.400	540.98				
500		0.500	1425.68		0.500	1168.51		0.500	585.08				

Observaciones: _____

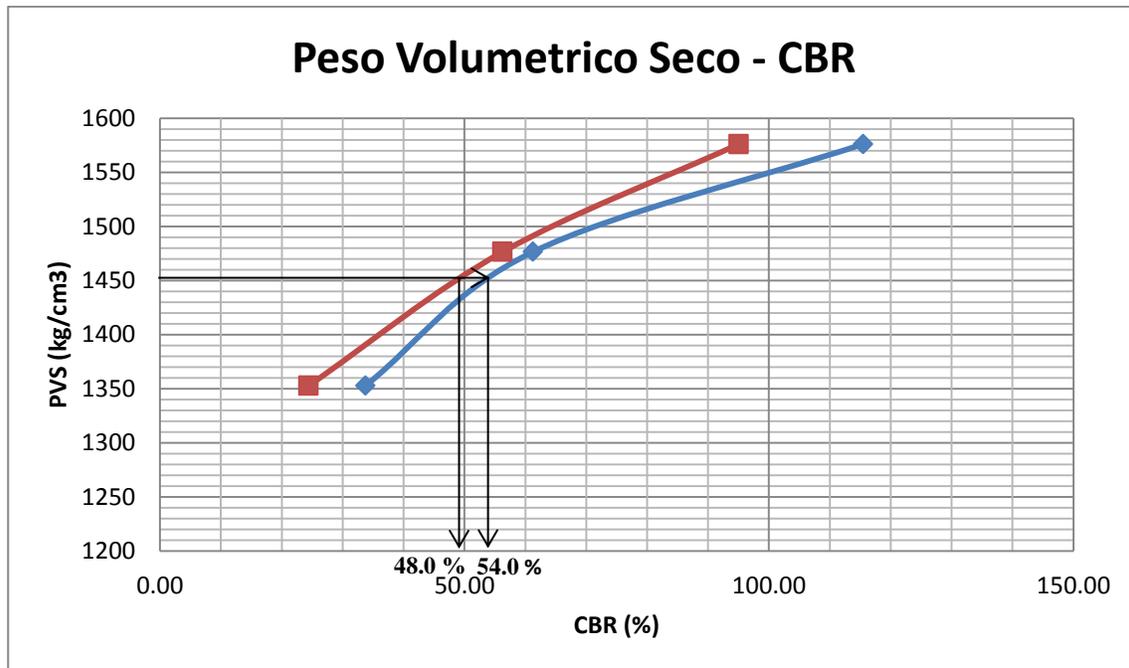


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



PRUEBA DEL VALOR DE SOPORTE RELATIVO (C.B.R.)
 AASHTO T 193-99

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	6/6
SONDEO No.	1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
MUESTRA No.	SUELO-CAL	Elaboró:	Grupo de Tesis
		Fecha de Ensayo:	24-28 Oct. 2016
Densidad Máxima Proctor (Kg/m ³) =	1,527	CBR de 0.100" (%) =	54.0 %
Densidad al 95% (Kg/m ³) =	1,450	CBR de 0.200" (%) =	48.0 %



Observaciones: _____

ANEXO B-6



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

DATOS INICIALES

Masa del anillo (g)	63.50
Masa de muestra húmeda + Anillo (g)	183.50
Masa de muestra húmeda (g)	120.00
Diámetro del anillo (cm)	6.32
Altura del anillo (cm)	2.00
Área de la muestra (cm ²)	31.37
Volumen inicial (cm ³)	62.74
Humedad Inicial	20.36
Masa de la muestra seca (g)	99.70

DATOS ANTES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	120.00
Masa de muestra seca (g)	99.70
Masa de agua (g)	20.30
Volumen inicial (cm ³)	62.74
Volumen de sólidos (cm ³)	43.73
Volumen de Vacíos (cm ³)	19.01
Relación de vacíos inicial	0.43
Humedad Inicial (%)	20.36
Grado de saturación (%)	106.77

DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	131.3
Masa de muestra seca (g)	99.70
Masa de agua (g)	31.60
Volumen total final (cm ³)	61.38
Volumen de sólidos (cm ³)	41.03
Volumen de Vacíos	20.36
Relación de vacíos final	0.40
Humedad final (%)	31.70
Grado de saturación (%)	155.24



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

SATURACION

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
24 Octubre de 2016	9:35 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	9.4975	0.0025
"	-	0.25	"	"	9.4900	0.0100
"	-	0.50	"	"	9.4750	0.0250
"	9:36 AM	1	"	"	9.4750	0.0250
"	9:37 AM	2	"	"	9.4750	0.0250
"	9:39 AM	4	"	"	9.4700	0.0300
"	9:43 AM	8	"	"	9.4700	0.0300
"	9:50 AM	15	"	"	9.4675	0.0325
"	10:05 AM	30	"	"	9.4650	0.0350
"	10:35 AM	60	"	"	9.4600	0.0400
"	11:35 AM	120	"	"	9.4600	0.0400
"	1:35 PM	240	25 °C	"	9.4550	0.0450
"	5:35 PM	480	25 °C	"	9.4500	0.0500
25 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	24 °C	"	9.4475	0.0525

Observaciones: _____

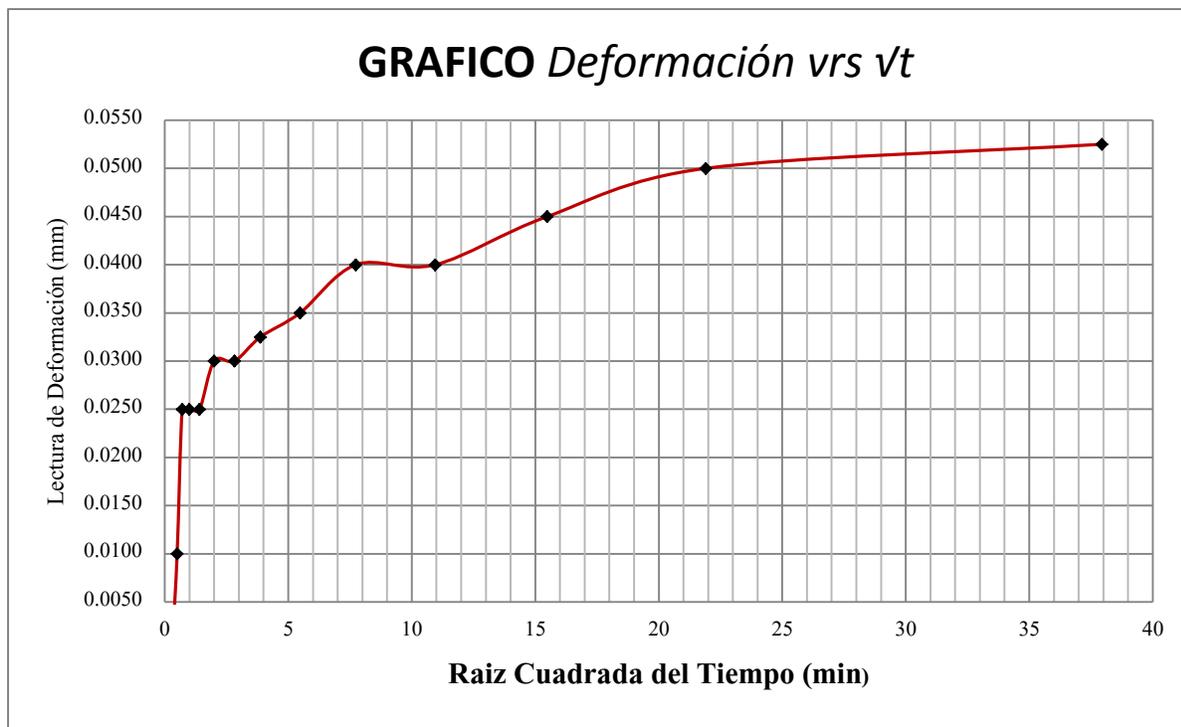


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	3/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	24 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 4/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidómetro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 25 Oct. 2016

Carga No.1 - 1.004 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
25 Octubre de 2016	9:35 AM	0	24 °C	31.38 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	10.0800	0.0800
"	-	0.25	"	"	10.0825	0.0825
"	-	0.50	"	"	10.0825	0.0825
"	9:36 AM	1	"	"	10.0825	0.0825
"	9:37 AM	2	"	"	10.0850	0.0850
"	9:39 AM	4	"	"	10.0850	0.0850
"	9:43 AM	8	"	"	10.0850	0.0850
"	9:50 AM	15	"	"	10.0900	0.0900
"	10:05 AM	30	"	"	10.0900	0.0900
"	10:35 AM	60	"	"	10.0900	0.0900
"	11:35 AM	120	"	"	10.0900	0.0900
"	1:35 PM	240	25 °C	"	10.0925	0.0925
"	5:35 PM	480	25 °C	"	10.0925	0.0925
26 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	24 °C	"	10.0925	0.0925

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 6/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidómetro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 26 Oct. 2016

Carga No.2 - 2.0035 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
26 Octubre de 2016	9:35 AM	0	24 °C	62.62 kPa	10.0000	0.0925
"	-	0.1	"	"	10.0125	0.1050
"	-	0.25	"	"	10.0150	0.1075
"	-	0.50	"	"	10.0175	0.1100
"	9:36 AM	1	"	"	10.0175	0.1100
"	9:37 AM	2	"	"	10.0175	0.1100
"	9:39 AM	4	"	"	10.0200	0.1125
"	9:43 AM	8	"	"	10.0200	0.1125
"	9:50 AM	15	"	"	10.0225	0.1150
"	10:05 AM	30	"	"	10.0250	0.1175
"	10:35 AM	60	"	"	10.0250	0.1175
"	11:35 AM	120	"	"	10.0275	0.1200
"	1:35 PM	240	24 °C	"	10.0275	0.1200
"	5:35 PM	480	25 °C	"	10.0300	0.1225
27 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	23 °C	"	10.0300	0.1225

Observaciones: _____



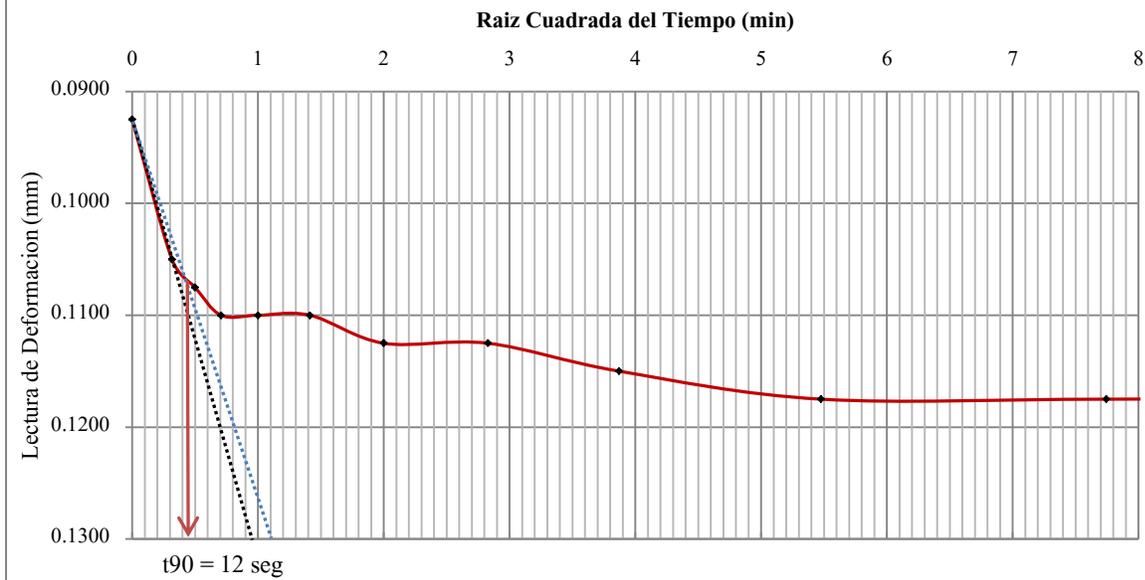
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	7/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	26 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 8/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 27 Oct. 2016

Carga No.3 - 4.02085 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
27 Octubre de 2016	9:35 AM	0	24 °C	125.70 kPa	10.0000	0.1225
"	-	0.1	"	"	10.0375	0.1600
"	-	0.25	"	"	10.0400	0.1625
"	-	0.50	"	"	10.0425	0.1650
"	9:36 AM	1	"	"	10.0450	0.1675
"	9:37 AM	2	"	"	10.0450	0.1675
"	9:39 AM	4	"	"	10.0475	0.1700
"	9:43 AM	8	"	"	10.0500	0.1725
"	9:50 AM	15	"	"	10.0525	0.1750
"	10:05 AM	30	"	"	10.0550	0.1775
"	10:35 AM	60	"	"	10.0550	0.1775
"	11:35 AM	120	"	"	10.0575	0.1800
"	1:35 PM	240	"	"	10.0600	0.1825
"	5:35 PM	480	25 °C	"	10.0625	0.1850
28 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	23 °C	"	10.0650	0.1875

Observaciones: _____



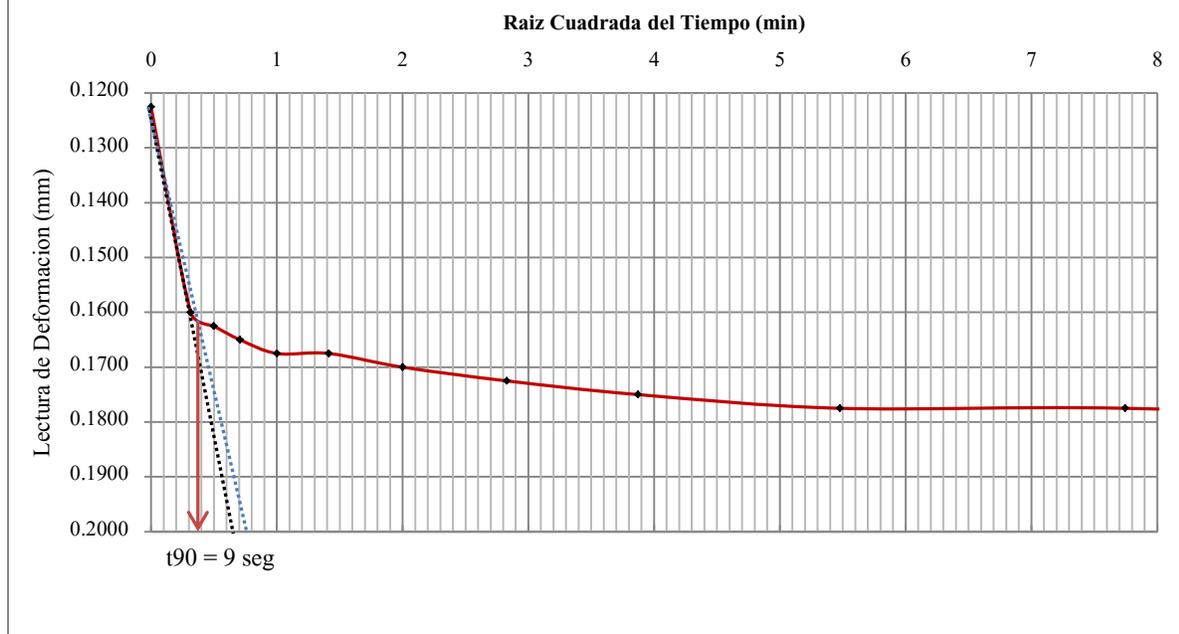
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	9/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	27 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 10/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 28 Oct. 2016

Carga No.4 - 8.0275 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
28 Octubre de 2016	9:35 AM	0	23 °C	250.95 kPa	10.0000	0.1875
"	-	0.1	"	"	10.0675	0.2550
"	-	0.25	"	"	10.0700	0.2575
"	-	0.50	"	"	10.0725	0.2600
"	9:36 AM	1	"	"	10.0775	0.2650
"	9:37 AM	2	"	"	10.0800	0.2675
"	9:39 AM	4	"	"	10.0825	0.2700
"	9:43 AM	8	"	"	10.0850	0.2725
"	9:50 AM	15	"	"	10.0900	0.2775
"	10:05 AM	30	24 °C	"	10.0925	0.2800
"	10:35 AM	60	"	"	10.0950	0.2825
"	11:35 AM	120	"	"	10.0975	0.2850
"	1:35 PM	240	25 °C	"	10.1025	0.2900
"	5:35 PM	480	26 °C	"	10.1025	0.2900
29 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	23 °C	"	10.1025	0.2900

Observaciones: _____



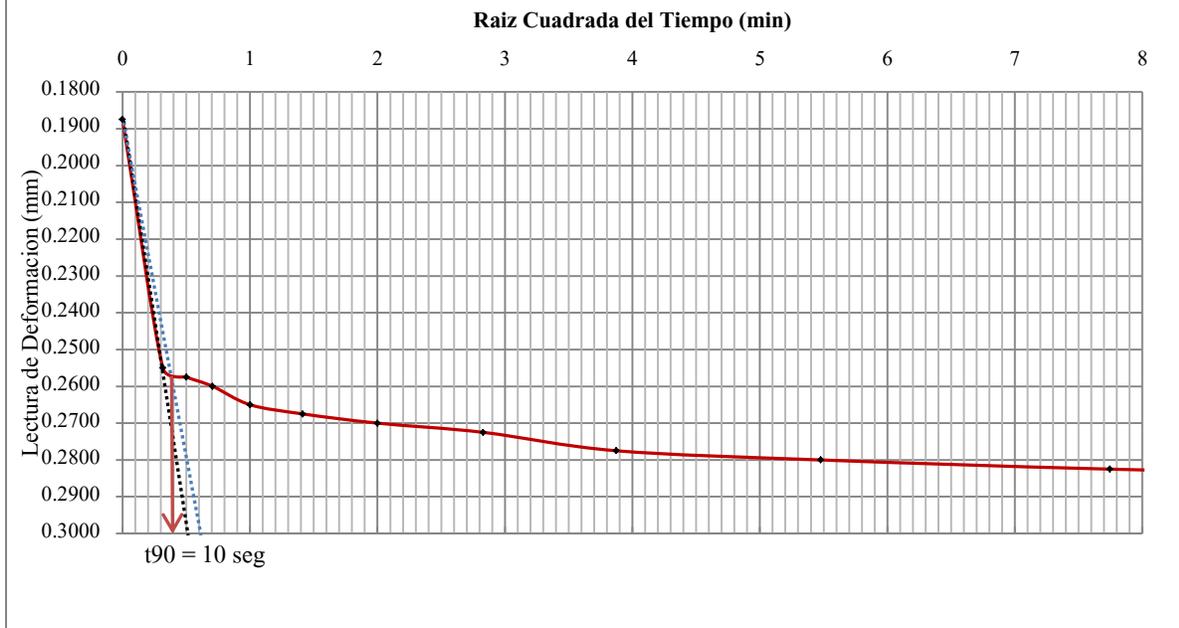
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	11/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	28 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 12/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 29 Oct. 2016

Carga No.5 - 16.0415 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
29 Octubre de 2016	9:35 AM	0	23 °C	501.47 kPa	10.0000	0.2900
"	-	0.1	"	"	10.1150	0.4050
"	-	0.25	"	"	10.1200	0.4100
"	-	0.50	"	"	10.1250	0.4150
"	9:36 AM	1	"	"	10.1275	0.4175
"	9:37 AM	2	"	"	10.1325	0.4225
"	9:39 AM	4	"	"	10.1350	0.4250
"	9:43 AM	8	"	"	10.1400	0.4300
"	9:50 AM	15	"	"	10.1450	0.4350
"	10:05 AM	30	"	"	10.1475	0.4375
"	10:35 AM	60	"	"	10.1500	0.4400
"	11:35 AM	120	24 °C	"	10.1525	0.4425
"	1:35 PM	240	25 °C	"	10.1550	0.4450
"	5:35 PM	480	26 °C	"	10.1600	0.4500
30 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	23 °C	"	10.1625	0.4525

Observaciones: _____



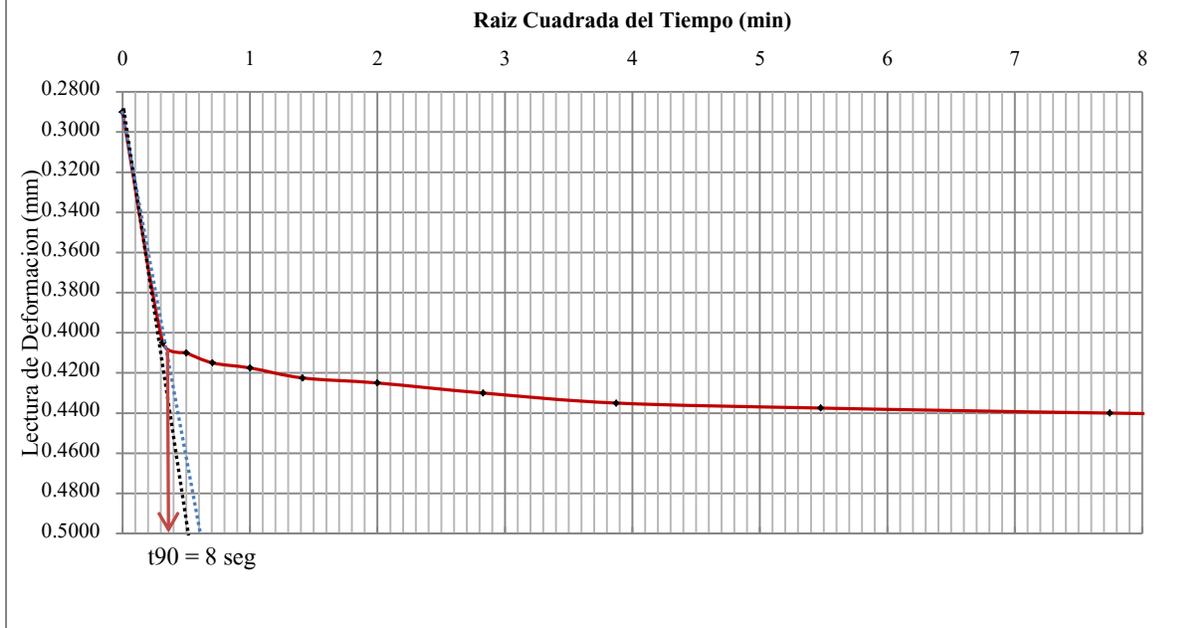
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	13/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	29 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 14/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 30 Oct. 2016

Carga No.6 - 32.0415 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
30 Octubre de 2016	9:35 AM	0	23 °C	1001.65 kPa	10.0000	0.4525
"	-	0.1	"	"	10.1275	0.5800
"	-	0.25	"	"	10.1375	0.5900
"	-	0.50	"	"	10.1425	0.5950
"	9:36 AM	1	"	"	10.1475	0.6000
"	9:37 AM	2	"	"	10.1525	0.6050
"	9:39 AM	4	"	"	10.1575	0.6100
"	9:43 AM	8	"	"	10.1625	0.6150
"	9:50 AM	15	24 °C	"	10.1650	0.6175
"	10:05 AM	30	"	"	10.1725	0.6250
"	10:35 AM	60	"	"	10.1750	0.6275
"	11:35 AM	120	"	"	10.1775	0.6300
"	1:35 PM	240	24 °C	"	10.1800	0.6325
"	5:35 PM	480	25 °C	"	10.1825	0.6350
31 Octubre de 2016	9:35 AM	1440	24 °C	"	10.1925	0.6450

Observaciones: _____



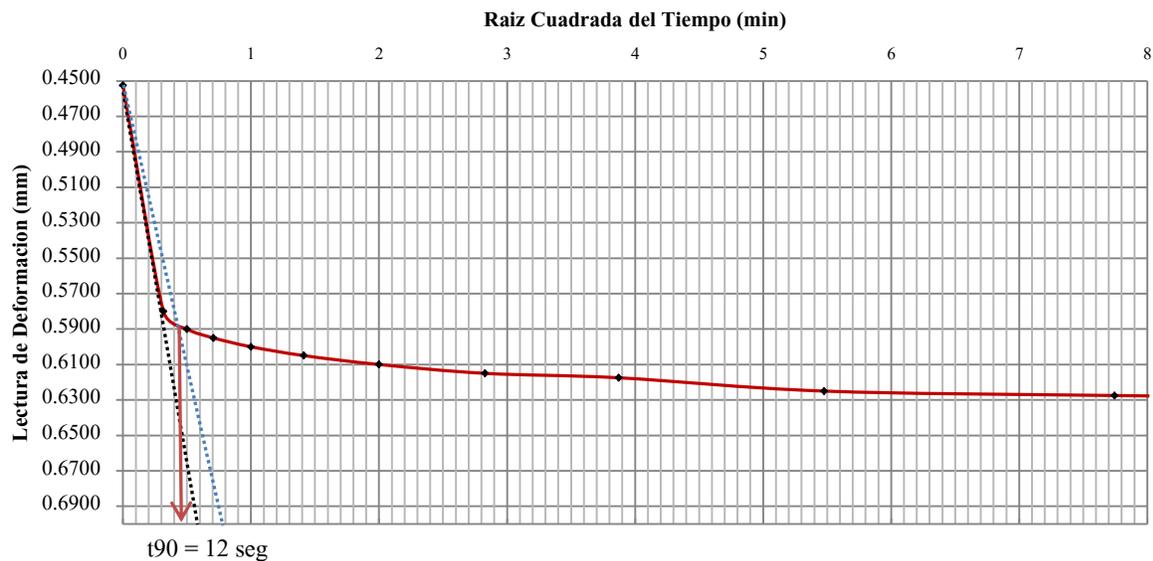
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	15/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	30 Oct. 2016

GRAFICO *Deformación vs \sqrt{t}*



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 16/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 3 Nov. 2016

Descarga No.1 - 16.0000 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
3 Noviembre de 2016	8:45 AM	0	24 °C	501.47 kPa	10.0000	0.6450
"	-	0.1	"	"	9.4775	0.6225
"	-	0.25	"	"	9.4775	0.6225
"	-	0.50	"	"	9.4775	0.6225
"	8:46 AM	1	"	"	9.4775	0.6225
"	8:47 AM	2	"	"	9.4775	0.6225
"	8:49 AM	4	"	"	9.4775	0.6225
"	8:53 AM	8	"	"	9.4775	0.6225
"	9:00 AM	15	"	"	9.4775	0.6225
"	9:15 AM	30	"	"	9.4750	0.6200
"	9:45 AM	60	"	"	9.4750	0.6200
"	10:45 AM	120	"	"	9.4750	0.6200
"	12:45 AM	240	25 °C	"	9.4750	0.6200
"	4:45 PM	480	26 °C	"	9.4750	0.6200
4 Noviembre de 2016	8:45 AM	1440	24 °C	"	9.4700	0.6150

Observaciones: _____

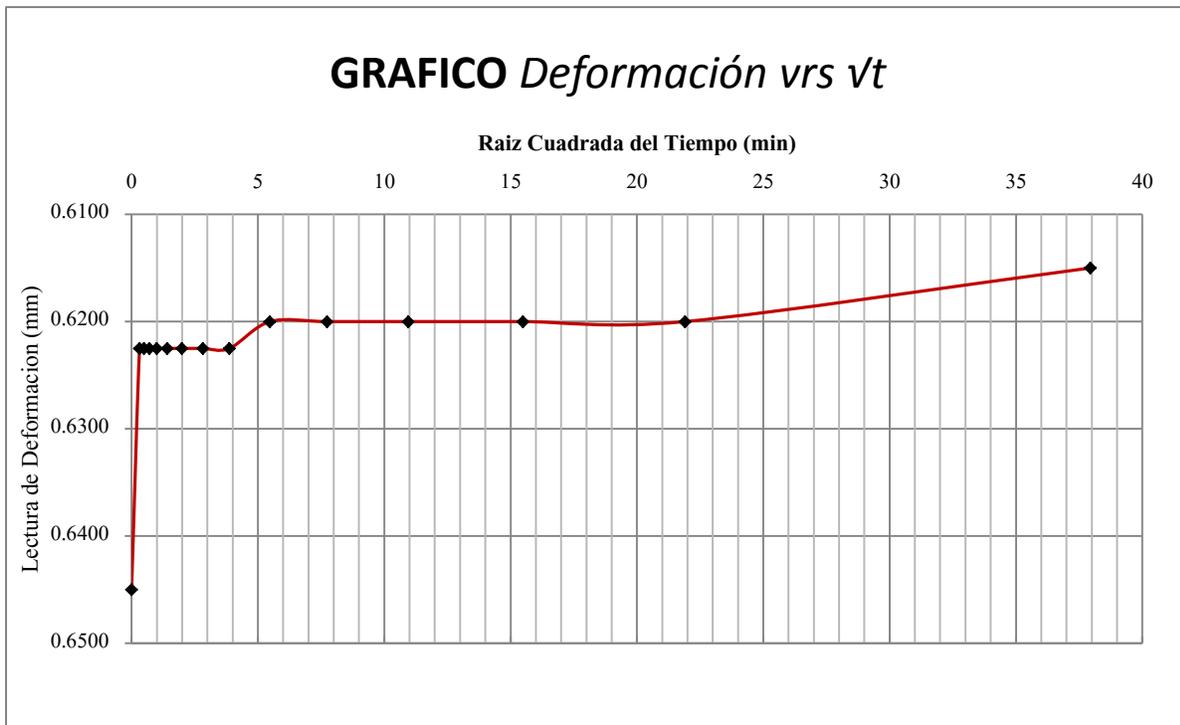


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	17/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	3 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 18/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 4 Nov. 2016

Descarga No.2 - 8.023 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
4 Noviembre de 2016	8:45 AM	0	24 °C	250.67 kPa	10.0000	0.6150
"	-	0.1	"	"	9.4750	0.5900
"	-	0.25	"	"	9.4725	0.5875
"	-	0.50	"	"	9.4725	0.5875
"	8:46 AM	1	"	"	9.4725	0.5875
"	8:47 AM	2	"	"	9.4725	0.5875
"	8:49 AM	4	"	"	9.4725	0.5875
"	8:53 AM	8	"	"	9.4725	0.5875
"	9:00 AM	15	"	"	9.4700	0.5850
"	9:15 AM	30	"	"	9.4700	0.5850
"	9:45 AM	60	"	"	9.4700	0.5850
"	10:45 AM	120	"	"	9.4675	0.5825
"	12:45 AM	240	25 °C	"	9.4675	0.5825
"	4:45 PM	480	26 °C	"	9.4650	0.5800
5 Noviembre de 2016	8:45 AM	1440	24 °C	"	9.4650	0.5800

Observaciones: _____

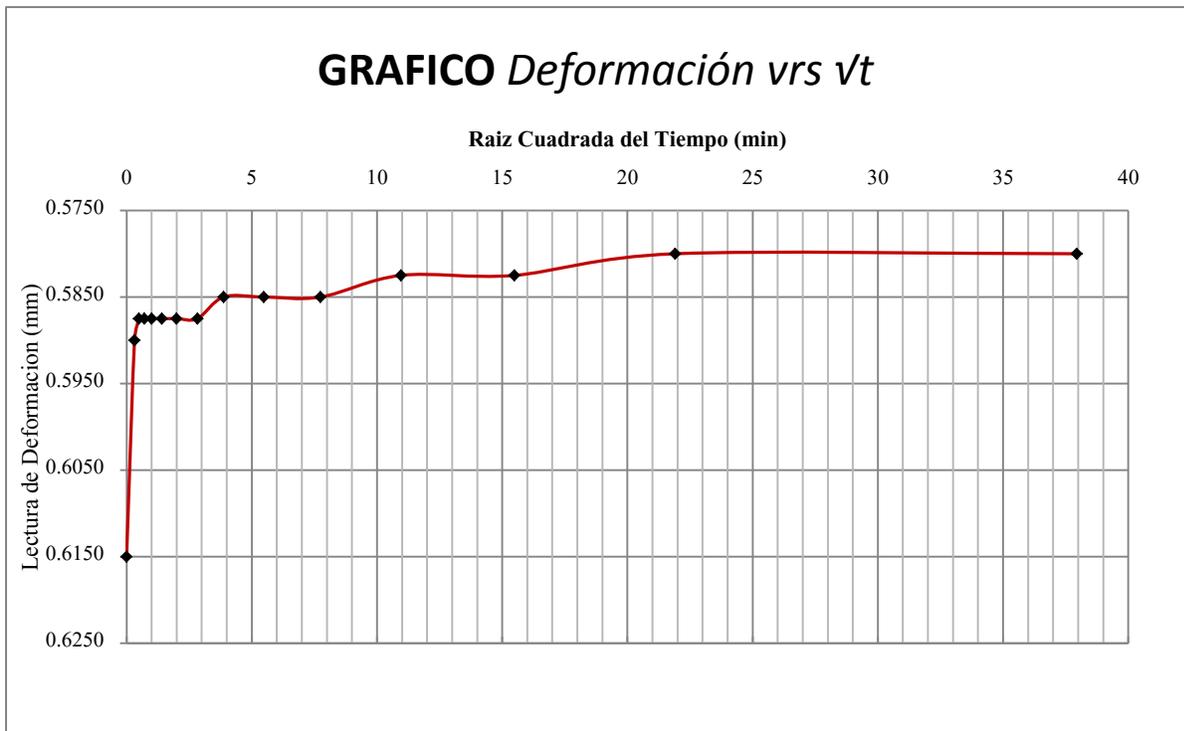


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>19/23</u>
MUESTRA No.	<u>SUELO-CAL 1-1</u>	Laboratorista:	<u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro:	<u>3</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro:	<u>0.0025</u>	Fecha:	<u>4 Nov. 2016</u>



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 20/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-1 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 3 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 5 Nov. 2016

Descarga No.3 - 8.032 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
5 Noviembre de 2016	8:45 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	0.5800
"	-	0.1	"	"	9.3800	0.4600
"	-	0.25	"	"	9.3775	0.4575
"	-	0.50	"	"	9.3775	0.4575
"	8:46 AM	1	"	"	9.3750	0.4550
"	8:47 AM	2	"	"	9.3700	0.4500
"	8:49 AM	4	"	"	9.3700	0.4500
"	8:53 AM	8	"	"	9.3675	0.4475
"	9:00 AM	15	"	"	9.3600	0.4400
"	9:15 AM	30	"	"	9.3575	0.4375
"	9:45 AM	60	"	"	9.3550	0.4350
"	10:45 AM	120	"	"	9.3525	0.4325
"	12:45 AM	240	25 °C	"	9.3525	0.4325
"	4:45 PM	480	26 °C	"	9.3500	0.4300
6 Noviembre de 2016	8:45 AM	1440	24 °C	"	9.3450	0.4250

Observaciones: _____



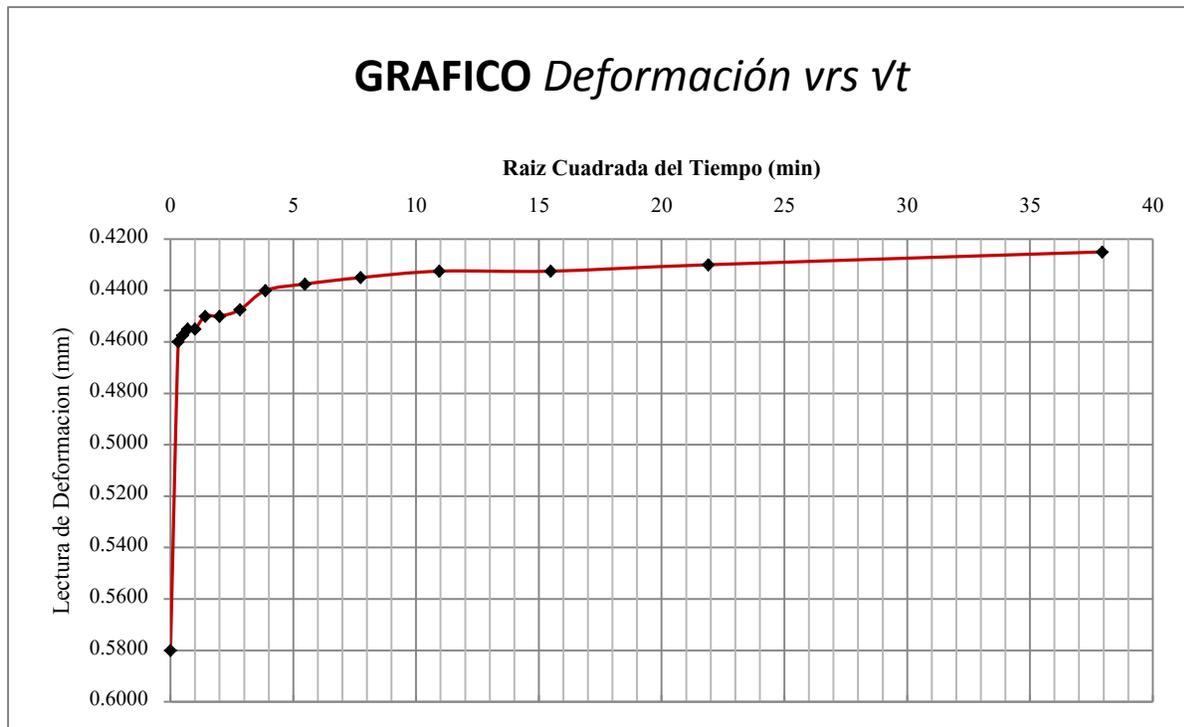
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	21/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-1	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	3	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	5 Nov. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS

ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental
 SONDEO No. 1
 MUESTRA No. SUELO CAL 1-1

Reporte No. 1
 Hoja No. 22/23
 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 6 Nov.2016

DATOS DEL ENSAYO

Altura del anillo = 20 mm
 Peso de los sólidos = 99.7 g

$A_c = 31.37 \text{ cm}^2$
 $G_s = 2.28$

$2H_o = 13.93 \text{ mm}$
 $2H_i = 20.0525 \text{ mm}$

T °C	γ_w (g/cm ³)	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H _o (mm)	$e = 2H - 2H_o / 2H_o$	Hm (cm)	Hm ² (cm ²)	t 90 (seg)	Av (cm ²)	Cv (cm ² /seg)	Km (cm ² /seg)	Km 20 °C	e m (mm)	Pm (kg/cm ²)
0	0	0.000	0.0000	20.000	6.0700	0.436									
24	0.99733	0.000	-0.0525	20.0525	6.1225	0.440	2.00263	4.01051						0.438	0.000
24	0.99733	31.380	0.0925	19.9600	6.0300	0.433	2.00063	4.00250	6	0.00021	0.5657	8.31E-08	7.37E-08	0.436	15.690
23	0.99757	62.620	0.0300	19.9300	6.0000	0.431	1.99450	3.97803	12	0.00007	0.2811	1.4E-08	1.17E-08	0.432	47.000
23	0.99757	125.700	0.0650	19.8650	5.9350	0.426	1.98975	3.95911	9	0.00007	0.3730	1.93E-08	1.71E-08	0.428	94.160
23	0.99757	250.950	0.1025	19.7625	5.8325	0.419	1.98138	3.92585	10	0.00006	0.3329	1.37E-08	1.22E-08	0.422	188.325
23	0.99757	501.470	0.1625	19.6000	5.6700	0.407	1.96813	3.87352	8	0.00005	0.4106	1.35E-08	1.20E-08	0.413	376.210
24	0.99733	1001.650	0.1925	19.4075	5.4775	0.393	1.95038	3.80396	12	0.00003	0.2688	5.29E-09	4.69E-09	0.400	751.560
24	0.99733	501.470	0.0300	19.3775	5.4475	0.391									
24	0.99733	250.950	0.0350	19.4125	5.4825	0.394									
24	0.99733	0.000	0.1550	19.5675	5.6375	0.405									

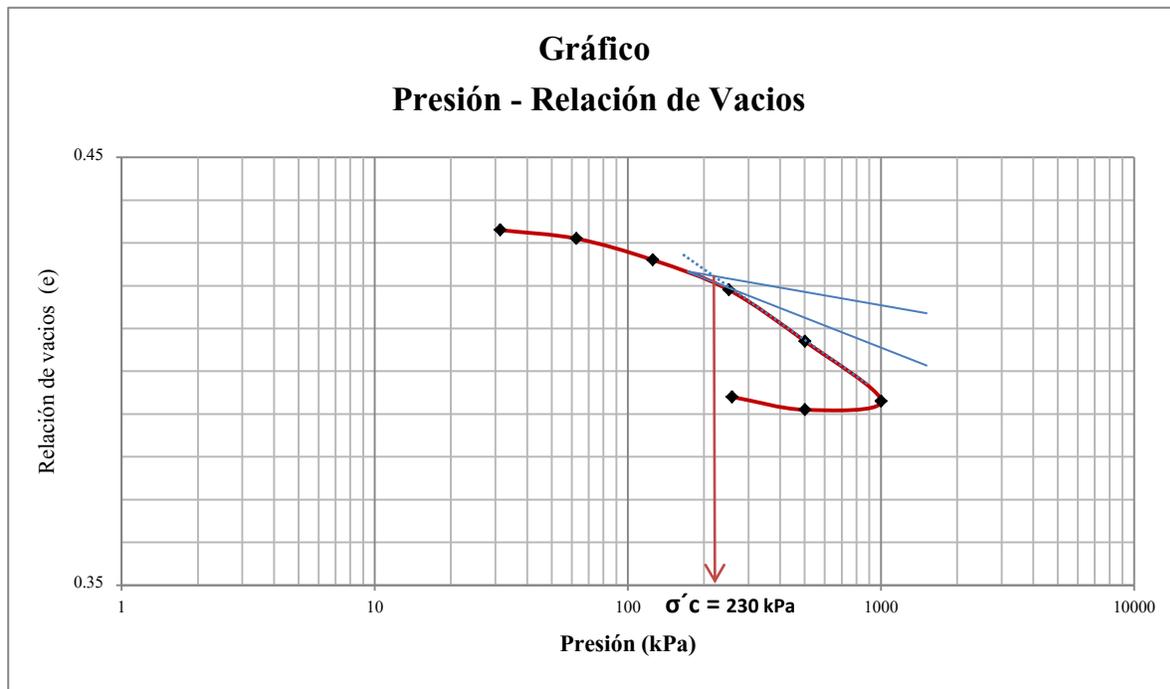


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	<u>Trabajo de Graduación</u>	Reporte No.	<u>1</u>
UBICACIÓN:	<u>Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental</u>	Hoja No.	<u>23/23</u>
MUESTRA No.	<u>SUELO-CAL 1-1</u>	Laborarista:	<u>Grupo de Tesis</u>
Consolidometro:	<u>1</u>	Elaboró:	<u>Grupo de Tesis</u>
Micrómetro:	<u>0.0025</u>	Fecha:	<u>6 Nov. 2016</u>



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 1/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

DATOS INICIALES

Masa del anillo (g)	63.50
Masa de muestra húmeda +Anillo (g)	183.50
Masa de muestra húmeda (g)	120.00
Diámetro del anillo (cm)	6.32
Altura del anillo (cm)	2.00
Área de la muestra (cm ²)	31.37
Volumen inicial (cm ³)	62.74
Humedad Inicial	20.36
Masa de la muestra seca (g)	99.70

DATOS ANTES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	109.50
Masa de muestra seca (g)	86.90
Masa de agua (g)	22.60
Volumen inicial (cm ³)	62.54
Volumen de sólidos (cm ³)	38.11
Volumen de Vacíos (cm ³)	24.43
Relación de vacíos inicial	0.64
Humedad Inicial (%)	26.01
Grado de saturación (%)	92.51

DATOS DESPUES DE LA CONSOLIDACION

Masa de muestra húmeda (g)	132.8
Masa de muestra seca (g)	86.90
Masa de agua (g)	45.90
Volumen total final (cm ³)	61.26
Volumen de sólidos (cm ³)	35.76
Volumen de Vacíos	25.50
Relación de vacíos final	0.61
Humedad final (%)	52.82
Grado de saturación (%)	180.00



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 2/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 24 Oct. 2016

SATURACION

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
24 Octubre de 2016	9:45 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	9.4775	0.0225
"	-	0.25	"	"	9.4775	0.0225
"	-	0.50	"	"	9.4775	0.0225
"	9:46 AM	1	"	"	9.4625	0.0375
"	9:47 AM	2	"	"	9.4575	0.0425
"	9:49 AM	4	"	"	9.4550	0.0450
"	9:53 AM	8	"	"	9.4550	0.0450
"	10:00 AM	15	"	"	9.4550	0.0450
"	10:15 AM	30	"	"	9.4550	0.0450
"	10:45 AM	60	"	"	9.4550	0.0450
"	11:45 AM	120	"	"	9.4525	0.0475
"	1:45 PM	240	25 °C	"	9.4450	0.0550
"	5:45 PM	480	25 °C	"	9.4400	0.0600
25 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	24 °C	"	9.4325	0.0675

Observaciones: _____

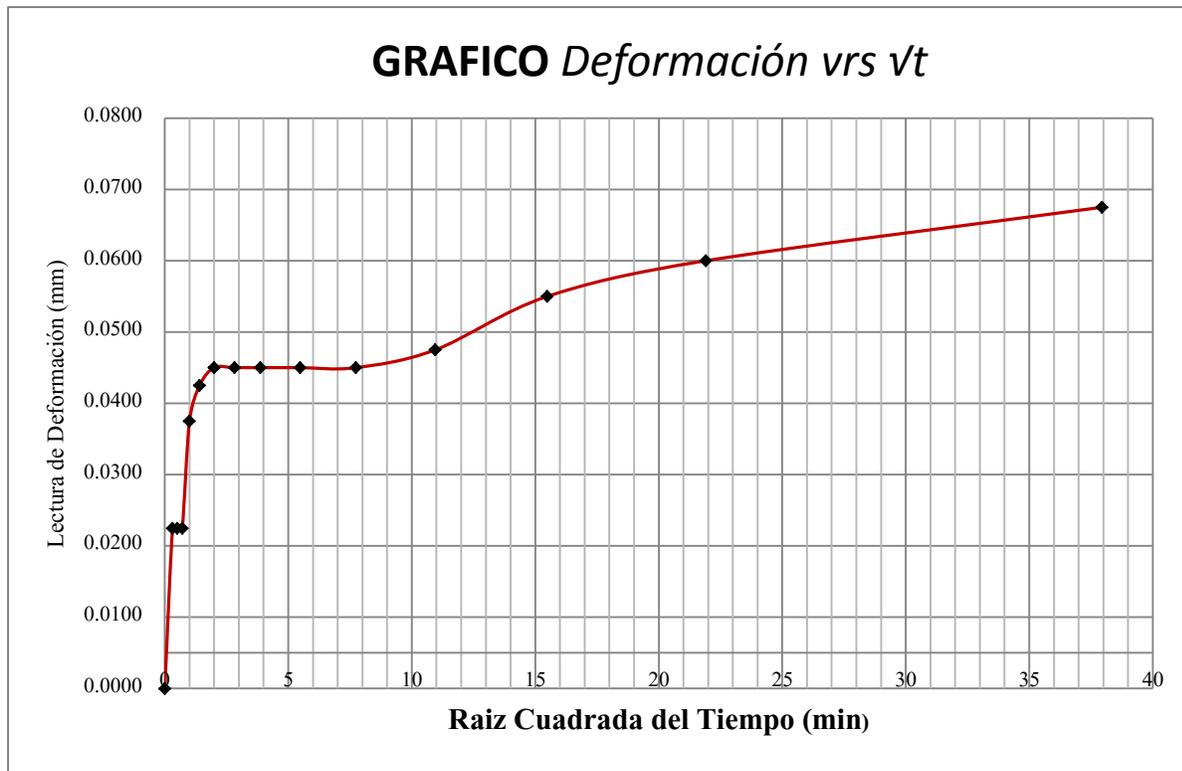


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	3/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	24 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 4/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 25 Oct. 2016

Carga No.1 - 1.002 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
25 Octubre de 2016	9:45 AM	0	24 °C	31.42 kPa	10.0000	0.0000
"	-	0.1	"	"	10.0400	0.0400
"	-	0.25	"	"	10.0400	0.0400
"	-	0.50	"	"	10.0400	0.0400
"	9:46 AM	1	"	"	10.0425	0.0425
"	9:47 AM	2	"	"	10.0425	0.0425
"	9:49 AM	4	"	"	10.0425	0.0425
"	9:53 AM	8	"	"	10.0450	0.0450
"	10:00 AM	15	"	"	10.0450	0.0450
"	10:15 AM	30	"	"	10.0475	0.0475
"	10:45 AM	60	"	"	10.0475	0.0475
"	11:45 AM	120	"	"	10.0475	0.0475
"	1:45 PM	240	25 °C	"	10.0525	0.0525
"	5:45 PM	480	25 °C	"	10.0550	0.0550
26 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	24 °C	"	10.0550	0.0550

Observaciones: _____



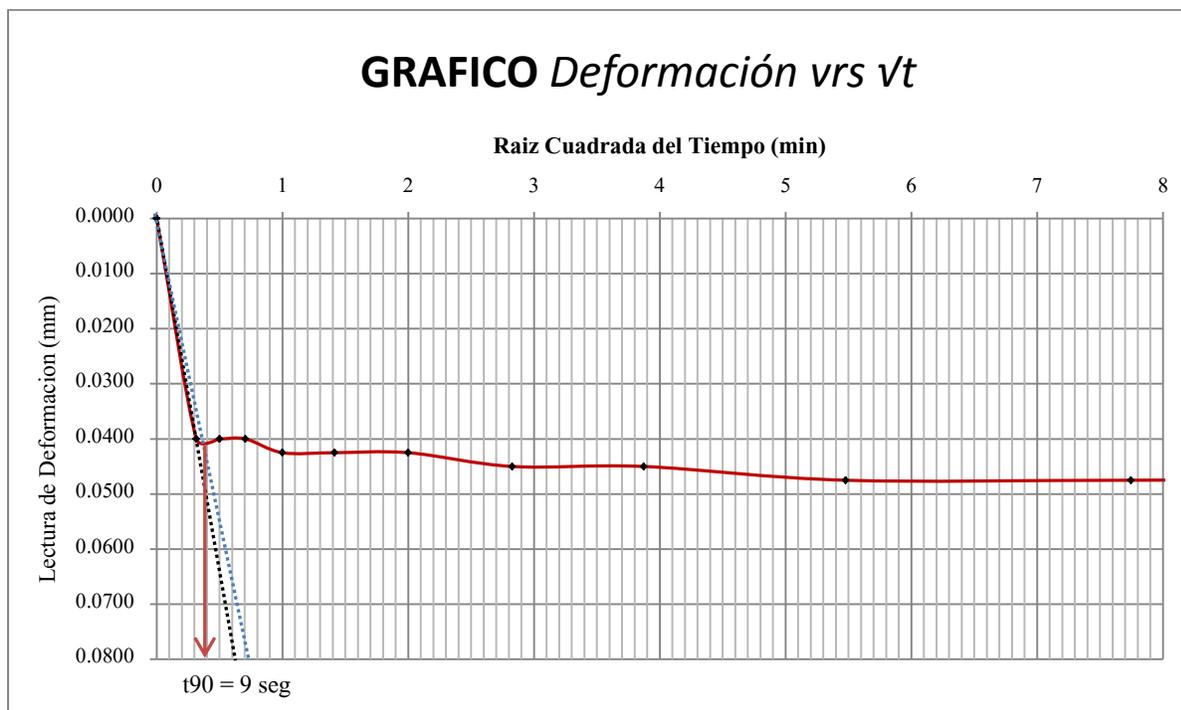
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	5/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	25 Oct. 2016

GRAFICO *Deformación vrs \sqrt{t}*



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 6/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidómetro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 26 Oct. 2016

Carga No.2 - 2.005 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
26 Octubre de 2016	9:45 AM	0	24 °C	62.88 kPa	10.0000	0.0550
"	-	0.1	"	"	10.0125	0.0675
"	-	0.25	"	"	10.0150	0.0700
"	-	0.50	"	"	10.0175	0.0725
"	9:46 AM	1	"	"	10.0175	0.0725
"	9:47 AM	2	"	"	10.0175	0.0725
"	9:49 AM	4	"	"	10.0200	0.0750
"	9:53 AM	8	"	"	10.0225	0.0775
"	10:00 AM	15	"	"	10.0225	0.0775
"	10:15 AM	30	"	"	10.0250	0.0800
"	10:45 AM	60	"	"	10.0275	0.0825
"	11:45 AM	120	"	"	10.0275	0.0825
"	1:45 PM	240	"	"	10.0300	0.0850
"	5:45 PM	480	25 °C	"	10.0300	0.0850
27 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	23 °C	"	10.0325	0.0875

Observaciones: _____



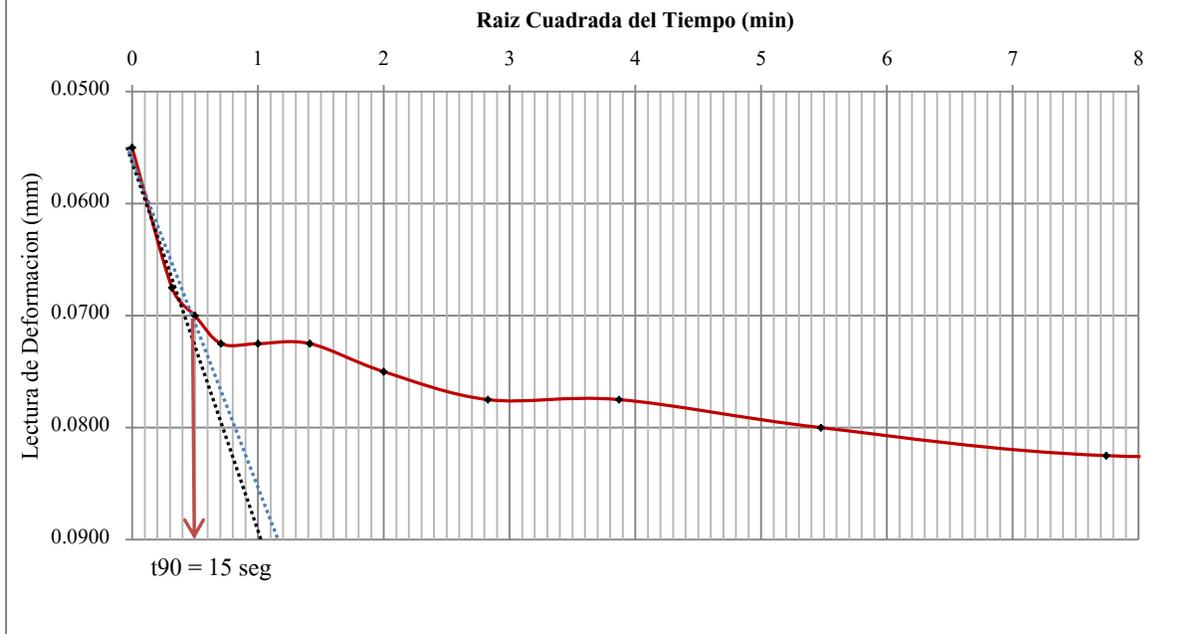
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	7/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	26 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 8/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 27 Oct. 2016

Carga No.3 - 4.003kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
27 Octubre de 2016	9:45 AM	0	23°C	125.53 kPa	10.0000	0.0875
"	-	0.1	"	"	10.0350	0.1225
"	-	0.25	"	"	10.0375	0.1250
"	-	0.50	"	"	10.0400	0.1275
"	9:46 AM	1	"	"	10.0450	0.1325
"	9:47 AM	2	"	"	10.0475	0.1350
"	9:49 AM	4	"	"	10.0475	0.1350
"	9:53 AM	8	"	"	10.0500	0.1375
"	10:00 AM	15	"	"	10.0525	0.1400
"	10:15 AM	30	"	"	10.0550	0.1425
"	10:45 AM	60	24°C	"	10.0575	0.1450
"	11:45 AM	120	"	"	10.0600	0.1475
"	1:45 PM	240	25 °C	"	10.0650	0.1525
"	5:45 PM	480	"	"	10.0700	0.1575
28 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	23 °C	"	10.0725	0.1600

Observaciones: _____



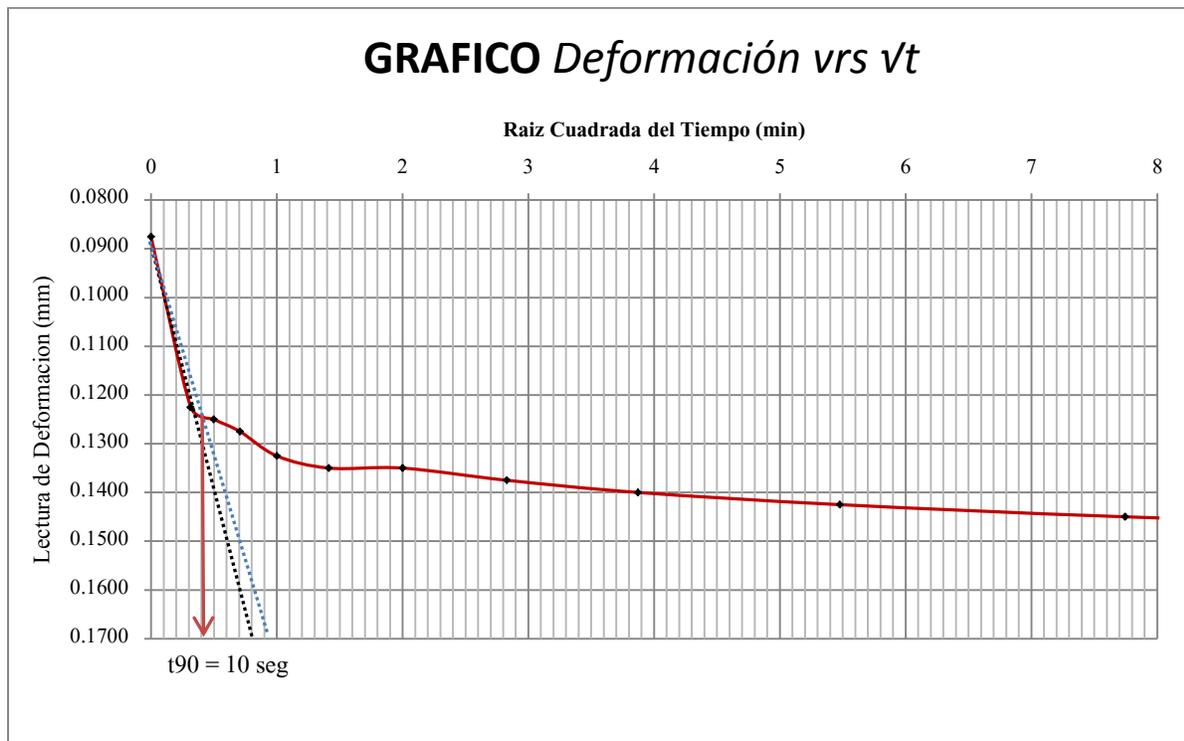
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	9/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	27 Oct. 2016

GRAFICO Deformación vs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 10/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 28 Oct. 2016

Carga No.4 - 8.000 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
28 Octubre de 2016	9:45 AM	0	23 °C	250.88 kPa	10.0000	0.1600
"	-	0.1	"	"	10.0725	0.2325
"	-	0.25	"	"	10.0775	0.2375
"	-	0.50	"	"	10.0850	0.2450
"	9:46 AM	1	24°C	"	10.0875	0.2475
"	9:47 AM	2	"	"	10.0925	0.2525
"	9:49 AM	4	"	"	10.0950	0.2550
"	9:53 AM	8	"	"	10.1000	0.2600
"	10:00 AM	15	"	"	10.1025	0.2625
"	10:15 AM	30	"	"	10.1075	0.2675
"	10:45 AM	60	"	"	10.1100	0.2700
"	11:45 AM	120	25 °C	"	10.1150	0.2750
"	1:45 PM	240	"	"	10.1175	0.2775
"	5:45 PM	480	26 °C	"	10.1200	0.2800
29 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	23 °C	"	10.1250	0.2850

Observaciones: _____

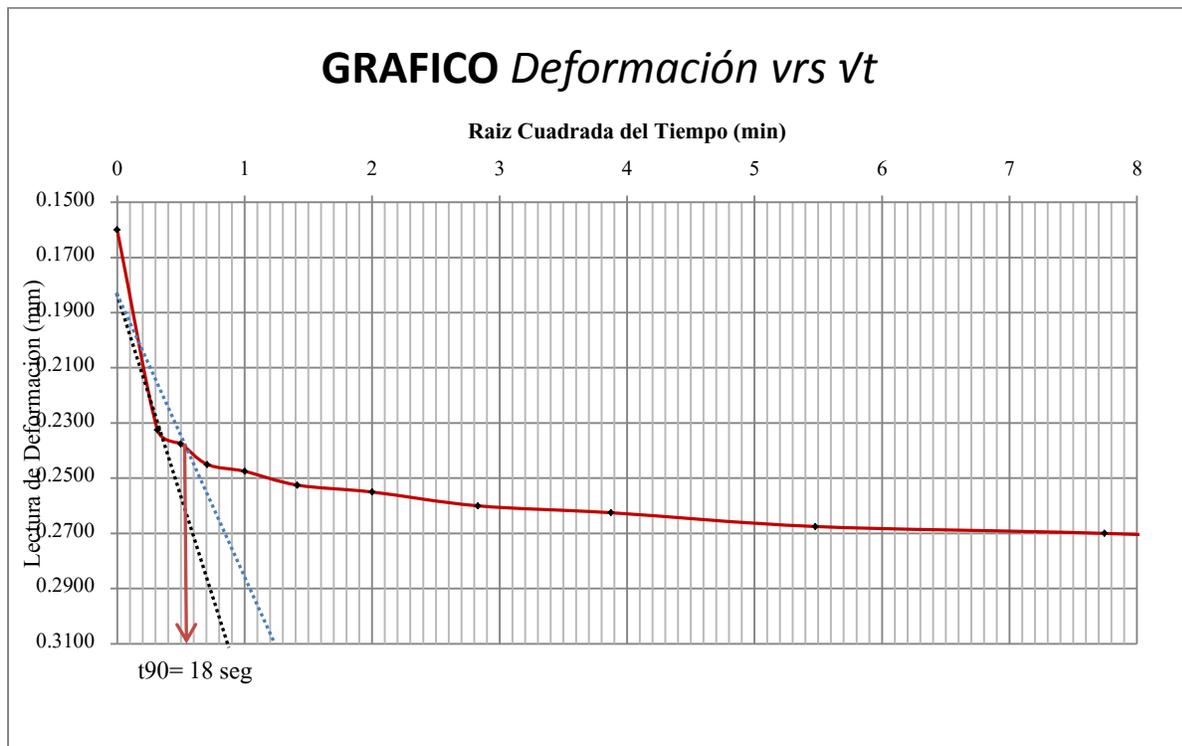


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	11/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	28 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 12/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 29 Oct. 2016

Carga No.5 - 16.055 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
29 Octubre de 2016	9:45 AM	0	23 °C	503.19 kPa	10.0000	0.2850
"	-	0.1	"	"	10.1125	0.3975
"	-	0.25	"	"	10.1200	0.4050
"	-	0.50	"	"	10.1275	0.4125
"	9:46 AM	1	"	"	10.1325	0.4175
"	9:47 AM	2	"	"	10.1400	0.4250
"	9:49 AM	4	"	"	10.1450	0.4300
"	9:53 AM	8	"	"	10.1500	0.4350
"	10:00 AM	15	"	"	10.1525	0.4375
"	10:15 AM	30	"	"	10.1575	0.4425
"	10:45 AM	60	"	"	10.1575	0.4425
"	11:45 AM	120	24 °C	"	10.1600	0.4450
"	1:45 PM	240	25 °C	"	10.1625	0.4475
"	5:45 PM	480	26 °C	"	10.1675	0.4525
30 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	23 °C	"	10.1725	0.4575

Observaciones: _____

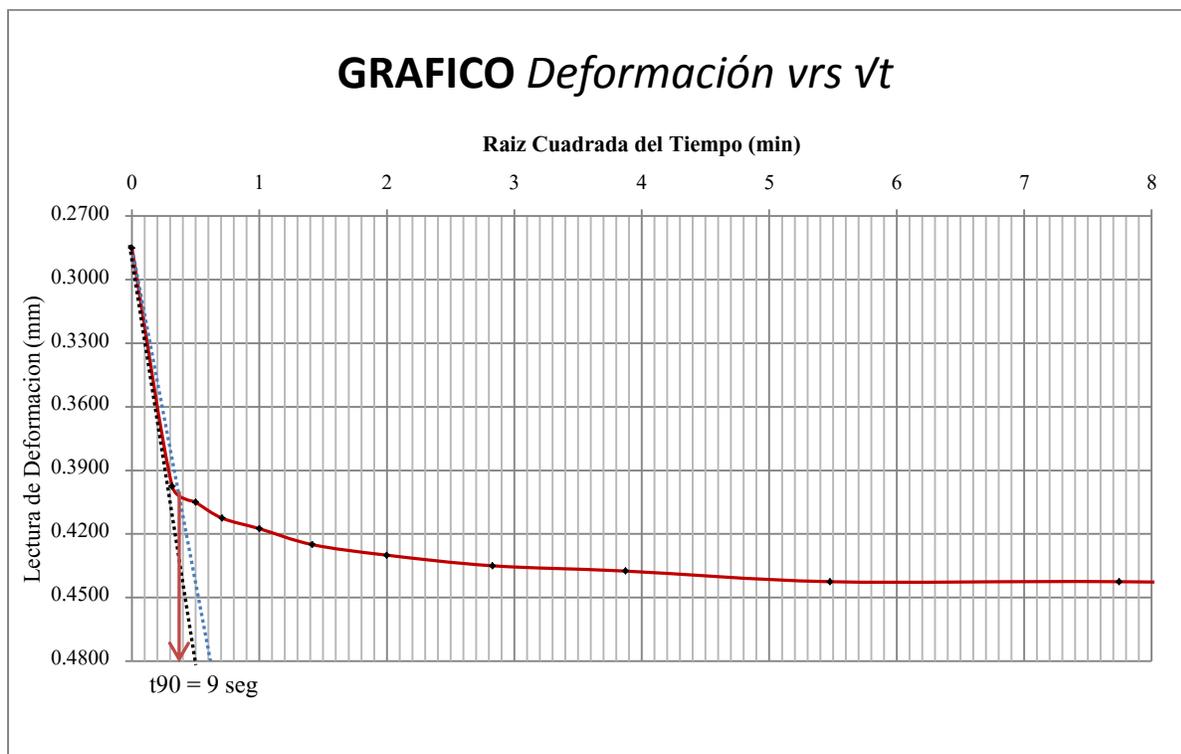


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	13/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	29 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 14/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 30 Oct. 2016

Carga No.6 - 32.030 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
30 Octubre de 2016	9:45 AM	0	23 °C	1004.50 kPa	10.0000	0.4575
"	-	0.1	"	"	10.1425	0.6000
"	-	0.25	"	"	10.1550	0.6125
"	-	0.50	"	"	10.1625	0.6200
"	9:46 AM	1	"	"	10.1700	0.6275
"	9:47 AM	2	"	"	10.1775	0.6350
"	9:49 AM	4	"	"	10.1850	0.6425
"	9:53 AM	8	"	"	10.1900	0.6475
"	10:00 AM	15	24 °C	"	10.1950	0.6525
"	10:15 AM	30	"	"	10.2000	0.6575
"	10:45 AM	60	"	"	10.2050	0.6625
"	11:45 AM	120	"	"	10.2075	0.6650
"	1:45 PM	240	"	"	10.2125	0.6700
"	5:45 PM	480	25 °C	"	10.2175	0.6750
31 Octubre de 2016	9:45 AM	1440	24 °C	"	10.2225	0.6800

Observaciones: _____

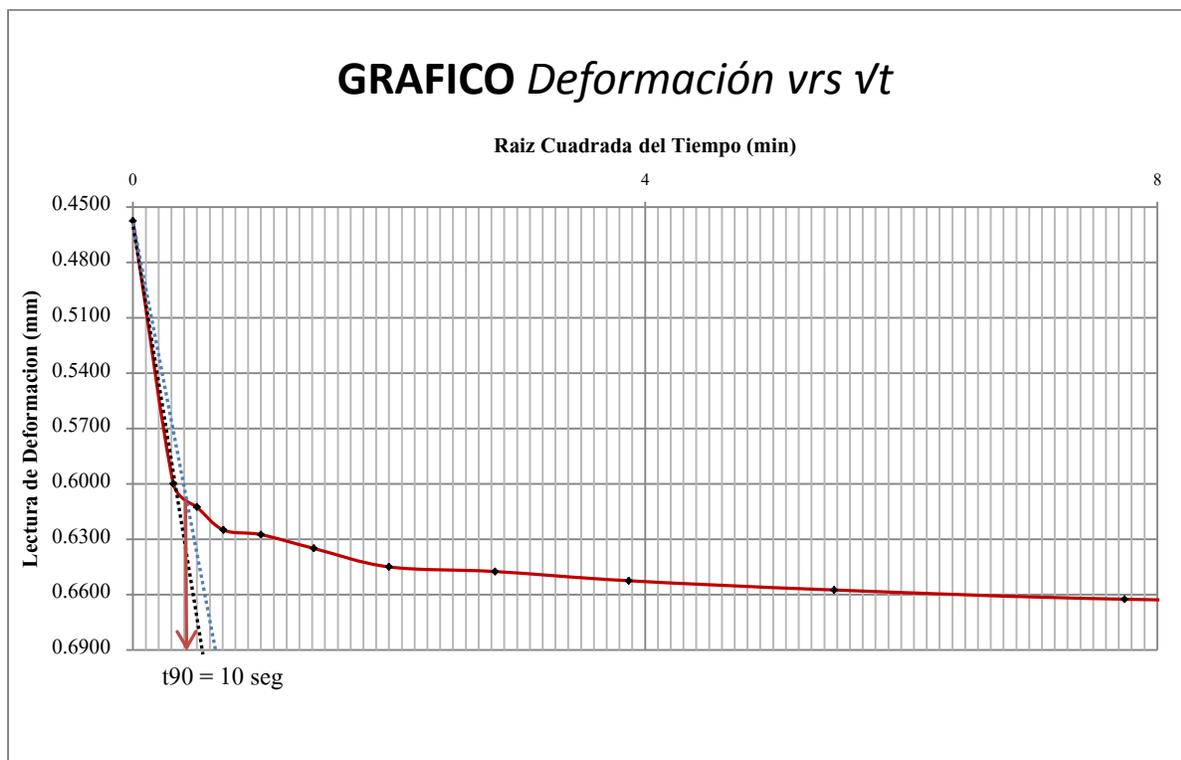


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	15/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	30 Oct. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 16/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 3 Nov. 2016

Descarga No.1 - 15.975 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
3 Noviembre de 2016	8:55 AM	0	24 °C	503.19 kPa	10.0000	0.6800
"	-	0.1	"	"	9.4775	0.6575
"	-	0.25	"	"	9.4775	0.6575
"	-	0.50	"	"	9.4775	0.6575
"	8:51 AM	1	"	"	9.4775	0.6575
"	8:57 AM	2	"	"	9.4775	0.6575
"	8:59 AM	4	"	"	9.4775	0.6575
"	9:03 AM	8	"	"	9.4775	0.6575
"	9:10 AM	15	"	"	9.4750	0.6550
"	9:25 AM	30	"	"	9.4750	0.6550
"	9:55 AM	60	"	"	9.4750	0.6550
"	10:55 AM	120	"	"	9.4750	0.6550
"	12:55 PM	240	25 °C	"	9.4750	0.6550
"	5:55 PM	480	25 °C	"	9.4750	0.6550
4 Noviembre de 2016	8:55 AM	1440	23 °C	"	9.4700	0.6500

Observaciones: _____

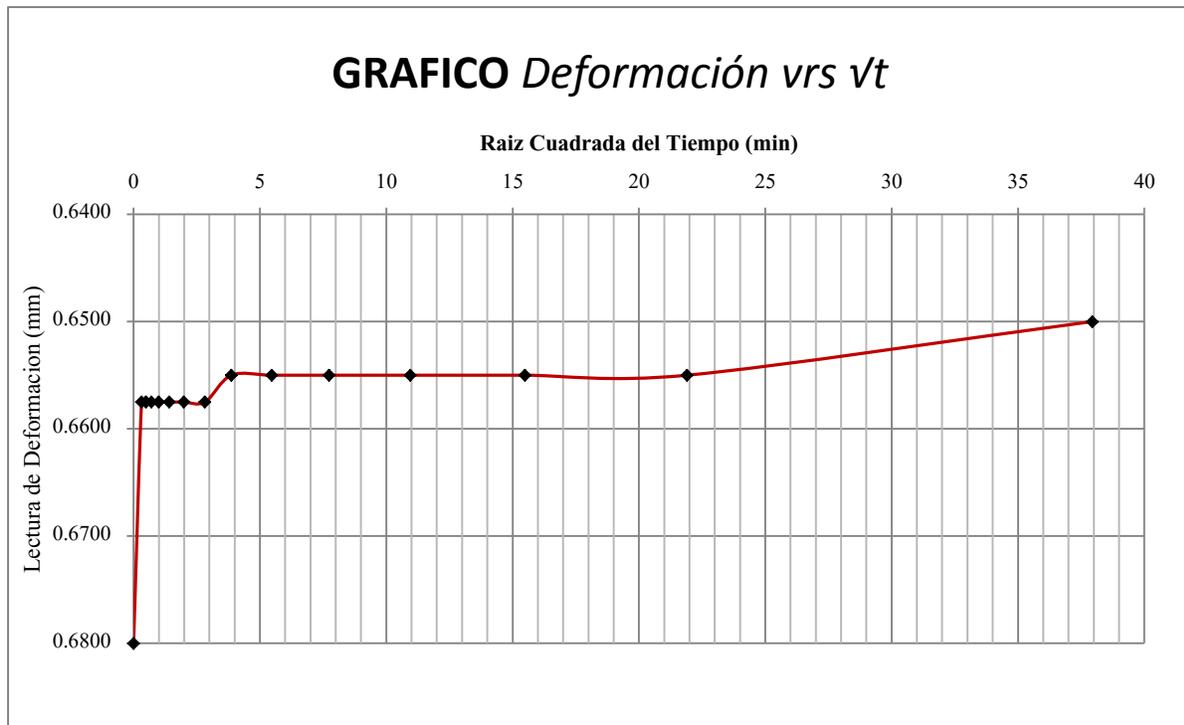


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	17/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	3 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 18/23
MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
Micrómetro: 0.0025 Fecha: 4 Nov. 2016

Descarga No.2 - 8.055 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
4 Noviembre de 2016	8:55 AM	0	23 °C	250.62 kPa	10.0000	0.6500
"	-	0.1	"	"	9.4775	0.6275
"	-	0.25	"	"	9.4775	0.6275
"	-	0.50	"	"	9.4775	0.6275
"	8:51 AM	1	"	"	9.4750	0.6250
"	8:57 AM	2	"	"	9.4750	0.6250
"	8:59 AM	4	"	"	9.4750	0.6250
"	9:03 AM	8	"	"	9.4750	0.6250
"	9:10 AM	15	"	"	9.4750	0.6250
"	9:25 AM	30	"	"	9.4750	0.6250
"	9:55 AM	60	24 °C	"	9.4725	0.6225
"	10:55 AM	120	"	"	9.4725	0.6225
"	12:55 PM	240	25 °C	"	9.4700	0.6200
"	5:55 PM	480	26 °C	"	9.4700	0.6200
5 Noviembre de 2016	8:55 AM	1440	24 °C	"	9.4675	0.6175

Observaciones: _____

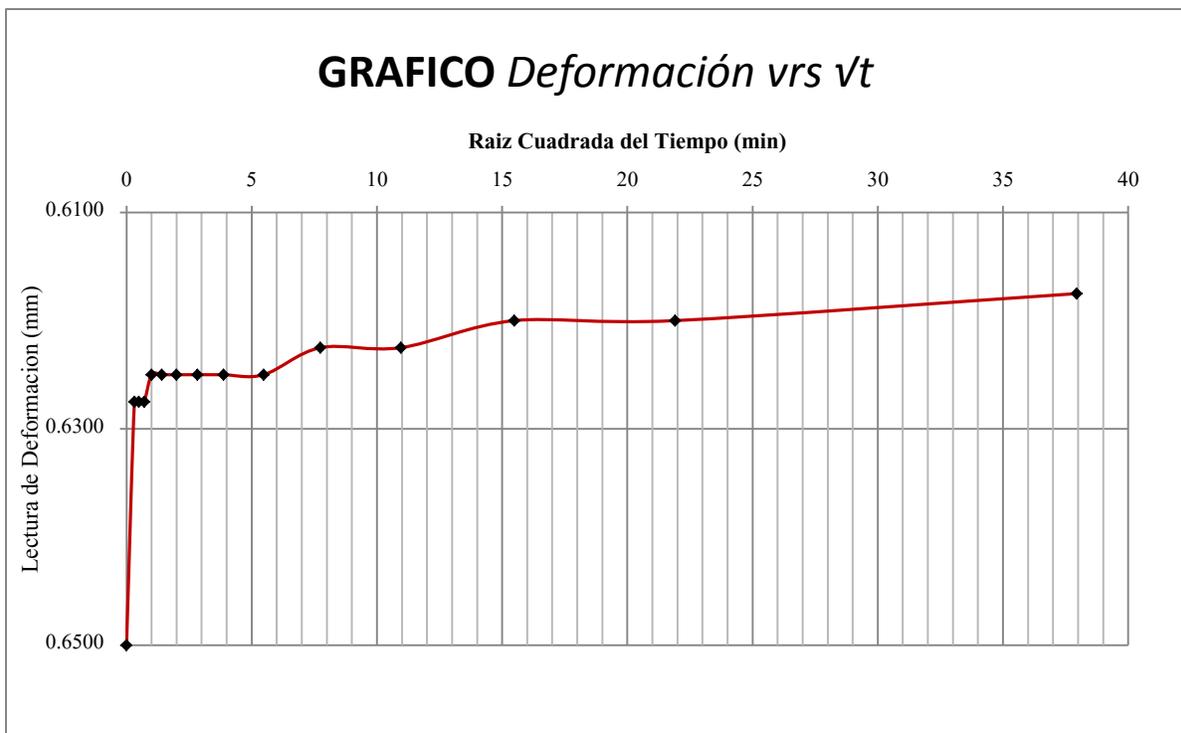


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS**
ASTM D 2435-96

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	19/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	4 Nov. 2016



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 DE LOS SUELOS
 ASTM D 2435-96**

PROYECTO: Trabajo de Graduación Reporte No. 1
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental Hoja No. 20/23
 MUESTRA No. SUELO-CAL 1-2 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Consolidometro: 4 Elaboró: Grupo de Tesis
 Micrómetro: 0.0025 Fecha: 5 Nov. 2016

Descarga No.3 - 8.000 kg

Fecha	Hora	Tiempo Transcurrido (min)	°T	Presión	Lectura del Micrómetro	Deformación
5 Noviembre de 2016	8:55 AM	0	24 °C	0.0 kPa	10.000	0.6175
"	-	0.1	"	"	9.4200	0.5375
"	-	0.25	"	"	9.4150	0.5325
"	-	0.50	"	"	9.4125	0.5300
"	8:51 AM	1	"	"	9.4100	0.5275
"	8:57 AM	2	"	"	9.4000	0.5175
"	8:59 AM	4	"	"	9.3975	0.5150
"	9:03 AM	8	"	"	9.3950	0.5125
"	9:10 AM	15	"	"	9.3925	0.5100
"	9:25 AM	30	"	"	9.3875	0.5050
"	9:55 AM	60	"	"	9.3850	0.5025
"	10:55 AM	120	"	"	9.3800	0.4975
"	12:55 PM	240	25 °C	"	9.3750	0.4925
"	5:55 PM	480	25 °C	"	9.3700	0.4875
6 Noviembre de 2016	8:55 AM	1440	24 °C	"	9.3600	0.4775

Observaciones: _____



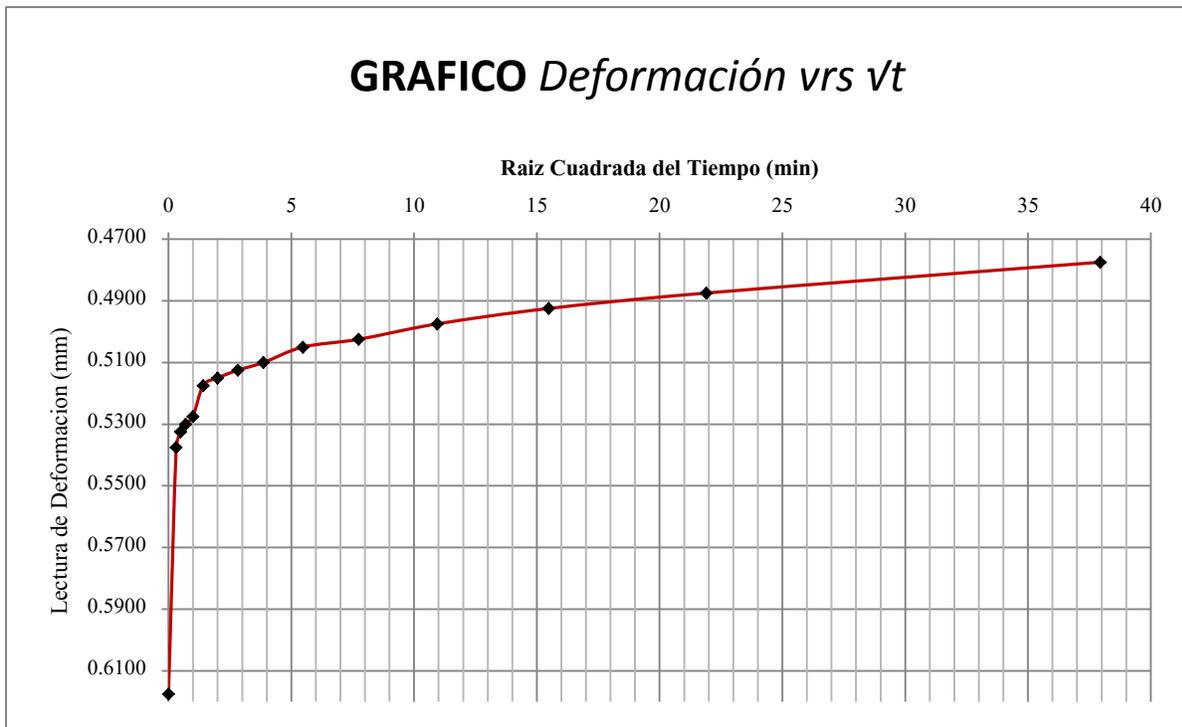
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	21/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laborarista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	4	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	5 Nov. 2016

GRAFICO Deformación vrs \sqrt{t}



Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS

ASTM D 2435-96

PROYECTO: Trabajo de Graduación
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental
 SONDEO No. 1
 MUESTRA No. SUELO CAL 1-2

Reporte No. 1
 Hoja No. 22/23
 Laboratorista: Grupo de Tesis
 Elaboró: Grupo de Tesis
 Fecha de Ensayo: 6 Nov.2016

DATOS DEL ENSAYO

Altura del anillo = 20 mm
 Peso de los sólidos = 86.90 g

Ac = 31.27 cm²
 Gs = 2.28

2Ho = 12.19 mm
 2Hi = 19.635 mm

T °C	Y _w (g/cm ³)	Presión (kPa)	δ (mm)	2H (mm)	2H - 2H _o (mm)	e = 2H - 2H _o / 2H _o	Hm (cm)	Hm ² (cm ²)	t 90 (seg)	Av (cm ²)	Cv (cm ² /seg)	Km (cm ² /seg)	Km 20 °C	e m (mm)	Pm (kg/cm ²)
0	0	0.000	0.0000	20.000	7.8100	0.641									
							2.00338	4.01351						0.643	0.000
24	0.99733	0.000	-0.0675	20.0675	7.8775	0.646									
							2.00400	4.01602	9	0.00014	0.3784	3.30E-08	2.92E-08	0.644	15.710
24	0.99733	31.420	0.0550	20.0125	7.8225	0.642									
							1.99963	3.99850	15	0.00008	0.2260	1.2E-08	1.01E-08	0.640	47.150
23	0.99757	62.880	0.0325	19.9800	7.7900	0.639									
							1.99438	3.97753	10	0.00009	0.3373	1.95E-08	1.73E-08	0.636	94.205
23	0.99757	125.530	0.0725	19.9075	7.7175	0.633									
							1.98450	3.93824	18	0.00008	0.1855	9.30E-09	8.25E-09	0.628	188.205
23	0.99757	250.880	0.1250	19.7825	7.5925	0.623									
							1.96963	3.87942	9	0.00006	0.3655	1.27E-08	1.12E-08	0.616	377.035
23	0.99757	503.190	0.1725	19.6100	7.4200	0.609									
							1.94988	3.80201	10	0.00004	0.3224	7.32E-09	6.49E-09	0.600	753.845
24	0.99733	1004.500	0.2225	19.3875	7.1975	0.590									
23	0.99757	503.190	0.0300	19.4175	7.2275	0.593									
24	0.99733	250.620	0.0325	19.4500	7.2600	0.596									
24	0.99733	0.000	0.1400	19.5900	7.4000	0.607									



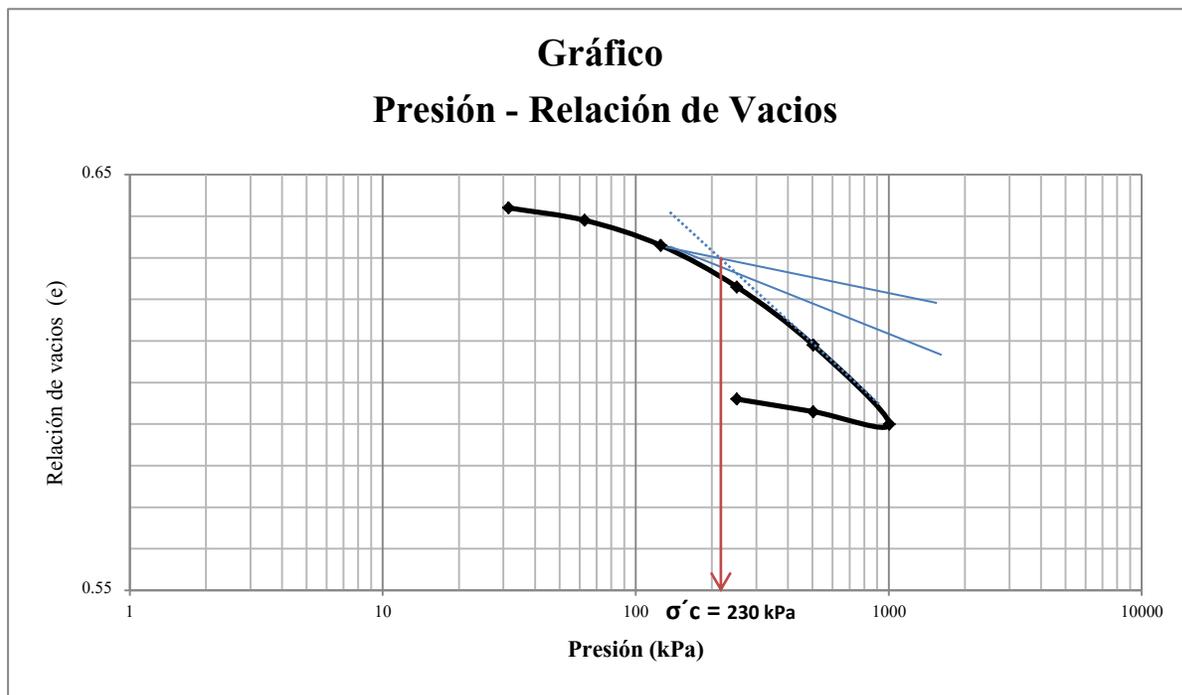
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA



**ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
DE LOS SUELOS
ASTM D 2435-96**

PROYECTO:	Trabajo de Graduación	Reporte No.	1
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador Facultad M. Oriental	Hoja No.	23/23
MUESTRA No.	SUELO-CAL 1-2	Laboratorista:	Grupo de Tesis
Consolidometro:	1	Elaboró:	Grupo de Tesis
Micrómetro:	0.0025	Fecha:	6 Nov. 2016

**Gráfico
Presión - Relación de Vacíos**



Observaciones: _____
