



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

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA
ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA
DENSIDAD DE CAMPO**

Eddy José Estuardo De León Monroy
Asesorado por el Ing. Erik Rosales Torres

Guatemala, agosto de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA Y EL
DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

EDDY JOSÉ ESTUARDO DE LEÓN MONROY

ASESORADO POR EL ING. ERIK ROSALES TORRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I: Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II: Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III: Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV: Br. Milton De León Bran
VOCAL V: Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR: Ing. Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR: Ing. Jeovanni Miranda Castañon
EXAMINADOR: Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO,

tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha febrero de 2009.


Eddy José Estuardo De León Monroy



SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

Guatemala, 26 de Julio de 2,009

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Samuels Milson

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACION DEL METODO DE LA ARENA Y EL DENSIMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE CAMPO, elaborado por el estudiante Eddy José Estuardo de León Monroy, quien conto con la asesoría correspondiente.

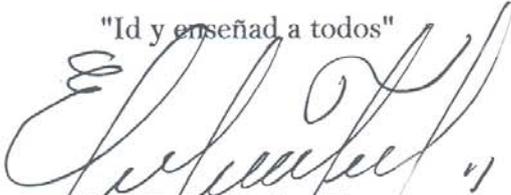
Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante De León Monroy, satisface los requisitos exigidos, por la escuela a su digno cargo y por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente

"Id y enseñad a todos"

Erik Rosales Torres
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 2428


Ing. Erik Rosales Torres
ASESOR
Col. 2,423



8a. Avenida, 25-54, Zona 8, Valle Dorado, Mixco, Guatemala
Tel: (502) 2477 9092 • 2477 9948 • Fax: (502) 2477-9327

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 10 de agosto de 2 009

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Ventajas y desventajas de la utilización del método de la arena y el densímetro nuclear en la determinación de la densidad de campo”**, realizado por el estudiante universitario **Eddy José Estuardo de León Monroy**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Erik Rosales Torres.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **de León Monroy**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

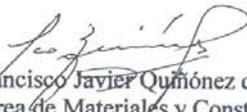
Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC


Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles

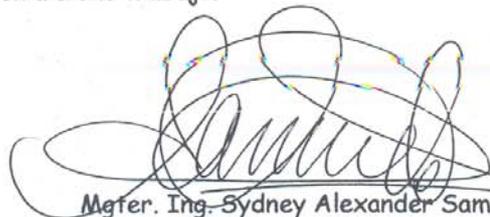
Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Erik Rosales Torres y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñón de la Curz, al trabajo de graduación del estudiante Eddy José Estuardo De León Monroy, titulado VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, agosto 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.310.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO**, presentado por el estudiante universitario **Eddy José Estuardo De León Monroy**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2009



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS:

Ya que con Él todo es posible, por darme todas las virtudes necesarias para alcanzar una nueva meta en mi vida.

MIS PADRES:

Gabriela y Edgar, ya que sin su ayuda, no sería la persona que soy, por darme su incondicional apoyo durante la realización de todos mis estudios hasta el día de hoy.

MIS HERMANAS:

Evelyn y Ely, por compartir este momento tan importante en mi vida.

VERONICA ESPINAL:

Por estar a mi lado, y siempre mostrarme tu apoyo en todos aquellos momentos ya sean buenos o malos de la carrera.

MIS AMIGOS(AS):

En especial a todo mi grupo de estudio, Teresa, Giovanni, Sac, Oswaldo, Pedro, entre otros, ya que siempre me mostraron su apoyo para poder seguir y ver hacia adelante.

MI FAMILIA:

Quienes de alguna manera siempre han mostrado su apoyo durante la realización de mis estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS:

Te agradezco por estar siempre a mi lado, ya que es por ti que logro este triunfo tan esperado.

MIS PADRES:

Gracias por todo su apoyo, consejos, sacrificios y paciencia mostrados durante toda mi vida y en especial en este momento tan importante.

MIS HERMANAS:

Evelyn y Ely, gracias por su apoyo incondicional.

VERONICA ESPINAL:

Gracias por compartir este momento tan importante en mi vida, por estar siempre cuando más te necesitaba, te amo.

AMIGOS(AS), FAMILIARES:

Gracias por todos sus consejos, apoyo, y sobre todo por estar siempre en esos momentos tan difíciles de la carrera.

ING. ERIK ROSALES TORRES:

Por su valiosa colaboración, en el apoyo, asesoría, revisión, corrección del presente trabajo, además de mostrarme siempre su amistad.

FACULTAD DE INGENIERÍA:

Por haber participado durante mi formación académica.

SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERÍA, S.A. y ADICO S.A.

Gracias por toda la ayuda brindada para la realización de los ensayos necesarios en dicho trabajo de graduación, en especial a todo el personal de trabajo quienes siempre me mostraron su apoyo y colaboración.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DENSIDAD DE CAMPO	
1.1 Determinación de la densidad de campo para obtener el % de compactación	1
1.2 Métodos utilizados	2
1.2.1 Método de la arena	2
1.2.2 Métodos nucleares (Densímetro Nuclear)	3
2. DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DE LA ARENA	
2.1 Densidad por medio de método de la arena	5
2.2 Equipo necesario	5
2.3 Herramientas y accesorios	9
2.4 Procedimiento	10
3. DENSIDAD DE CAMPO UTILIZANDO DENSÍMETRO NUCLEAR	
3.1 Densidad por medio del densímetro nuclear	17
3.2 Partes y accesorios	22
3.3 Procedimiento	23

3.4	Tipos de mediciones	24
	3.4.1 Transmisión directa	24
	3.4.2 Retro-transmisión	25
	3.4.3 Colchón de aire	25
	3.4.4 Humedad	25
	3.4.5 Capa delgada	26
3.5	Tipos de fuentes radioactivas	26
	3.5.1 Americio 241	26
	3.5.2 Cesio 137	27
3.6	Calibración del equipo	28
3.7	Operadores y operación correcta con densímetro nuclear	30
3.8	Almacenamiento y transporte	32
3.9	Procedimiento de emergencia	34
3.10	Causas básicas de los accidentes / incidentes con densímetro nuclear	35
	3.10.1 Factores que contribuyen a los accidentes	35
	3.10.2 Falta de entrenamiento	36
	3.10.3 Programa de seguridad	36
	3.10.4 Fallo del equipo a utilizar o por no usar un medidor de radiación	36
	3.10.5 Procedimiento de seguridad	37
	3.10.6 Límites permisibles de radiación	37

4. ESTUDIO GEOGRÁFICO Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

4.1	Ubicación geográfica del lugar	39
	4.1.1 República de Guatemala	39
	4.1.2 Región central V	41

4.1.3	Municipio Masagua, departamento de Escuintla	42
4.1.3.1	Datos generales	42
4.2	Proyección de la localización y ubicación de extracción de la muestra	44

5. ENSAYOS PARA EL CONTROL DE LA COMPACTACIÓN EN LOS SUELOS

5.1	Compactación	45
5.2	Control de la compactación	46
5.2.1	Compactación en capa sub-base	50
5.2.2	Compactación en capa base	50
5.3	Ensayos para el control de la compactación	52
5.3.1	Ensayo de contenido de humedad	52
4.3.1.1	Descripción del ensayo	52
4.3.1.2	Equipo necesario	52
4.3.1.3	Procedimiento	53
5.3.2	Métodos utilizados para determinar del peso unitario o densidad máxima (Proctor modificado) y humedad óptima	54
5.3.2.1	Descripción del ensayo	54
5.3.2.2	Equipo necesario	56
5.3.2.3	Procedimiento	60
5.4	Problemas típicos de la compactación	60

6. ENSAYOS PARA DETERMINAR CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA

6.1	Análisis granulométrico	63
6.1.1	Descripción del ensayo	63
6.1.2	Equipo necesario	64
6.1.3	Procedimiento	65
6.1.3.1	Con lavado	65
6.1.3.2	Sin lavado	66
6.2	Límites de consistencia de Atterberg	68
6.2.1	Límite líquido (L.L.)	70
6.2.1.1	Descripción del ensayo	70
6.2.1.2	Equipo necesario	71
6.2.1.3	Procedimiento	72
6.2.2	Límite plástico (L.P.)	75
6.2.2.1	Descripción del ensayo	75
6.2.2.2	Equipo necesario	76
6.2.2.3	Procedimiento	77
6.2.3	Índices de consistencia	78
6.2.3.1	Índice de plasticidad	78
6.2.3.2	Índice de grupo	79
6.3	Clasificación de los suelos	81
6.3.1	Sistema de clasificación AASHTO	82
6.3.2	Sistema de clasificación unificada SUCS o USCS	87

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	
7.1 Promedio y desviación estándar de resultados obtenidos	96
7.2 Informes resumen de resultados obtenidos	97
7.2.1 Capa sub-base	97
7.2.2 Capa base	101
7.3 Análisis	105
7.4 Ventajas y desventajas del método de la arena y la utilización del densímetro nuclear para la determinación de la densidad de campo	109
7.5 Presupuesto	111
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	121
APÉNDICES	123
ANEXOS	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Realización del método de la arena	2
2.	Densímetro nuclear modelo Troxler Serie 34-40	3
3.	Aparato de densidad de campo	6
4.	Arena calibrada de Ottawa	6
5.	Tamiz metálico	7
6.	Placa base metálica	7
7.	Picnómetro acompañado de la placa base	7
8.	Balanza marca Ohaus	8
9.	Speedy	9
10.	Herramientas y accesorios utilizados para la realización del método de la arena	9
11.	Colocación de la placa base	10
12.	Peso del picnómetro "peso 1"	10
13.	Colocación del picnómetro sobre la placa base	11
14.	Excavación del agujero	12
15.	Material que pasa el tamiz núm. 3/4"	12
16.	Picnómetro sobre agujero	13
17.	Determinación del % de humedad	14
18.	Densímetro nuclear	20
19.	Perfil del densímetro nuclear	21
20.	Partes y accesorios del densímetro nuclear	22
21.	Medición con el densímetro nuclear	24
22.	Tipos de mediciones utilizando densímetro nuclear	26
23.	Regiones de la república de Guatemala	40

24.	Ubicación del departamento de Escuintla, república de Guatemala	41
25.	Calles principales del Municipio de Masagua	42
26.	Municipio de Masagua, departamento de Escuintla	43
27.	Vistas aéreas del Municipio de Masagua, departamento de Escuintla	44
28.	Proyección relación 3:1	48 y 49
29.	Estructura de las capas de compactación de un pavimento	51
30.	Equipo utilizado para el ensayo de contenido de humedad	53
31.	Curva de compactación	56
32.	Molde y accesorios utilizados para el ensayo proctor modificado	57
33.	Pisón utilizado para el ensayo	57
34.	Molde de 101.6mm (4")	58
35.	Pisón molde de 101.6mm (4")	58
36.	Molde de 152.6mm (6")	59
37.	Pisón molde de 152.4mm (6")	59
38.	Juego de tamices y máquina tamizadora	65
39.	Curva granulométrica	68
40.	Límites de consistencia de Atterberg	69
41.	Copa de casagrande	71
42.	Amasado del material (cilindro)	78
	a. Gráficas capa sub-base	
	(Comparación método de la arena-densímetro nuclear)	
43.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 1	123
44.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 1	123
45.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 2	124

46.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 2	124
47.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 3	125
48.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 3	125
49.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 4	126
50.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 4	126
51.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 5	127
52.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 5	127
53.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 6	128
54.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 6	128
55.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 7	129
56.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 7	129
57.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 8	130
58.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 8	130
59.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 9	131

60.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 9	131
61.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 10	132
62.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 10	132
	b. Gráficas capa base	
	(Comparación método de la arena-densímetro nuclear)	
63.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 1	133
64.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 1	133
65.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 2	134
66.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 2	134
67.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 3	135
68.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 3	135
69.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 4	136
70.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 4	136
71.	Compactación vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 5	137
72.	Humedad contenida vrs. número de ensayos	
	Medición núm. 5	137

73.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 6	138
74.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 6	138
75.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 7	139
76.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 7	139
77.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 8	140
78.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 8	140
79.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 9	141
80.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 9	141
81.	Compactación vrs. número de ensayos Medición núm. 10	142
82.	Humedad contenida vrs. número de ensayos Medición núm. 10	142
	c. Gráficas de dispersión capa sub-base	
83.	Compactación promedio vrs. número de ensayos (Método de la arena)	143
84.	Humedad contenida promedio vrs. número de ensayos (Método de la arena)	143
85.	Compactación promedio vrs. número de ensayos (Densímetro nuclear)	144
86.	Humedad contenida promedio vrs número de ensayos (Densímetro nuclear)	144

	d. Gráficas de dispersión capa base	
87.	Compactación promedio vrs. número de ensayos (Método de la arena)	145
88.	Humedad contenida promedio vrs. número de ensayos (Método de la arena)	145
89.	Compactación promedio vrs número de ensayos (Densímetro nuclear)	146
90.	Humedad contenida promedio vrs número de ensayos (Densímetro nuclear)	146

TABLAS

I.	Criterios para seleccionar el volumen del agujero	16
II.	Límites permisibles	37
III	Regiones que conforman la república de Guatemala	40
IV.	Tabla de numeración y abertura de tamices	64
V.	Valores de k para diferente número de golpes	75
VI.	Clasificación de los suelos, según su índice de plasticidad (IP)	79
VII.	Variación de índices de grupo	79
VIII.	Sistema de clasificación AASHTO	86
IX.	Propiedades de los suelos de acuerdo a la clasificación AASHTO	87
X.	Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS o USCS	91 y 92
XI.	Relación aproximada entre la clasificación de suelos AASHTO y SUCS o USCS	93
XII.	Promedio y desviación estándar de resultados	95
XIII.	Ventajas y desventajas método de la arena	108
XIV.	Ventajas y desventajas utilizando densímetro nuclear	109

GLOSARIO

- A.A.S.H.T.O:** Asociación Americana de Vías Estatales y Oficiales.
- Arcilla:** Agregado de partículas microscópicas, derivadas de la descomposición de las rocas. Es plástica desde un grado moderado hasta un gran contenido de agua, es decir que su I.P. es alto. Los fragmentos secos son muy duros y no puede desprenderse polvo raspado con las uñas, la superficie de ellos. La permeabilidad es extremadamente baja, es decir que es bastante impermeable.
- Arcilla orgánica:** Es una arcilla que debe alguna de sus propiedades particulares a la presencia de materia orgánica finamente dividida. Cuando esta saturada, la arcilla orgánica presenta tendencia a hacerse muy compresible, pero cuando esta seca su resistencia es muy alta. Generalmente tiene color gris o negro, y puede tener un olor característico. Es inadecuada para el cimiento de las carreteras.
- Arena:** Conjunto de partículas de rocas disgregadas, las cuales están compuestas de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada grano de arena.
- A.S.T.M:** Asociación Americana para Pruebas de Materiales.

- C.B.R:** Ensayo denominado “*California Bearing Ratio*”, el cual mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el Núm.ero *ASTM D 1883-73*. Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%. Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.
- Gravas:** Agregado incoherente de fragmentos redondeados, sub-angulares o angulares de rocas o minerales mas o menos alterados. Partículas que se encuentran aproximadamente entre 1/8” a 6” (15.24cms) u 8” (20.32cms).
- Limo:** Material suelto con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm.
- Milirem / mRem:** Es la unidad utilizada para medir el efecto de la radiación en el cuerpo humano.

- Muestreo:** Es la obtención de una pequeña parte de material, la cual es representativa de la cantidad de material a utilizarse para determinar sus características mecánicas.
- Norma:** Documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que proporciona, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para actividades o sus resultados, con el fin de conseguir un grado óptimo de orden en un contexto dado.
- Picnómetro:** Aparato utilizado para la determinación de las densidades de distintas sustancias.
- Pisón:** Martillo utilizado para la realización del ensayo proctor modificado, cuyo peso es de 4.54kg (10lbs) y 18" de caída.
- Subrasante:** Se define así, al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado. Deberá compactarse de manera que, en los 0.30m superiores se alcance como mínimo el 95% de la resistencia obtenida por densímetro nuclear, medida según la Densidad Relativa.
- S.U.C.S:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- Tamiz:** Utilizado para el análisis granulométrico y para separar los materiales gruesos de los finos al prepara las muestras para varios ensayos. Los tamices finos son frágiles y no deben

ser maltratados ni sobrecargados. Los tamices finos deben protegerse siempre con un tamiz más grueso. Limpiarlos después de cada análisis cepillándolos con brocha. El tamaño normal es de 20.32cms (8"), el juego de tamices incluye tapa y cazoleta de fondo.

Tarros metálicos: Se usan como recipientes para determinar el contenido de humedad. Es aconsejable enumerar cada tarro para registrar sus pesos (taras), esto sirve para ahorrar tiempo.

RESUMEN

El trabajo de graduación desarrollado a continuación, consiste en la elaboración de un estudio teórico-práctico sobre las diferentes ventajas y desventajas acerca del modo a emplear, métodos para la determinación y evaluación de la densidad de los suelos obtenida en campo. Para dicho análisis se utilizaron dos pruebas estandarizadas: el método de la arena y utilizando un densímetro nuclear, aplicando para ello el uso de dos materiales: Grava arenosa, ligeramente limosa de color grisáceo utilizada para sub-base y una grava triturada, ligeramente limosa de color grisáceo para base de carretera, obtenidas de los bancos San Joaquín y río Guacalate del municipio de Masagua, departamento de Escuintla, respectivamente. Y con la información recopilada en estos estudios, se creó un informe el cual puede ser usado como referencia para conocer cuál de estos dos métodos es más confiable y más certero al momento de trabajar en el campo.

Se tomó en cuenta que para la realización del estudio se tomaron las pruebas de campo necesarias que incluyan ambos métodos; siempre basándonos en las especificaciones del libro de la Dirección General de Caminos, comúnmente denominado "Libro Azul", el cual establece en la división 300, secciones 301-305, todos los parámetros necesarios en el control de calidad de la compactación en las diferentes capas que garantizarán la calidad del soporte de la carpeta de rodadura de una carretera.

Debido a que el método de la arena es un método manual; además conlleva más trabajo y tiempo con respecto a la utilización de un densímetro nuclear, se deseó determinar cuál de estos dos métodos presenta menor variación en los resultados, además de establecer cual es más ventajoso y factible, y de tal manera poder utilizarlo con toda confianza sabiendo que siempre obtendremos datos apropiados y correctos.

OBJETIVOS

GENERAL:

Determinar las ventajas y desventajas de la utilización del método de la arena y el densímetro nuclear en la determinación de la densidad de campo.

ESPECÍFICOS:

1. Realizar comparaciones entre los resultados de los ensayos de laboratorio, utilizando el método de la arena y el densímetro nuclear en la sub-base y base de una carretera.
2. Establecer teóricamente las características generales de ambos métodos, para conocer cuál método es más factible de utilizar.
3. Demostrar que a pesar que para ambos métodos el procedimiento no es el mismo, estos son equivalentes al momento de determinar la densidad de campo.
4. Determinar la densidad de los materiales a analizar y por consiguiente el grado de compactación de los mismos, y de tal manera conocer la variación de resultados entre ambos métodos.
5. Aplicar las normas AASHTO T191 – ASTM D 1556 (Método de la arena) y AASHTO T310 – ASTM D 2922 (Densímetro nuclear) y sus respectivas especificaciones, para realizar el control de calidad en la compactación de los suelos a analizar.

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo, la tecnología ha evolucionado de una manera significativa en todas las áreas. Esto exige que el profesional se mantenga al día con los avances tecnológicos.

En el área de la Ingeniería Civil día con día se generan cambios no solo en los procedimientos de construcción, sino también en las políticas de control de calidad. Se manifiesta en el área de la construcción, ya que como es de saber las carreteras en la actualidad representan un factor importante en el desarrollo económico de una población. Esto conlleva que al momento de realizar la construcción de carreteras se conozcan las características propias de los materiales a utilizar (Propiedades físicas o mecánicas), sabiendo que el control de calidad para la realización de estas, se basa tanto en normas nacionales; como internacionales es necesario tener un control estricto para la realización de las mismas. Esto se logra a través de la realización de pruebas, tanto de campo (*in situ*), como las realizadas en gabinete.

En nuestro medio uno de los ensayos más comunes en la construcción de carreteras es el llamado Densidad de campo, el cual es utilizado para determinar el porcentaje (%) de compactación del suelo en las diferentes capas de la carretera. Para dicho ensayo existen diferentes métodos, el más utilizado es el denominado método del cono de arena o método de la arena, sin embargo en obras muy extensas dicho método es demasiado lento y trabajoso, debido a que su procedimiento se ve afectado por factores climatológicos y humanos. Afortunadamente la tecnología avanza de una manera extraordinaria, ya que en la actualidad existen métodos más avanzados los cuales son denominados

métodos nucleares que permiten llevar a cabo el trabajo de una manera más rápida y ventajosa.

Es por tal motivo que al realizar el siguiente planteamiento **“VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO”** y conociendo la inexistencia de información que hay para poder realizar adecuadamente un ensayo correctamente, se desarrolló un estudio teórico-práctico con el cual el profesional conozca mejor dichos métodos, así mismo su utilización en el campo para posteriormente llegar a utilizar el más adecuado. De esta manera, se podrá mejorar la calidad de las obras civiles siendo estas más seguras, al evitar posibles fallas en las construcciones que afecten tanto la estética de la obra civil ó que se cree un riesgo para la integridad de la misma.

Es importante mencionar que a partir de los ensayos establecidos y elaborados durante la realización de dicho estudio, luego de aplicar ambos métodos, se demuestra que al momento de determinar cuál de los mismos presentaba menos variación en sus resultados, se tiene como conclusión que el ensayo de método de la arena es según los resultados de campo, el que presenta la menor variación en comparación con la medición utilizando densímetro nuclear. Lo cual implica que al momento de tomar en cuenta dichos resultados para la elaboración de un estudio anexo al presente, estos mismos son sumamente confiables, ya que para la determinación de los mismos las pruebas fueron reiteradas.

1. DENSIDAD DE CAMPO

1.1 Determinación de la densidad de campo para obtener el porcentaje (%) de compactación

Este importante ensayo se usa con el fin de conocer y controlar la compactación de terraplenes y las diferentes capas para la construcción de carreteras, también se usa para determinar la densidad “*in situ*” y porcentajes de contracción o hinchamiento de los materiales. Los pesos unitarios pueden expresarse en las siguientes unidades: gr/cm^3 , kg/m^3 , lb/pie^3 .

Deben distinguirse dos tipos de peso unitario:

- a) Peso unitario húmedo o densidad húmeda. (P.U.H): Es el peso del material húmedo, en el situ, por unidad de volumen.
- b) Peso unitario seco o densidad seca (P.U.S): Es el peso del material seco por unidad de volumen, en el sitio. Este es el que se trata de determinar en la prueba de densidad de campo y el que se compara con el valor máximo obtenido en la prueba de proctor modificado para obtener el % de compactación.

Dicho ensayo permite obtener la densidad del terreno y así verificar los resultados obtenidos de la compactación de suelos, en las que existen especificaciones en cuanto a la humedad y la densidad. También se puede determinar la densidad de campo por diferentes métodos, mostrando aproximadamente resultados similares, variando únicamente la forma de determinar el volumen. Teniendo en cuenta que el éxito de una buena

compactación en la construcción de carreteras, dependerá de la buena ejecución de las siguientes operaciones:

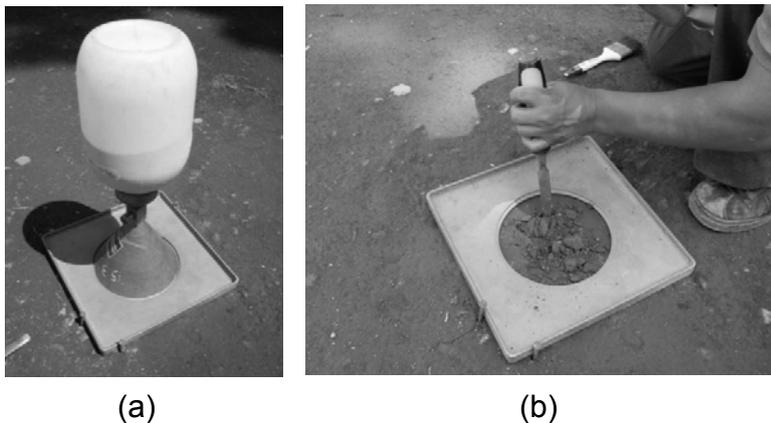
- a) La compactación adecuada y cuidadosamente del material.
- b) Ejecución y determinación correcta de la densidad máxima y húmeda óptima del material (proctor).
- c) Control, en cada capa, de la densidad alcanzada en el terreno por medio de repetidas pruebas de laboratorio, a fin de comprobar si el material utilizado ha sido perfectamente compactado.

1.2 Métodos analizados

1.2.1 Método de la arena

Este método es el más utilizado en la actualidad, a partir de este se pueden tomar como referencia o comparación cuando se utilicen diferentes métodos.

Figura 1. Realización del Método de la Arena



1.2.2 Métodos nucleares (Densímetro Nuclear)

El método de la densidad/humedad nuclear opera bajo el principio “suelos densos absorben más radiación que suelos sueltos”. El medidor nuclear se coloca directamente sobre el suelo a analizar. Los rayos gamma de una fuente radiactiva penetran en el suelo, y según sea el número de vacíos de aire que existan, un número de rayos se reflejan y vuelven a retornan a la superficie.

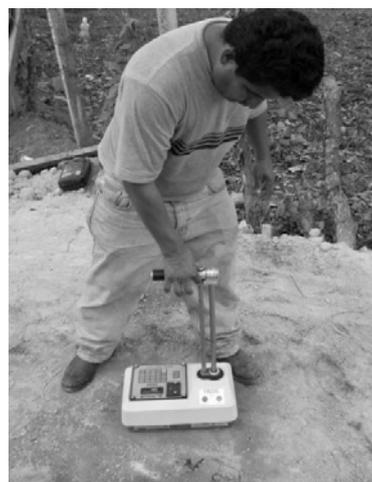
Estos rayos que se reflejan son registrados en el contador, luego la lectura del contador se compara con los datos en el densímetro nuclear, el cual indica la densidad del suelo en kg/m^3 . Esta densidad se compara con la densidad máxima de una prueba de proctor previamente realizada y se obtiene la densidad relativa del proctor.

El método nuclear ha adquirido popularidad debido a su exactitud y rapidez, los resultados de la prueba se obtienen aproximadamente en 15 segundos, y es de considerar que es una prueba no destructiva.

Figura 2. **Densímetro nuclear Modelo Troxler Serie 34-40**



(a)



(b)

2. DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO DE LA ARENA

AASHTO T191: *Standard Method of Test for Density of Soil in-Place by the Sand-Cone Method*

ASTM D1556: *Standard Test Method of Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method*

2.1 Densidad por medio del método de la arena

La calidad durante un proceso de compactación en campo se mide a partir de un parámetro conocido como grado de compactación, el cual presenta un cierto porcentaje. Su evaluación involucra la determinación previa del peso específico y de la humedad óptima correspondiente a la capa de material ya compactado. Este método es para conocer dicho grado de compactación.

Es un método destructivo ya que se basa en determinar el peso específico seco de campo a partir del material extraído de una muestra, la cual se realiza sobre la capa de material ya compactado. El método de la arena fue utilizado primeramente por el cuerpo de ingenieros de USA y acogido por las normas A.S.T.M. y A.A.S.T.H.O.

2.2 Equipo necesario

Aparato de densidad

Consiste en una válvula cilíndrica de 12,5mm (4") para la capa sub-base y 18.75 (6") para la capa base, de abertura con un extremo terminado en forma de embudo y con su otro extremo ajustado a la boca de un recipiente de vidrio o

plástico de aproximadamente $3,785\text{cm}^3$ de capacidad. La válvula debe tener topes que permitan fijarla en su posición completamente cerrada o completamente abierta.



Figura 3. **Aparato de densidad de campo**

Arena de ensayo

Comúnmente llamada Arena de Ottawa, compuesta por partículas sanas, redondeadas, no cementadas y comprendidas entre 1 y 2 mm. Generalmente material que pasa el tamiz No. 20 (0.085mm) y ésta se encuentra retenida por el tamiz No. 30 (0.060mm). Debe estar lavada y seca en estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Para elegir la arena deben efectuarse previamente cinco determinaciones de su densidad aparente empleando la misma muestra representativa. Para su aceptación los resultados de dichas determinaciones deben tener una variación menor que el 1% entre sí. Para el análisis aplicado en este estudio se utilizó una arena con una densidad de $98\text{lb}/\text{ft}^3$.



Figura 4. **Arena calibrada de Ottawa**

Tamiz No. 3/4", 16" y 30"

Certificado ATM U.S.A. de 8" de diámetro de bronce con malla de acero inoxidable (según norma ASTM E-11)



Figura 5. **Tamiz metálico**

Placa base de metal con agujero circular al centro

Bandeja de metal, con un agujero en el centro sobre la cual se encontrará el picnómetro (Cono de metal y frasco con arena)

Figura 6. **Placa base metálica**

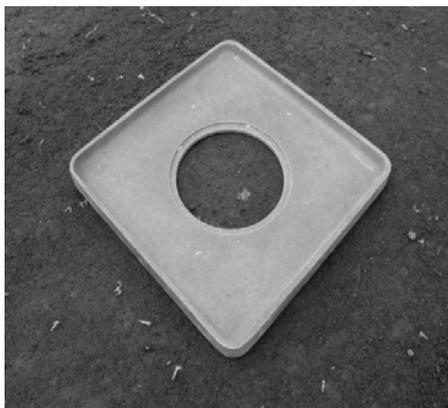


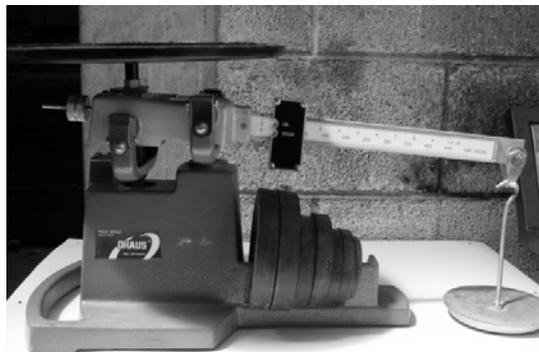
Figura 7. **Picnómetro acompañado de la placa base**



Balanza

De 35lb de capacidad y sensible a 0.01lb

Figura 8. **Balanza marca Ohaus**



Equipo para la determinación de la humedad

(ASTM D4944-04 y AASHTO T-217)

Llamado comúnmente “Speedy”, el cual consiste en una cámara cilíndrica con un manómetro de reloj en la parte inferior, el cual indica la presión en la cámara ejercida por el suelo, combinado con una medida exacta de cinco gramos de carburo de calcio. Además contiene una balanza, carburo de calcio, medidor para determinar la cantidad de carburo a utilizar, esferas de acero de 1cm de diámetro y equipo de limpieza.

Figura 9. "Speedy"



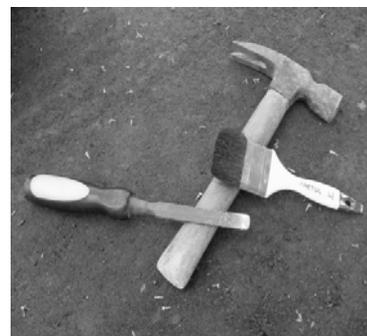
2.3 Herramientas y accesorios

Pica, cincel, martillo, clavos, brochas, taras metálicas (en la cual se coloca la muestra extraída y la arena de Ottawa), cuchara metálica para cavar la perforación de ensayo, cinta métrica, libreta de apuntes, etc.

Figura 10. Herramientas y accesorios utilizados para la realización del método de la arena



(a)



(b)

2.4 Procedimiento

1. En un área cuadrada de aproximadamente unos 50cm ó 60cm, se elimina todo el material suelto (basura u otro material), con la ayuda de una brocha, luego se aplana ligeramente el terreno a analizar para acomodar la placa base en posición firme y nivelada, para lo cual se utilizan varios clavos, los cuales sujetan dicha placa.



Figura 11. **Colocación de la placa base**

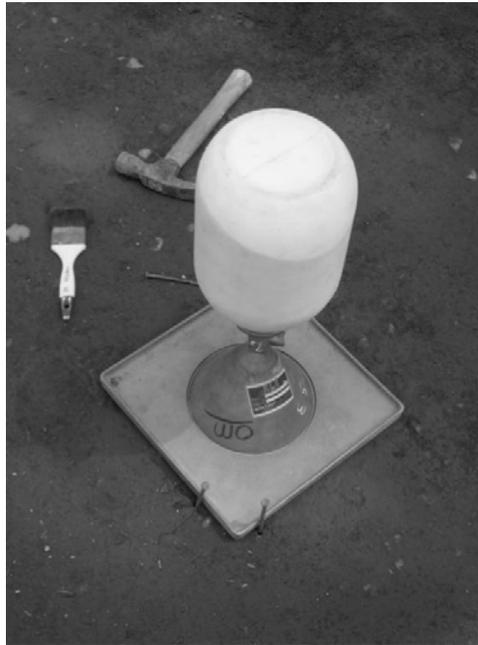
2. Con la ayuda de la balanza se pesa el picnómetro (Válvula y recipiente plástico), a lo cual llamaremos peso 1.



Figura 12. **Peso del picnómetro “Peso 1”**

3. Colocada la placa base, se marca bien su posición y se coloca el picnómetro lleno de arena; se abre la válvula hasta que no pase mas arena, se retira y se pesa de nuevo el picnómetro, teniendo así el peso 2.

Figura 13. **Colocación del picnómetro sobre la placa base**



4. Con el uso del cincel y el martillo se procede a realizar la excavación de igual diámetro que la placa base y una profundidad de aproximadamente 15cms (4 a 6plg), teniendo en cuenta que la excavación debe ser uniforme teniendo el mismo diámetro y profundidad en toda su envergadura.

Figura 14. **Excavación del agujero**



5. Se extrae el material con la ayuda de la cuchara metálica y se deposita en la tara metálica luego de pasarlo por el tamiz No. 3/4, en donde se separará el material que pasa con el que no, el cual posteriormente se regresará al agujero. Luego de separar el material, el que se encuentra en la tara es pesado, teniendo así el “peso neto húmedo del material excavado”.

Figura 15. **Material que pasa el tamiz No. 3/4"**



6. Con la cinta métrica se va comprobando la profundidad de la excavación. Una vez realizada la excavación se coloca el picnómetro y se abre la válvula dejando fluir la arena hasta que pare totalmente, para tener el valor de la arena remanente, para luego pesarlo nuevamente. Este será nuestro peso 3.

Figura 16. **Picnómetro sobre agujero**



7. Luego de recoger la mayor cantidad de arena de Ottawa (sin impurezas), se utiliza el equipo para determinar la humedad "Speedy", colocando dentro del mismo, cinco gramos de suelo húmedo extraído del agujero con cinco gramos de carburo de calcio. Luego de agitarlo por varios segundos por medio del manómetro se determinar el % de húmeda según la tabla proporcionada por el equipo.

Figura 17. **Determinación del % de humedad**



(a)



(b)

8. Determinar el peso de la arena en el cono "Pc", restando el peso inicial del picnómetro con arena "peso 1 y peso 2", que es el peso después de haberse colocado y abierto la válvula antes de excavar el agujero. De esta diferencia resulta el peso de la arena en el cono del picnómetro, de la siguiente manera:

$$\mathbf{Pc = \text{Peso1} - \text{Peso2}}$$

9. Determinar el peso de la arena en el cono "Pc+ag", restando el segundo peso "peso 2 y peso 3", éste es el efectuado después de vaciar el picnómetro con el agujero ya realizado, es decir:

$$\mathbf{Pc + ag = \text{Peso2} - \text{Peso3}}$$

10. Determinar el peso de la arena en el agujero "Pa", restando el peso de la arena en el cono + agujero "Pc+ag" y el peso de la arena en el cono "Pc" es decir:

$$\mathbf{Pa = (Pc + ag) - Pc}$$

$$\mathbf{Pa = (\text{Peso2} - \text{Peso3}) - (\text{Peso1} - \text{Peso2})}$$

11. Determinar el volumen del agujero, dividiendo el peso de la arena en el agujero “Pa” entre el peso unitario de la arena calibrada de Ottawa, de la siguiente manera:

$$Volumen = \frac{Pa}{Peso - Unitario - Ottawa}$$

12. Determinar el porcentaje de compactación (%C)

$$PUH = \frac{Peso - Neto - Humedo}{Volumen}$$

$$PUS_{CAMPO} = \frac{PUH}{100 + \% humedad} \times 100$$

$$\%C = (PUS_{campo} / PUS_{laboratorio}) * 100$$

NOTA: Se debe tomar en cuenta que al momento de la caída de la arena de Ottawa, debe ser de modo que intervenga solamente la fuerza de gravedad, y no otro factor externo que afecte a la caída de la misma. Asimismo, tomar en consideración que al momento del realizar el ensayo este se debe efectuar con un solo picnómetro, ya que de lo contrario se variará la cantidad inicial de arena que se registró en la determinación de los pesos obtenidos.

Como una guía, las normas ASTM sugieren los siguientes criterios para seleccionar el volumen del agujero y tamaño de la muestra para contenido de humedad, con el fin de obtener resultados razonables en el ensayo.

Tabla I. Criterios para seleccionar el volumen del agujero

CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL VOLUMEN		
TAMAÑO MÁXIMO EN EL SUELO SEGÚN TAMIZ	VOLUMEN DEL AGUJERO PARA EL ENSAYO (cm³)	TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA CONTENIDO DE HUMEDAD (g)
No. 4 (4.75mm)	700	100
1/2plg (12.5mm)	1400	250
1plg (25.0mm)	2,100	500
2plg(50.0mm)	2,800	1,000

3. DENSIDAD DE CAMPO UTILIZANDO DENSÍMETRO NUCLEAR

AASHTO T310: *Standard Specification for In-Place Density and Moisture Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)*

ASTM D 2922: *Standard Test Methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth)*

Legislación Nacional sobre la Energía Nuclear: *En Guatemala la Legislación Nacional sobre la Energía Nuclear se instituyó el 11 de abril de 1956.*

3.1 Densidad por medio de Densímetro Nuclear

El densímetro nuclear es un equipo electrónico de medición capaz de determinar rápidamente y con precisión el porcentaje de humedad y la densidad de suelos o agregados y asfalto, directamente en el sitio, sin tener que recurrir al laboratorio, lo que conllevaría a mayor tiempo de espera, que en la mayoría de los casos no se cuenta, por la celeridad de las obras.

La determinación de la densidad total o densidad húmeda a través de este método, está basada en la interacción de los rayos gamma provenientes de una fuente radiactiva y los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del suelo, la cual es captada por un detector gamma situado a corta distancia de la fuente emisora, sobre, dentro o adyacente al material a medir.

Como el número de electrones presente por unidad de volumen de suelo es proporcional a la densidad de éste, es posible correlacionar el número relativo de rayos gamma dispersos con el número de rayos detectados por unidad de tiempo, el cual es inversamente proporcional a la densidad húmeda del material. La lectura de la intensidad de la radiación es convertida a medida

de densidad húmeda por medio de una curva de calibración apropiada del equipo.

Para la elaboración de este informe se utilizó un densímetro nuclear el cual cumple con las siguientes características:

Características Generales

Nombre:	Densímetro Nuclear
Modelo:	Troxler, Troxler Electronic Laboratories Inc.
Serie No.:	34-30
Color:	Amarillo con gris
Medidas de densidad y humedad:	kg/m ³ ó g/cm ³ y porcentaje
Valor aproximado:	Q.100, 000.00 ≈ \$8, 000.00
Peso aproximado:	13,2 kilogramos ≈ 29 libras
Funcionamiento:	Baterías recargables NICAD o baterías alcalinas de relevo.
Tiempo de Calibración:	240 segundos ≈ 4 minutos
Almacenamiento de datos	Hasta 450 registros de ensayos pueden ser almacenados y transferidos a una computadora o impresora. El software "Roadreader DMS" se incluye con el densímetro nuclear, para el análisis y reporte vía computadora personal.
Indexado automatizado	Elimina la fuente de error humano en la programación de la profundidad del ensayo. Determina automáticamente la profundidad de la medición.
Funciones especiales (30)	Por ejemplo: Auto verificación y programas de servicio; selección de precisión.

Especificaciones

Especificaciones de calibración

Exactitud para estándares de densidad (%) +/- 0.2	
Exactitud para estándares de humedad (%) +/- 2.0	
Rango de calibración Densidad	70 a 170 pcf (1000 a 2700 kg/m ³)
Humedad	0 a 40 pcf (0 a 640 kg.m ³)

Especificaciones radiológicas

Fuente gamma	8 mCi +/- 10 % Cs-137
Fuente de neutrones	60 µCi +/- 10 % Cf-252 o 40 mCi +/- 10 % Am-241: Be
Cubierta de fuente	Encapsulado en acero inoxidable
Aislamiento de fuente	Tungsteno, plomo y cadmio
Dosis en superficie	20.5 mrem / h máximo, neutrones y partículas gamma
Material de barra de penetración	Acero inoxidable
Baúl de transporte	DOT 7A, Tipo A

Especificaciones de comunicación

Puerto serial tipo RS-232

Especificaciones eléctricas

Exactitud de tiempo y estabilidad	+/- 0.005 %, +/- 0.0002 % / °C
Estabilidad de la fuente de energía	+/- 0.01 % / °C
Almacenaje de energía	30 Watt-horas
Tiempo de recarga de batería	14 a 16 horas (corte automático)
Cargador	110 / 220 VAC, 50-60 Hz, o 12-14 VDC
Pantalla de despliegue de datos	4 x 16, alfa numérica de cristal líquido

Especificaciones mecánicas

Baúl de transporte	Plástico para alto impacto; 29.5 de largo, 14 de ancho, 17 de alto
--------------------	--

Prueba de vibración	0.1 in (2.5 mm) a 12.5 Hz
Prueba de caída	300 mm con esfera de acero de 25 mm de diámetro
Temperatura de operación	Ambiente: 14 a 158°F (-10 a 70°C)
Superficie	350°F (175°C)
Temperatura de almacenamiento	-70 a 185°F (-55 a 85°C)
Tamaño del dispositivo	14.8 x 9.1 x 7.2 in

Figura 18. **Densímetro Nuclear**



(a)



(b)



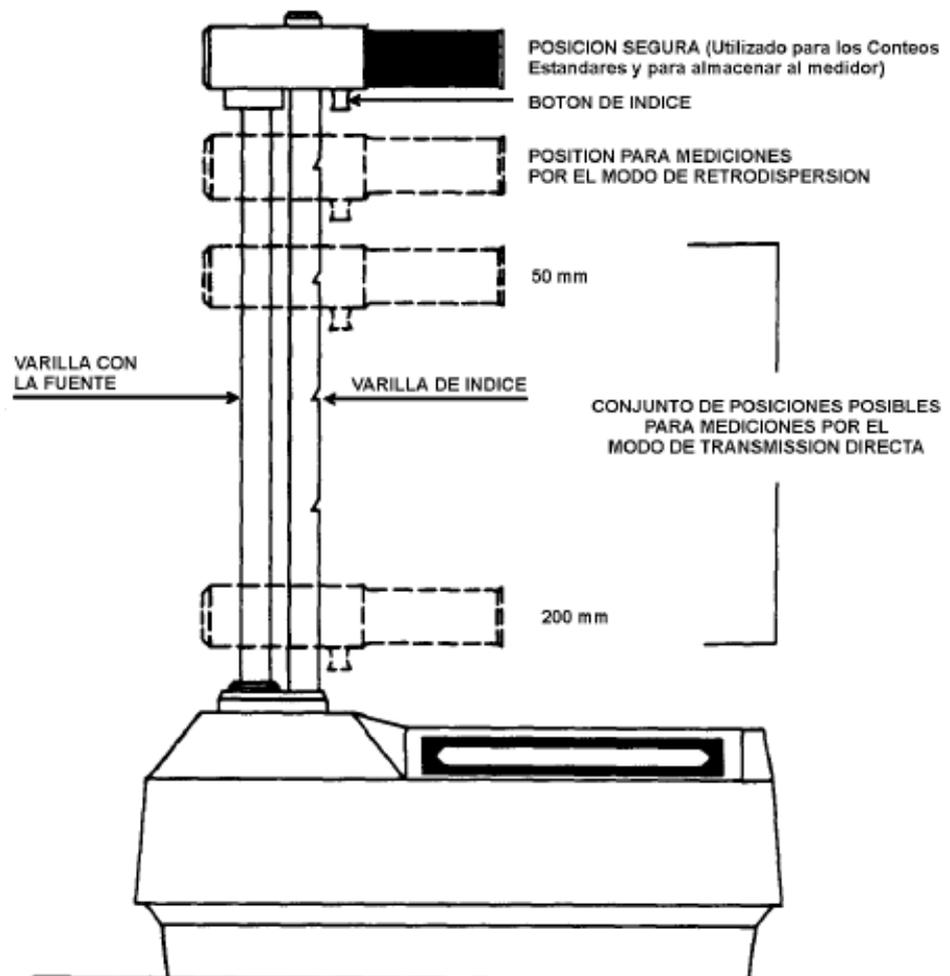
(c)



(d)

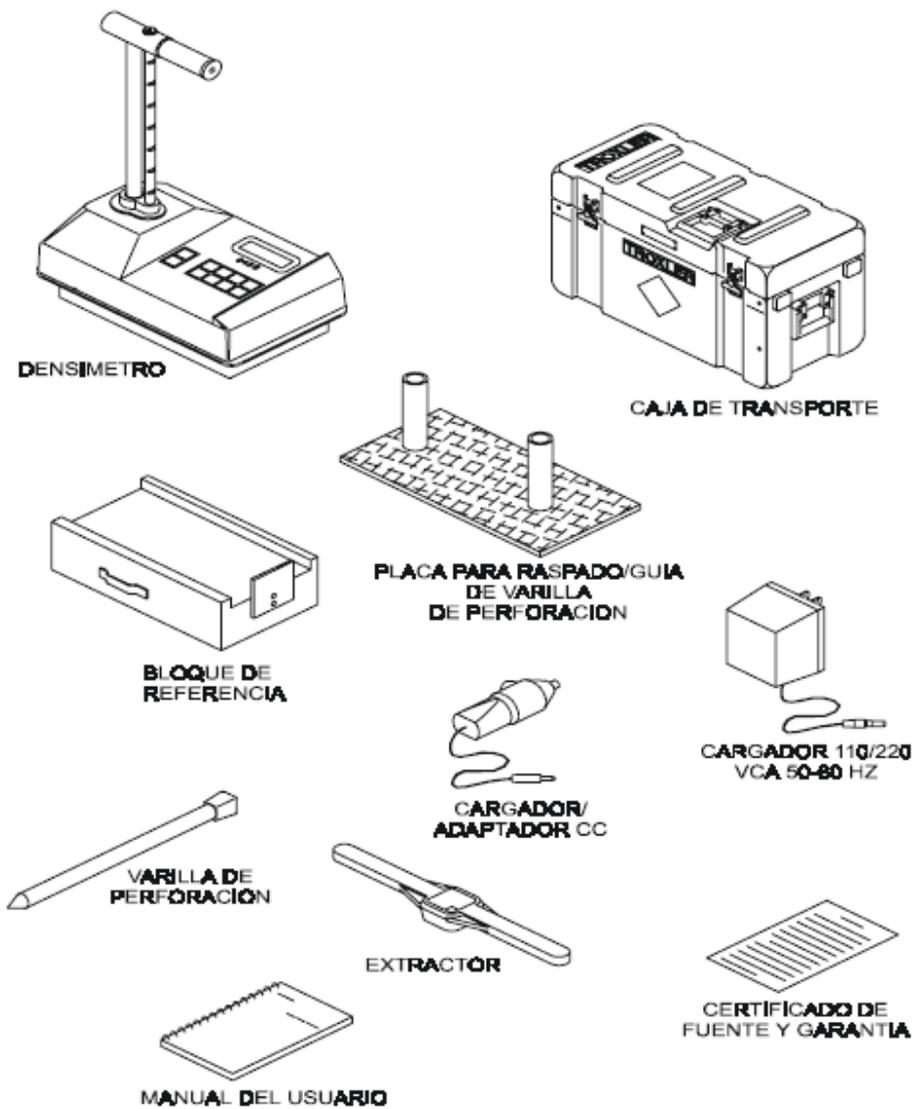
El densímetro nuclear Troxler modelo 34-30 es capaz de determinar rápidamente y con precisión la humedad y la densidad de suelos, bases, agregados (áridos), hormigón y asfalto (hormigón asfáltico), sin tener que recurrir a métodos de intervención física, como puede ser el caso con la extracción de testigos. Teniendo en cuenta que para la obtención del porcentaje de compactación (%) y el contenido de humedad (%) en el suelo, únicamente se ingresa la densidad seca óptima obtenida del ensayo de proctor realizado previamente en laboratorio.

Figura 19. Perfil del Densímetro Nuclear



3.2 Partes y accesorios

Figura 20. Partes y accesorios del Densímetro Nuclear



1. **Densímetro** es un instrumento portátil que contiene todos los módulos electrónicos, bloques (conjuntos) de baterías recargables, detectores y fuentes radiactivas.

2. **Bloque de referencia** proporciona un material que sirve de referencia constante para efectuar los ajustes en la sonda, los cuales son necesarios para compensar la desintegración progresiva de la fuente.
3. **Placa para alisado/guía de la varilla de perforación** se utiliza para preparar el terreno de emplazamiento, o la porción de tierra sobre la cual se va a colocar el equipo, y para guiar la varilla al hacer la perforación.
4. **Varilla de perforación** se utiliza para preparar un orificio cuando se va a efectuar una medición de transmisión directa.
5. **Dos cargadores/adaptadores** se suministran: uno para CC (12 VCC) y otro para CA (115/230 VCA 50/60 Hz.)
6. **Caja para la batería de repuesto** esta incluida para uso con baterías alcalinas.
7. **Caja de transporte** es un contenedor diseñado para el transporte de la sonda y sus partes asociadas.
8. **Extractor** es una herramienta para sacar la varilla de perforación del material probado.

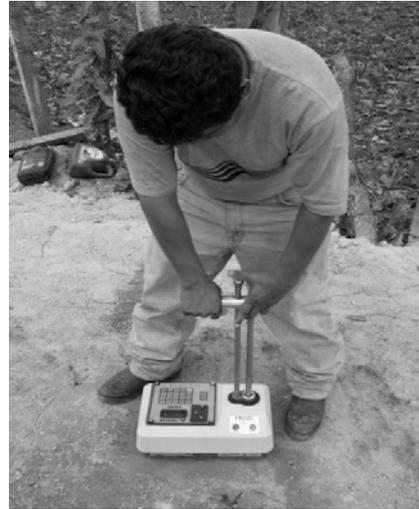
3.3 Procedimiento

1. Se selecciona un lugar de ensayo donde el medidor quede ubicado a más de 150 mm. de distancia de cualquier proyección vertical.
2. El lugar a ensayar, deberá ser removido de todo material suelto y disgregado. El área horizontal será la necesaria para acomodar el medidor, aplanándola hasta dejarla lisa de modo de obtener el máximo contacto entre el medidor y el área a ensayar. El máximo hueco por debajo del medidor no podrá exceder los 3 mm., en caso contrario, se rellenará con arena fina para emparejar la superficie.
3. Finalmente, se asienta y estabiliza el medidor para tomar una o más lecturas de 15 segundos cada una.

Figura 21. **Medición con el Densímetro Nuclear**



(a)



(b)

3.4 Tipos de mediciones

Existen varias formas para hacer las determinaciones con el densímetro nuclear, dentro de las cuales se encuentran: transmisión directa, retro-dispersión, colchón de aire, humedad y capa delgada, teniendo la certeza que entregan resultados satisfactorios en espesores aproximados de 50 a 300 mm. Estos métodos son útiles como técnicas rápidas no destructivas siempre y cuando el material bajo ensaye sea homogéneo.

3.4.1 Transmisión directa

Este tipo de medición es la más riesgosa debido a que la fuente radiactiva sale del aparato. En este modo de operación la fuente gamma se posiciona a una profundidad específica, dentro de la capa del material a evaluar, mediante su inserción a través de un orificio de acceso hecho con la varilla de perforación. Las emisiones gamma son transmitidas a través del material, hacia los detectores, dentro del densímetro. Este tipo de operación minimiza la incertidumbre ocasionada por las superficies rugosas y la

composición química del material evaluado, determinando una elevada exactitud en las mediciones. La transmisión directa es utilizada para la evaluación en capas con espesor de medio a grueso, de suelos, agregados, capas asfálticas losas de concreto hidráulico.

3.4.2 Retro-transmisión

Es un modo rápido y no destructivo. La fuente de emisiones gamma y los detectores permanecen dentro del densímetro, colocado sobre la superficie del material analizar. Las emisiones gamma penetran en el material evaluado, las emisiones que son recibidas por los detectores son cuantificadas. La retro-dispersión es usada principalmente en capas delgadas, sean asfálticas o losas de concreto hidráulico.

3.4.3 Colchón de aire

Se diferencia de los métodos anteriores en que el equipo medidor se coloca sobre unos soportes o espaciadores que producen un espacio vacío (colchón de aire) entre la base del medidor y el área de la superficie de terreno a ensayar. Se requiere además tomar una o más lecturas en la posición de retro-dispersión para chequear las mediciones.

3.4.4 Humedad

La medición de humedad es un ensayo no destructivo; la fuente de neutrones y el detector permanecen dentro del densímetro, sobre la superficie del material a analizar.

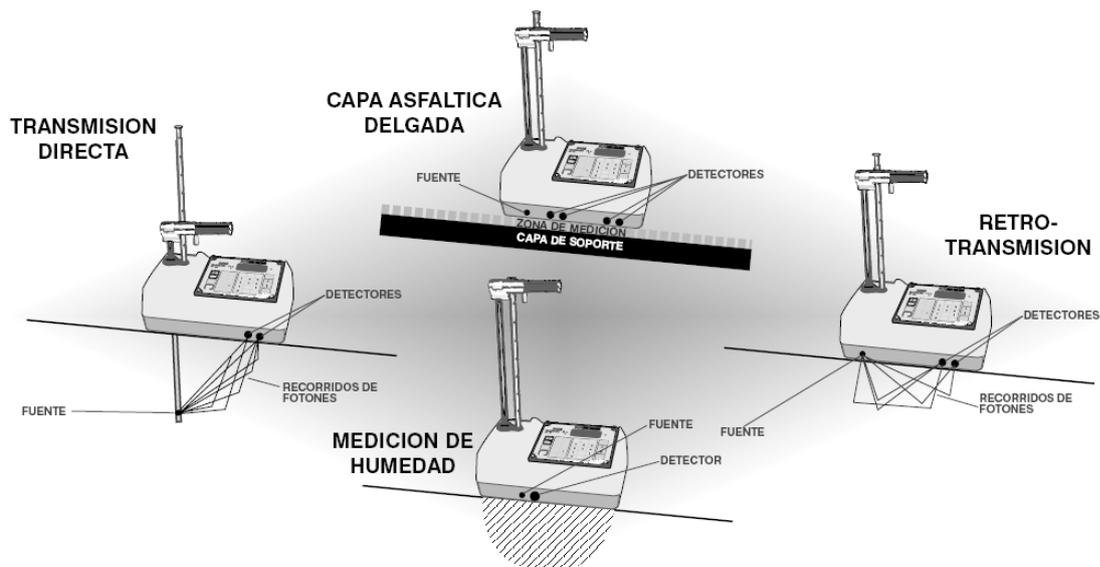
Emisiones de neutrones, a alta velocidad, son introducidas en la capa evaluada y son detenidas parcialmente por sus colisiones contra los átomos de hidrógeno dentro del material. El detector de Helio en el densímetro cuenta la

cantidad de neutrones termalizados (con velocidad disminuida); que correlaciona directamente con la cantidad de humedad en el material evaluado.

3.4.5 Capa delgada

Este proceso de medición patentado por TROXLER ELECTRONIC INC., permite determinar la densidad de las capas asfálticas y las losas de concreto en espesores de 2.54 a 10.16 cm (1 a 4 in), sin la influencia de las capas de soporte.

Figura 22. Tipos de mediciones utilizando densímetro nuclear



3.5 Tipos de fuentes radioactivas

3.5.1 Americio 241: Usado para medir la HUMEDAD

Periodo de semidesintegración: 432 años

Radiotoxicidad: Muy alta

3.5.2 Cesio 137: Usado para medir la DENSIDAD

Período de semidesintegración: 30 años

Radiotoxicidad: Alta

Dentro del densímetro las fuentes van selladas y encapsuladas (soldadas) en acero inoxidable, para evitar toda fuga del material radiactivo. Las emisiones de fotones y neutrones no tienen protección.

Características generales de los densímetros nucleares con fuente de cesio 137 y americio 241

Riesgo: Alto

Usos: Medidores de compactación, densidad y humedad

Precauciones: Toda manipulación deberá ser realizada evitando el contacto directo.

Tasa de dosis a 1 metro: 3,6 mRem/hora

Principales marcas: Cpn, Portaprobe y Troxler Electronic

¿Cómo puede afectar el americio?

Dentro del cuerpo, el americio se concentra en los huesos, donde permanece durante mucho tiempo. La radiación emitida por el americio puede alterar el material genético de las células de los huesos y esto puede producir cáncer de los huesos.

¿Cómo puede afectar el cesio?

La exposición a cantidades grandes de cesio radioactivo puede dañar células del cuerpo a causa de la radiación emitida.

3.6 Calibración del equipo

Curvas de calibración

Estas se establecen determinando la razón de conteo nuclear de cada uno de varios materiales de densidades conocidas, trazando la razón de conteo contra densidad y ajustando una curva a través de los puntos resultantes. El método usado para establecer la curva, es el mismo que se usa para determinar la densidad de campo. La densidad de los materiales usados para establecer la curva (como por ejemplo bloques de granito, aluminio, magnesio, caliza, etc.), deben ser uniformes y variar dentro de un rango de densidades que incluya la del suelo a medir.

Las curvas de calibración deberán chequearse si el equipo esta recién adquirido o si los resultados de los ensayos de rutina se estiman que sean inexactos. Si se utiliza el método del cono de arena para chequear la curva de calibración, se compara el promedio de por lo menos 5 mediciones con el instrumento nuclear y una con el cono de arena en exactamente la misma posición en terreno.

Si la densidad de cada uno de los ensayos de comparación determinados por el cono de arena varía menos de 0,08grs/cc de la densidad determinada por el instrumento nuclear y si el promedio de los ensayos del cono de arena difiere menos de 0,032grs/cc del promedio de las mediciones nucleares, no es necesario hacer ajustes a la curva de calibración.

Por el contrario, si el promedio de las determinaciones de densidad por el cono de arena esta a más de 0,032grs/cc por sobre o bajo del promedio de las mediciones nucleares, los ensayos siguientes deben ser ajustados en el monto

de la diferencia de los promedios, trazando así una curva de calibración corregida, que será paralela a la original.

Precisión (P)

La precisión del sistema está determinada por la gradiente de la curva de calibración y la desviación estándar de los rayos gamma detectados en cuentas por minuto (CPM), mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{S}{m}$$

Donde:

S = desviación normal (CPM)

m = gradiente (CPM/kgs/m³)

Se determina la pendiente de la curva de calibración en el punto 1760kgs/m³ en CPM por kgs. por m³. Luego se determina la desviación normal de 10 lecturas repetitivas de 1 minuto, cada una tomadas en un mismo punto, en un material que tenga una densidad de 1760 ± 80kgs/m³. Si el valor resultante (P) es menor que 20kgs/m³, el equipo se considerará en estado óptimo.

Normalización

Cada día de uso y cuando las medidas de los ensayos sean dudosas, se chequeará la operación del equipo con un patrón de referencia provisto con cada medidor.

Luego de emplear un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante, se realizan por lo menos 4 lecturas repetitivas de 1 minuto cada una sobre el patrón de referencia. Los límites de aceptación están dados por la expresión:

$$N_s = N_o \pm 1.96 N_c$$

Donde:

N_s = cuenta medida al chequear la operación sobre el patrón de referencia

N_o = cuenta establecida previamente en el patrón de referencia (promedio de 10 lecturas)

Los criterios de evaluación serán:

1. Si la media de las lecturas repetitivas esta fuera de los límites de aceptación, se repite el chequeo.
2. Si el segundo chequeo cumple con los límites de aceptación, el equipo se considerará en condiciones satisfactorias.
3. Si el segundo chequeo no cumple con los límites establecidos, deberá chequearse la curva de calibración.
4. Si el chequeo de la curva de calibración muestra que no hay cambios significativos en ella, el equipo se considerará en condiciones satisfactorias.
5. Si el chequeo de la curva de calibración muestra que hay diferencias significativas, se procederá a reparar y recalibrar el instrumento.

3.7 Operadores y operación correcta con densímetro nuclear

El operador, es la persona que está debidamente autorizada por la autoridad competente para poder manejar el equipo, en este caso para la República de Guatemala, es el Ministerio de Energía y Minas, el cual con la colaboración de Grupo Beta imparten un curso con un costo aproximado de

Q. 7,000.00, en donde se les autoriza el manejo del equipo proporcionándoles su respectiva licencia de uso por 2 años.

Debido al gran efecto en la salud que conlleva la utilización del dosímetro nuclear se han establecido varios artículos los cuales tienen por objetivos poner como primer plano la salud del operario. Dentro de los cuales se encuentran:

1. Toda persona que a causa u ocasión de su trabajo este expuesta a radiaciones deberá contar con un dosímetro personal (Presilla del cinturón, lado derecho), destinado a detectar y registrar las radiaciones ionizantes, los cuales serán proporcionados por la empresa.
2. Será obligación del empleador remitir trimestralmente al Instituto de Salud Pública para el registro de las dosis recibidas en este período en el historial de dichos dosímetros.
3. Cuando los operadores no estén utilizando los dosímetros, deberán guardarlo en el primer cajón del escritorio y con llave, asegurándose de que no este expuesto a la radiación.
4. En ningún caso el operador debe usar un dosímetro asignado a otra persona o prestar el suyo.
5. En el caso que un operador pierda su dosímetro, deberá comunicarlo a su superior de inmediato.
6. Los dosímetros deben ser utilizados por los operadores exclusivamente durante el desarrollo de las actividades que lo requieran, quedando prohibido exponer deliberadamente estos a radiaciones.

Operación correcta con densímetro nuclear en terreno

1. Antes de proceder a la operación, con el equipo radiactivo, se demarcará el área de trabajo con conos, letreros y el símbolo relacionado con el riesgo de la radiactividad.
2. Solo el operador “autorizado” manipulará el equipo, permaneciendo en las proximidades sólo el personal autorizado y restringiendo el ingreso de personal ajeno a la operación.
3. Primero se perforará y marcará el suelo y el perímetro de la placa de raspado para que, posteriormente, el operador baje el vástago procediendo a medir.
4. Nunca debe bajarse el vástago sin que el equipo esté completamente apoyado en el suelo y ubicado en la perforación.
5. No se trabajará en zonas de vehículos o maquinarias en movimiento, coordinando los trabajos con la supervisión a fin de determinar, previamente, los accesos, rutas de circulación, zonas de medición y horarios.
6. Verificar que las vías de circulación en el área de operación estén expeditas.
7. Una vez finalizada la tarea se procederá a guardar y mantener en su caja de transporte, el equipo, retirar la señalización en el terreno.

3.8 Almacenamiento y transporte

Para el respectivo cuidado y manejo del densímetro nuclear se deben seguir ciertas normas y reglas las cuales ayudarán a que el equipo se encuentre siempre en perfecto estado. Para ello se enumeran ciertas recomendaciones las cuales deberán ser acatadas minuciosamente:

Almacenamiento

1. La bodega en que se almacene el equipo estará construido con un material sólido que asegure el control de la radiación al exterior.

2. En caso que la bodega se ubique en una obra provisoria y, por tanto, los materiales requeridos para la construcción del recinto no se ajusten a lo señalado anteriormente, se deberá construir un recinto en hormigón y/o albañilería, previsto de un marco con una tapa metálica de protección con un sistema de cierre con porta candado, que lo asegure de terceras personas. Esta bodega puede estar ubicada al interior de otra construcción que puede ser de material liviano, pero deberá contar con un acceso independiente y exclusivo.
3. Debe estar a lo menos cinco metros de los lugares de trabajo, permanecer cerrada, limpia, despejada y libre de humedad.
4. Debe estar señalizada e identificada con letreros alusivos (En la puerta de acceso y los cuatro costados de la bodega) que indiquen “Precaución Material Radioactivo solo personal autorizado”, incluyendo el nombre y teléfono de la persona encargada de seguridad radiológica.
5. Para el caso de equipos portátiles de uso en obras viales, cuando estos no sean ocupados, se guardarán dentro de este tipo de bodega y al interior de una caja metálica de fierro, la cual será destinada única y exclusivamente a contener estos equipos. Esta caja, estará provista de candados de seguridad y será en lo posible anclada al piso o pared de la bodega.
6. Los medidores se guardarán en todo evento, dentro de su contenedor original.
7. Deberá mantenerse un registro que indique en todo momento donde se encuentran los equipos y la persona responsable del mismo.
8. Deberán contar con un plan de emergencia que contemple como mínimo, acciones en casos de accidentes, perdidas y/o robos.
9. Debe controlarse el ingreso, solo para el personal autorizado.
10. La bodega de almacenamiento será de uso exclusivo para el densímetro, no deberá contener otros equipos, materiales o herramientas.
11. La bodega de almacenamiento debe cumplir con todas las disposiciones legales establecidas y estar debidamente autorizadas por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

Transporte

1. El transporte de los densímetros nucleares debe ser realizado por personas autorizadas.
2. Se debe acompañar en todo momento de traslado, copia de las correspondientes autorizaciones.
3. Antes de cargar el densímetro nuclear, el responsable del transporte deberá, verificar las condiciones en que se encuentra e informar inmediatamente alguna anomalía si la hubiere, así como si cuenta con la autorización correspondiente del Servicio de Salud para su uso y transporte.
4. El densímetro nuclear no debe ser transportado en la cabina.
5. Antes de iniciar la marcha el conductor deberá preocuparse que el equipo esté debidamente sujeto para evitar cualquier daño o hurto.
6. Nunca se debe dejar el vehículo de transporte con el densímetro en su interior sin una persona que lo custodie.
7. Dentro de la caja colocar una hoja con el procedimiento de emergencia en caso de robo o pérdida del equipo. (Nombre de la empresa, teléfonos de emergencia, dirección).
8. Llevar una bitácora de registros con los datos de las salidas e ingresos desde el lugar de almacenamiento del equipo, día, hora, lugar de trabajo y faena, además de indicar el nombre del operador responsable.

3.9 Procedimiento de emergencia

Cuando un densímetro nuclear sufra por cualquier motivo algún deterioro, el encargado deberá:

1. Cercar el área donde esté el equipo dañado a lo menos cinco metros.
2. Comunicar inmediatamente a Prevención de Riesgos.

3. El Departamento de Prevención de Riesgos, hará un informe y comunicará a la autoridad competente, con el fin de que éste envíe una persona a evaluar si es que existe radiación.
4. La autoridad competente (Ministerio de Energía y Minas de Guatemala) indicará los pasos a seguir, las que deberán ser cumplidas rigurosamente.
5. Una vez recibidas las recomendaciones por parte de la autoridad competente (Ministerio de Energía y Minas de Guatemala), el departamento de Prevención de Riesgos deberá:
 - i. Solicitar autorización al Servicio de Salud, para almacenar en forma provisoria el equipo dañado.
 - ii. Contactar a la Comisión de Energía Nuclear, para la disposición final del equipo, solicitando:
 - a) Identificación del vehículo que lo trasportará.
 - b) Nombre de Conductor del vehículo.
 - c) Permiso para el transporte.
 - d) Nombre del encargado.
 - e) Permiso para la disposición final.

3.10 Causas básicas de los accidentes / incidentes con densímetro nuclear

3.10.1 Factores que contribuyen a los accidentes

1. Entrenamiento inapropiado en la operación.
2. Manual de protección inadecuado o no existe.
3. Seguir procedimientos inadecuados con el equipo.
4. Defectos del equipo.

5. Falta en el uso de medidores de radiación.
6. Errores humanos.
7. Violaciones voluntarias.

3.10.2 Falta de entrenamiento

1. Los operadores no están calificados para el uso seguro de material radioactivo.
2. Los trabajadores relacionados no están informados de la presencia de material radioactivo.
3. Los operadores y los trabajadores relacionados no comprenden los procedimientos de emergencia.
4. Falta de actualización del entrenamiento y de entrenamiento para nuevos empleados.

3.10.3 Programa de seguridad

1. Falta de compromiso de la gerencia en el programa de seguridad.
2. Énfasis en la seguridad, no hay actitud de "prioridad a la seguridad".
3. Falta de recursos para implementar el programa.

3.10.4 Fallo del equipo a utilizar o por no usar un medidor de radiación

1. Son usados tipos incorrectos de medidores de radiación.
2. Los medidores de radiación no tienen actualizada la calibración o no son calibrados correctamente.
3. Entrenamiento inadecuado de los individuos en el uso de los medidores de radiación.

El Previsionista de Riesgos debe:

- a) Velar por el cumplimiento del procedimiento.
- b) Designar el sitio de almacenamiento de los densímetros.
- c) Aplica el procedimiento de emergencia.

3.10.5 Procedimiento de seguridad

1. Falta de una actitud de “prioridad a la seguridad”
2. Inadecuada supervisión por parte del operador para garantizar que se siguen los procedimientos.
3. Falta de entrenamiento necesario en el uso seguro de material radiactivo.

3.10.6 Límites permisibles de radiación

Tabla II. Límites permisibles

DOSIS MÁXIMA PERMISIBLE PARA PERSONAS OCUPACIONALMENTE EXPUESTAS*		
5,000	mrem	1 Año
400	mrem	1 Mes
100	mrem	1 Semana
20	mrem	1 Día
2.2	mrem	1 Hora

*El milirem (la abreviación es mRem) es la unidad utilizada para medir el efecto de la radiación en el cuerpo humano.

4. ESTUDIO GEOGRÁFICO Y EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA

4.1. Ubicación geográfica del lugar

4.1.1 República de Guatemala

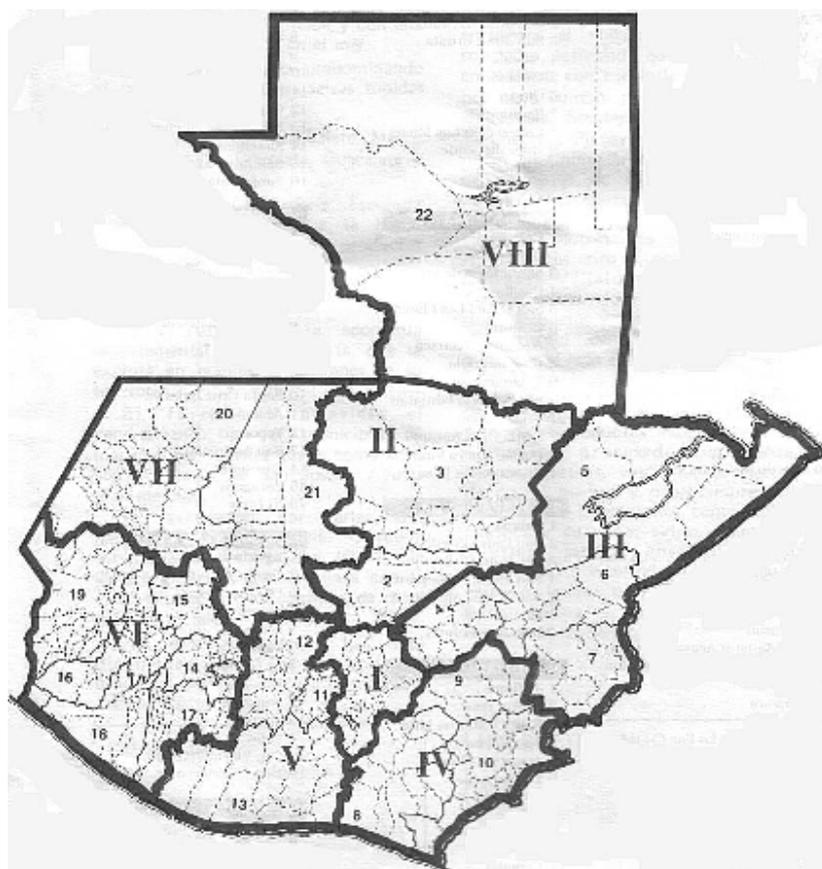
La república de Guatemala se encuentra localizada en la parte Norte del Istmo Centroamericano; limita al norte y oeste con la república de México; al sur con el Océano Pacífico; y al este con el Océano Atlántico, y las repúblicas de Belice, Honduras y El Salvador. Se halla comprendida entre los paralelos 13° 44' a 18° 30' latitud norte y entre los meridianos 87° 24' a 92° 14' longitud oeste. Su extensión territorial es de aproximadamente 108,889 kilómetros cuadrados, presenta dos estaciones al año, invierno y verano, su clima es variado de acuerdo a su topografía, por lo tanto puede ir de cálido a templado y muy frío.

Guatemala está dividida en ocho regiones (Decreto 70-86 del Congreso de la república del 17 de noviembre de 1936), cada región abarca uno o más departamentos que poseen características geográficas, culturales y económicas parecidas. Cada uno de sus departamentos se divide en municipios y los municipios en aldeas y caseríos. Actualmente existen 22 departamentos y 333 municipios .

Tabla III. Regiones que conforman la república de Guatemala

REGIONES DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA							
REGION I	REGION II	REGION III	REGION IV	REGION V	REGION VI	REGION VII	REGION VIII
Guatemala	Alta Verapaz	Zacapa	Jalapa	Sacatepéquez	Quetzaltenango	San Marcos	Petén
	Baja Verapaz	Chiquimula	Jutiapa	Escuintla	Sololá	Huehuetenango	
		Izabal	Santa Rosa	Chimaltenango	Suchitepéquez	El Quiche	
					Totonicapán		

Figura 23. Regiones de la república de Guatemala

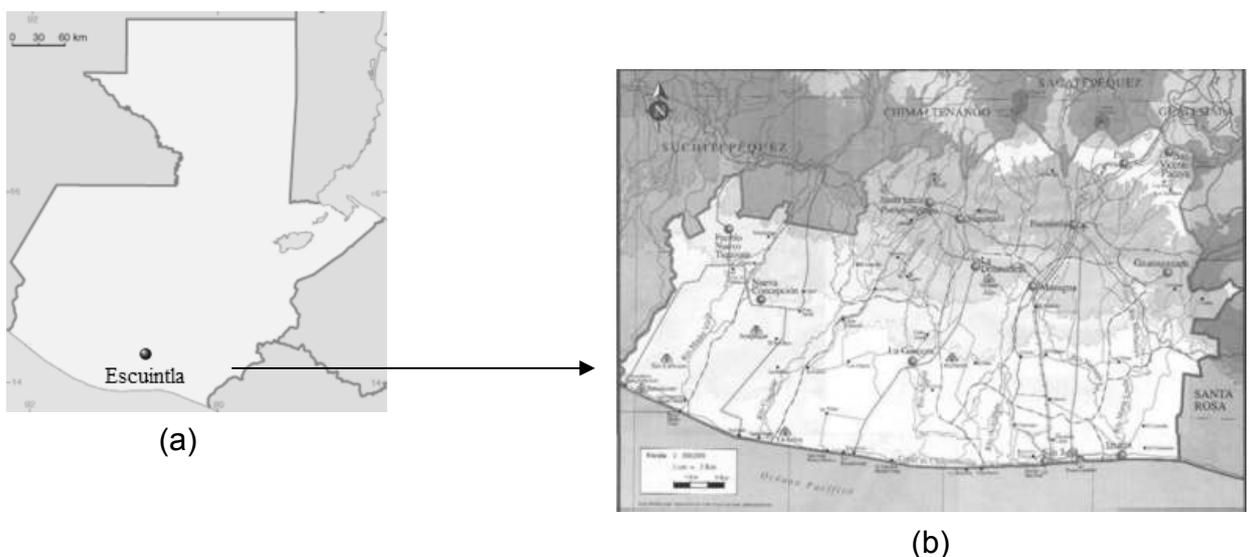


4.1.2 Región central V

La región central está conformada por los departamentos de: Sacatepéquez, Chimaltenango y Escuintla, su extensión territorial es de aproximadamente 6,828km², el cual representa un 6.20% de ocupación territorial de toda la república de Guatemala.

El departamento de Escuintla se encuentra situado en la región V o región central, su cabecera departamental es Escuintla, limita al norte con los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala; al sur con el Océano Pacífico; al este con Santa Rosa; y al oeste con Suchitepéquez. Se ubica en la latitud 14° 18' 03" y longitud 90° 47' 08", y cuenta con una extensión territorial de aproximadamente 4,384 kilómetros cuadrados. De clima es cálido en casi todo su territorio, esta cabecera se encuentra a una distancia de aproximadamente 58.00 kilómetros de la ciudad capital.

Figura 24. **Ubicación del departamento de Escuintla, república de Guatemala**



Su jurisdicción departamental comprende 13 municipios los cuales son: Escuintla, Guanagazapa, Iztapa, La Democracia, La Gomera, Masagua, Nueva Concepción, Palín, San José, San Vicente Pacaya, Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá, San Vicente Pacaya, Tiquisate.

4.1.3 Municipio Masagua, departamento de Escuintla

4.1.3.1 Datos generales

Masagua es uno de los municipios del departamento de Escuintla y desde Guatemala, se puede acceder por la ruta nacional 3 o carretera CA-9, que en el departamento une la cabecera, Escuintla, con el Puerto de San José. Esta región tiene una extensión territorial aproximadamente de 6,827 Kms², equivalente al 6.27% del territorio nacional. De este territorio, Masagua ocupa aproximadamente 448 Kms², equivalente al 6.6% del territorio regional y 10.2% del territorio departamental de Escuintla, que tiene una extensión aproximada de 4,384 Kms.

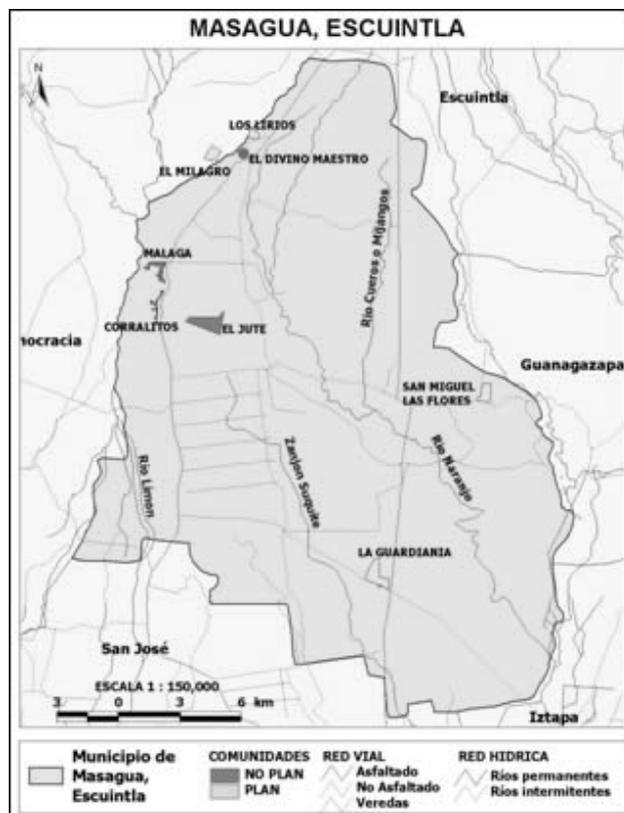
Figura 25. **Calles principales del Municipio de Masagua,**



La altitud promedio del municipio es de 100 msnm, sin mayores variaciones. Su cabecera municipal se ubica en los paralelos: Longitud 90°51'34" y latitud 14°12'05", teniendo por colindancias al norte: Escuintla y San Vicente Pacaya; al este: Guanagazapa e Iztapa; al sur: San José y al oeste: La Democracia.

Actualmente está habitado por aproximadamente 32,245 personas, para una densidad poblacional es de 72 hab/Km², inferior a la media nacional que se ubica en 117 hab/Km², para 2004. El idioma predominante en el municipio es el castellano, pues la población indígena es mínima.

Figura 26. Municipio de Masagua, departamento de Escuintla



4.2 Proyección de la localización y ubicación de extracción de la muestra

Debido a que se realizó una comparación entre los resultados obtenidos del método de la arena y la utilización del densímetro nuclear, para conocer la equivalencia entre ambos, este último por ser su costo sumamente elevado, se tomo la decisión de dialogar con la empresa ADICO, S.A. (Construcción de Carreteras), para poder participar dentro del proyecto Masagua - Puerto de San José, Tramo Masagua, Escuintla, y conociendo que en dicho proyecto se hacia uso del Densímetro Nuclear, cuyo funcionamiento era el enfoque principal de este informe, el objetivo principal era que a través de dicho proyecto se aplicara el tema principal de este trabajo.

Es por tanto que la extracción de la muestras analizadas en gabinete, fueron del Municipio Masagua, Departamento de Escuintla, aproximadamente en los kms 64+100 para la capa sub-base y 67+700 para la capa base, localizado al sur de Ciudad de Guatemala. Dicho proyecto es la construcción y reparación de aproximadamente 8.0kms de carretera, el cual beneficiará a los habitantes de dicho municipio.

Figuras 27. Vista aérea del Municipio de Masagua, departamento de Escuintla



5. ENSAYOS PARA EL CONTROL DE LA COMPACTACIÓN EN LOS SUELOS

5.1 Compactación

Se entiende por compactación a todo aquel proceso que aumente el peso volumétrico de un material de tipo granular. En general, es conveniente compactar un suelo destinado para:

1. Aumentar la resistencia a corte y por consiguiente, mejorar la estabilidad y capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
2. Disminuir la compresibilidad y así reducir los asentamientos
3. Disminuir la relación de vacíos y por consiguiente, reducir la permeabilidad.
4. Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no solo depende de las características del dispositivo que se usó para compactar sino fundamentalmente de la humedad que tenía en ese momento el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone a una resistencia mayor al desplazamiento relativo de ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena los vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso.

Para determinar el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo. Teniendo en cuenta que para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente el agua a utilizar, ya que si esta es muy poca, no existirá

lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que el agua sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

La situación descrita anteriormente, demuestra que es necesario determinar la cantidad de agua en la cual se obtenga una excelente lubricación que permita la mayor densidad posible llamada "Densidad Máxima o Peso Unitario Seco Máximo"; y la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de "Humedad Óptima". Se puede decir entonces que la densidad seca de un suelo, producida por la compactación, depende del porcentaje de humedad que contenga y de la intensidad de la fuerza comparativa que se le aplique.

Compactando un suelo a diferentes contenidos de humedad, se puede llevar los valores obtenidos a un grafico, en el cual las ordenadas representan los diferentes valores de las densidades secas expresadas en kg/m^3 o lb/pe^3 y en las abscisas los porcentajes de humedad. La curva resultante se denomina CURVA DE COMPACTACIÓN y tiene una rama ascendente en donde llega a un punto máximo llamado "Densidad Seca Máxima o PUS_{max} " y el porcentaje de humedad respectiva se "Humedad Óptima $\%H_{\text{opt}}$ ". Dicha curva se asemeja generalmente, a una parábola y también es llamada Curva proctor.

5.2 Control de la compactación

Según la norma AASHTO M147-65, todos los materiales deberán tener un contenido de humedad igual o ligeramente menor al óptimo necesario para asegurarse que los requisitos de densidad de diseño son obtenidos cuando los materiales sean compactados. Es de notarse que para base y sub-base dicha

norma deja en libertad al Ingeniero de especificar el porcentaje de compactación deseado.

Según el Instituto del Asfalto, en su manual MS-1, numeral 5.13, especifica que se debe compactar a una humedad de 1.5% mas o menos del óptimo para alcanzar una densidad mínima del 100% de la máxima densidad obtenida en ensayo (ASTM D-1557, método D y AASHTO T-180, método D)

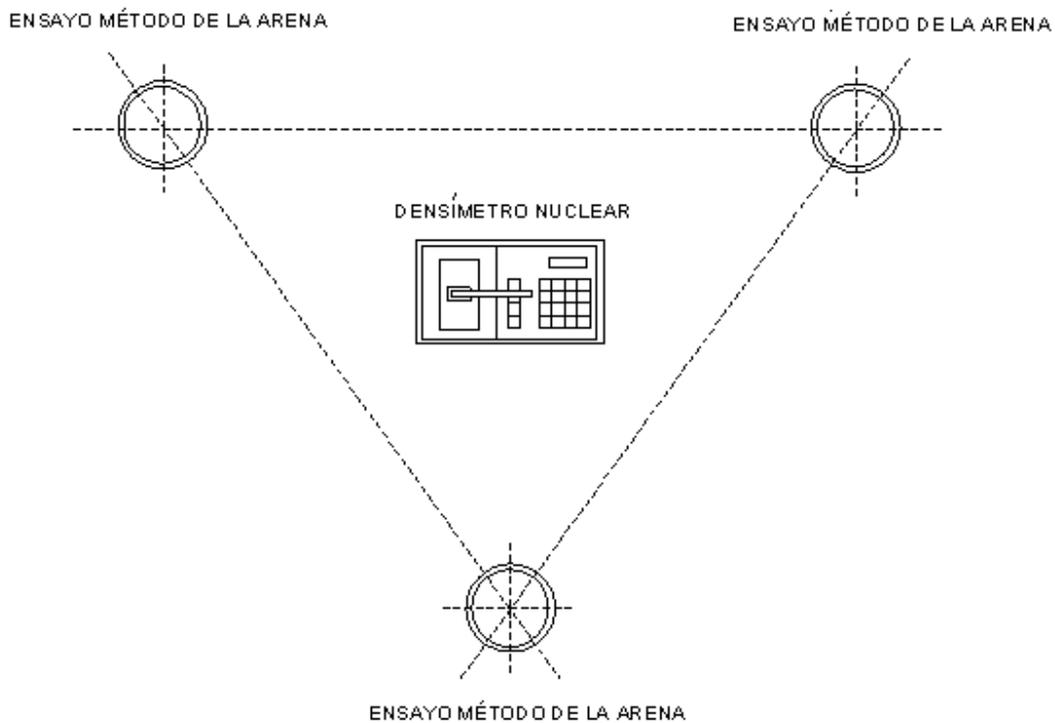
Por otro lado, según la Asociación del Cemento Pórtland (PCA) en su publicación ISO29.028, describe que se debe compactar a un mínimo del 100% de la densidad máxima obtenida en ensayo (AASHTO T-99). Para proyectos de tráfico pesado la densidad especificada no deberá ser menor del 105% de la densidad máxima obtenida en ensayo AASHTO T-99 o del 98% al 100% de la densidad máxima obtenida en el ensayo AASHTO T-180.

Es de tomar en cuenta que actualmente no existen especificaciones de parte de las instituciones anteriores respecto al número de ensayos de densidad de campo a efectuar, ni respecto a la distancia mínima entre cada densidad realizada. Solo como una guía, el manual de diseño DM 7.2 del Departamento de la Marina de los Estados Unidos recomienda:

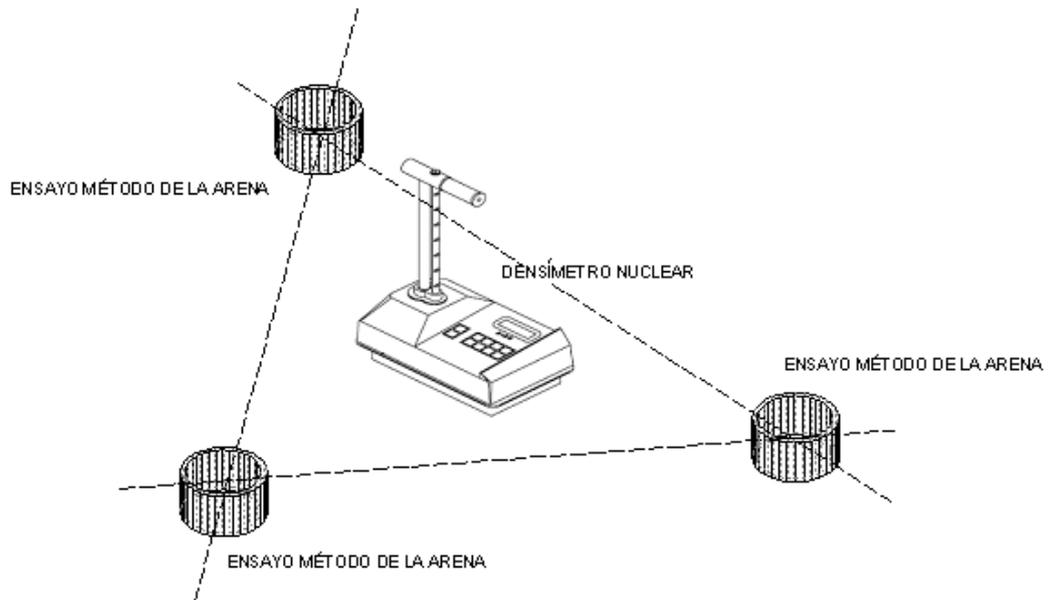
1. Una prueba para cada 500 yardas cubicas de material colocado para la construcción de terraplenes.
2. Una prueba para cada 500 a 1000 yardas cubicas de material para canal y otro relativo a rellenos.
3. Una prueba para cada 100 a 200 yardas cubicas de relleno de zanjas o alrededor de estructuras, dependiendo de la calidad del material.
4. Al menos una prueba para cada turno de trabajo de los laboratoristas.
5. Una prueba si hay una sospecha definitiva de un cambio en la calidad del control de la humedad.

Sin embargo para efectos de dicho estudio, se efectuó una relación de 3:1, es decir por cada tres ensayos utilizando el método de la arena, se realizó una medición utilizando el densímetro nuclear, la cual para tener un dato más exacto se obtuvo con el promedio de 3 mediciones, siempre sobre el mismo punto. Con la característica que los ensayos realizados con el método de la arena se aplicaron alrededor de la medición del densímetro nuclear formando un triángulo sobre la misma.

Figuras 28. **Proyección relación 3:1**



(a)



(b)

Se debe tomar en cuenta que se realizaron 10 mediciones utilizando el densímetro nuclear en cada capa (sub-base y base), es decir, que en total se realizaron 30 ensayos utilizando el método de la arena sobre cada capa, habiendo realizado un total de 60 pruebas utilizando el método de la arena y 20 mediciones con el densímetro nuclear, con una separación entre cada densidad de campo de aproximadamente 40m.

Además es de suma importancia conocer que para la construcción de las sub-bases y bases de la carretera se debe tener una compactación mínima del 95% en el campo y un C.B.R. mayor del 50%, de lo contrario el trabajo será erróneo y de baja calidad.

5.2.1 Compactación en capa sub-base

La sub-base es la capa de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente, a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas del tránsito, de tal manera que el suelo de subrasante las pueda soportar, absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que pueden afectar la base.

Sus elementos principales, en lo que a tipos de suelos se refiere, deberá estar integrada por gravas, y arenas seleccionadas y que sus propiedades las haga estables, con arcilla de características apropiadas y en cantidades tales como para hacerlas inadecuadas para material de base; esto se puede lograr con suelos A-1, A-2, A-3. Todo debe estar dentro de lo lógico-económico, es decir si se pueden conseguir económicamente, en caso contrario, será mejor localizar una fuente de mejor material posible, así como un banco de rellenedor (o de fino); combinando ambos materiales se puede lograr un tercero satisfactorio.

Otro material muy utilizado en Guatemala para sub-bases es la arena pómez por su abundancia en varias regiones, es algo difícil de compactar y muy erosionable, pero en general ha dado buenos resultados si se la cubre rápido con la capa base. Se especifica un $CBR_{MIN}=30$, LLP no mayor de 40, IP no mayor de 10 y un equivalente de arena mayor de 25.

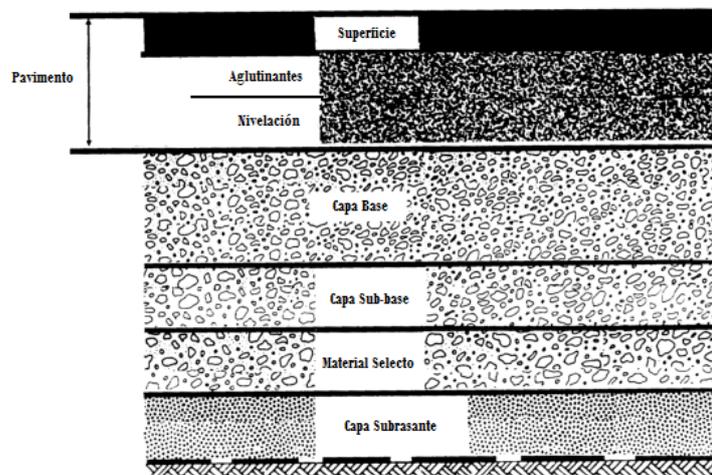
5.2.2 Compactación en capa base

La base es la capa constituyente de la estructura del pavimento, destinada, básicamente, a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

Constituida principalmente por material granular bien graduado. Puede ser obtenido de la grava de río, o bien antiguos depósitos de grava de ríos. Por medio de trituración se pueden conseguir que llenen las especificaciones pedidas; sucede en muchas construcciones de carreteras, que los depósitos de grava de río no son encontrados de los límites que el planeamiento económico señala; para este caso se deberá buscar una cantera de roca sólida y triturarla.

Los materiales para la capa base, pueden ser: A-1, A-2; se especifica un CBR mayor de 70; un LL no mayor de 25; un IP no mayor de 6; y que el % que pasa el tamiz 200 no sea mayor de $\frac{1}{2}$ del % que pasa el tamiz 40. La abrasión o el % de desgaste de la grava o piedra no debe ser mayor de 50, según el método de los ángulos (ASTM C-131)

Figura 29. Estructura de las capas de compactación de un pavimento



5.3 Ensayos para el control de la compactación

Estos ensayos se usan para asegurar que los suelos se compacten adecuadamente durante la construcción, y se cumplan condiciones impuestas en el proyecto. Dentro de los ensayos se encuentran los siguientes:

1. Ensayo de contenido de humedad.
2. Determinación del peso unitario o densidad máxima (Proctor modificado) y humedad óptima.

5.3.1 Ensayo de contenido de humedad

5.3.1.1 Descripción del ensayo

El contenido de humedad o mas comúnmente la humedad de la muestra de un suelo, es la relación entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno, expresada como un %.

Este es, sin duda alguna, el ensayo que se efectúa mas a menudo en los laboratorios de suelos, pues es necesario para poder efectuar otras pruebas, tales como: el proctor, el CBR, los límites de Atterberg, las densidades de campo, entre otros.

5.3.1.2 Equipo necesario

1. Balanza con aproximación 0.01g.
2. Horno (105°C a 110°C.)
3. Espátula.
4. Tarros para las muestras.

5.3.1.3 Procedimiento

1. Se pesa la muestra y el recipiente con la ayuda de la balanza. Este peso se registra en la hoja de datos como peso bruto húmedo (PBH).
2. Se coloca el recipiente con la muestra en el horno de manera que esta seque.
3. Cuando ya ha secado la muestra se saca del horno y se deja enfriar hasta que regrese a su temperatura ambiente. Se debe evitar que la muestra absorba la humedad.
4. Se pesa el recipiente con la muestra con una aproximación de 0.01g, y el dato se registra en la hoja de datos como peso bruto seco (PBS).
5. Si el peso del recipiente no ha sido obtenido anteriormente, se debe limpiar este y obtener su peso. Es recomendable obtener su peso con anterioridad al ensayo para evitar errores. A este peso se le conoce como "Tara".
6. Se calcula el contenido de humedad, de la muestra, usando la siguiente fórmula:

$$w(\%) = \frac{100 * (PBH - PBS)}{(PBS - Tara)}$$

Figura 30. **Equipo utilizado para el ensayo de contenido de humedad**



(a)



(b)

5.3.2 Métodos utilizados para determinar el peso unitario o densidad máxima (Proctor modificado) y humedad óptima

AASHTO T180-01: *Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils*

ASTM D1557-07: *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soils*

5.3.2.1 Descripción del ensayo

Se determina la densidad máxima seca de un suelo después de haber aplicado una misma intensidad de compactación para varios contenidos diferentes de humedad.

Para obtener la humedad óptima y la densidad máxima, existen diferentes métodos, los cuales se pueden resumir en dos grupos:

- a) Dinámicos: son aquellos, en los que la energía de compactación se aplica por medio de golpes de pisón (mazo o martillo) dinámicamente (Proctor).
- b) Estáticos: son aquellos métodos en que la energía de compactación es aplicada por medio de presión (prensas hidráulicas).

En nuestro medio, los más usados, son los dinámicos, y para el proceso de obtención la densidad máxima y la humedad óptima el utilizado fue el METODO AASHTO STANDARD T-180 también llamado Proctor modificado.

Este método es utilizado en el laboratorio para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de los suelos compactados en un molde de 101.6 ó 152.4mm (4" ó 6") de diámetro con un martillo de 44.5kN (10lbf) que se deja caer desde una altura de 457mm (18") y produce un esfuerzo de compactación de 2700kNm/m³ (56000lbpie/pie³). El procedimiento utilizado corresponderá con el indicado en la especificación para el material que se ensaya. Si el procedimiento no está especificado, la elección deberá basarse en la gradación del material.

Para su realización hay 4 métodos alternativos:

a) **Método A:**

Molde de 101.6mm (4") de diámetro con material que pasa el tamiz 4.75mm (No. 4). Compactar en 5 capas de 25 golpes cada una.

b) **Método B:**

Molde de 152.4mm (6") de diámetro con material que pasa el tamiz 4.75mm (No. 4). Compactar en 5 capas de 56 golpes cada una.

c) **Método C:**

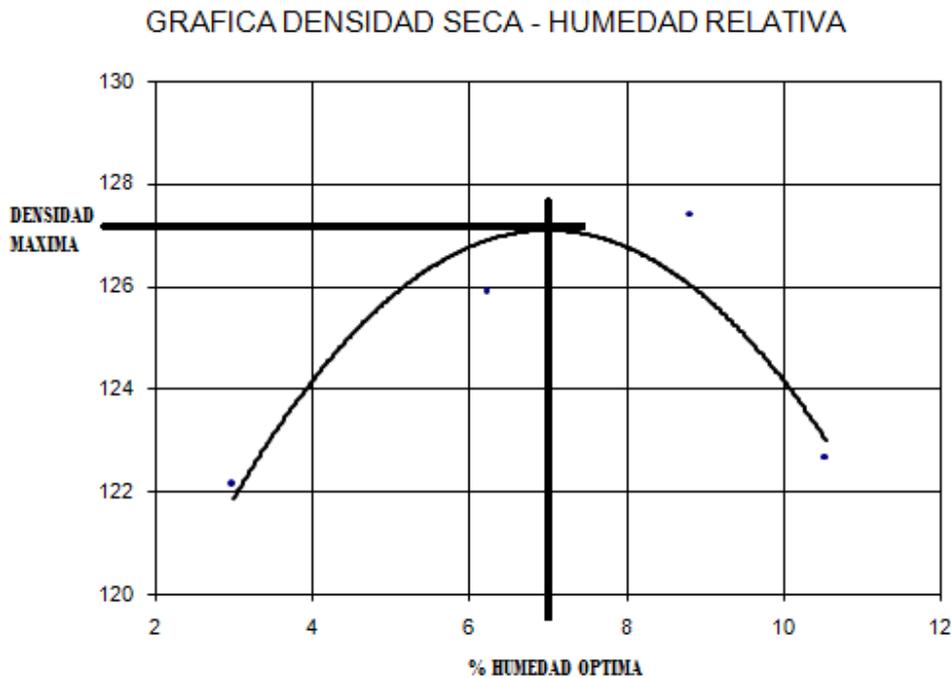
Molde de 101.6mm (4") de diámetro con material que pasa el tamiz 19mm (No. 3/4). Compactar en 5 capas de 25 golpes cada una.

d) **Método D:**

Molde de 152.4mm (6") de diámetro con material que pasa el tamiz 19mm (No. 3/4). Compactar en 5 capas de 56 golpes cada una.

La compactación debe hacerse en forma uniforme, haciendo caer libremente el martillo y distribuyendo los golpes sobre toda el área. Cabe mencionar que para la realización del próctor modificado se utilizó el método C.

Figura 31. **Curva de compactación**



5.3.2.2 Equipo necesario

1. Balanza de 35lb de capacidad y aproximación de 0.01lb.
2. Tarros metálicos para determinación de la humedad.
3. Molde de compactar, de 4" y 6".
4. Pisón de compactar de 10lbs de peso y 18" de caída.
5. Estufa u horno capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ o de $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$.
6. Tamiz de 2", tamiz No. 4 y tamiz de $\frac{3}{4}$ ".
7. Espátula, cucharón de mezclar, cuchara de albañil, y otras herramientas para mezclar.
8. Rodillo.
9. Extractor de muestras (opcional).
10. Enrasador de acero biselada de aproximadamente de 12".

Figura 32. Molde y accesorios utilizados para el ensayo
Proctor modificado



Figura 33. Pisón utilizado para el ensayo



(a)



(b)

Figura 34. Molde de 101.6mm (4")

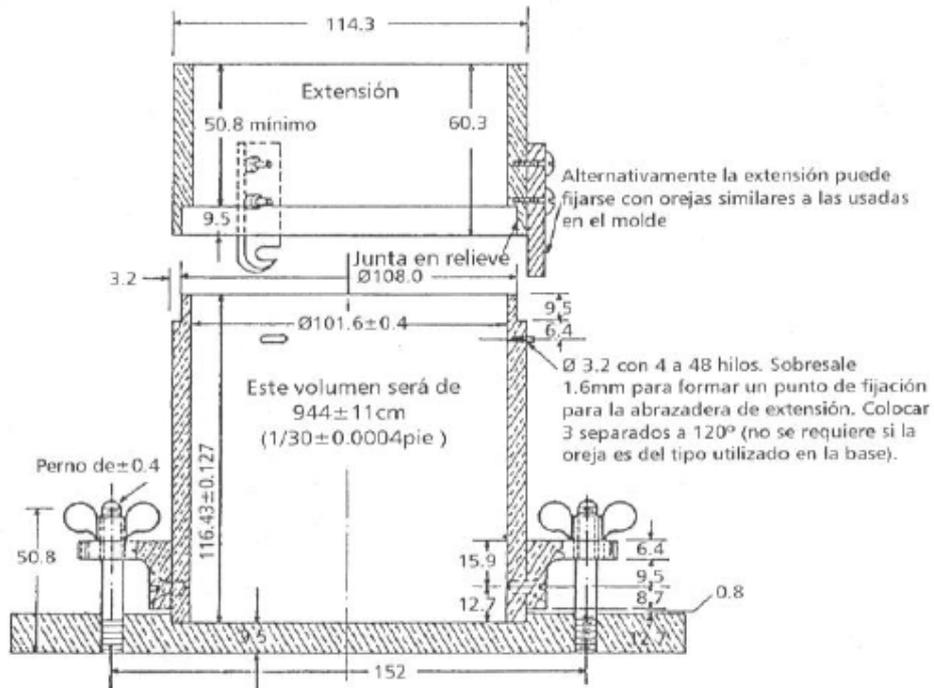


Figura 35. Pisón molde de 101.6mm (4")

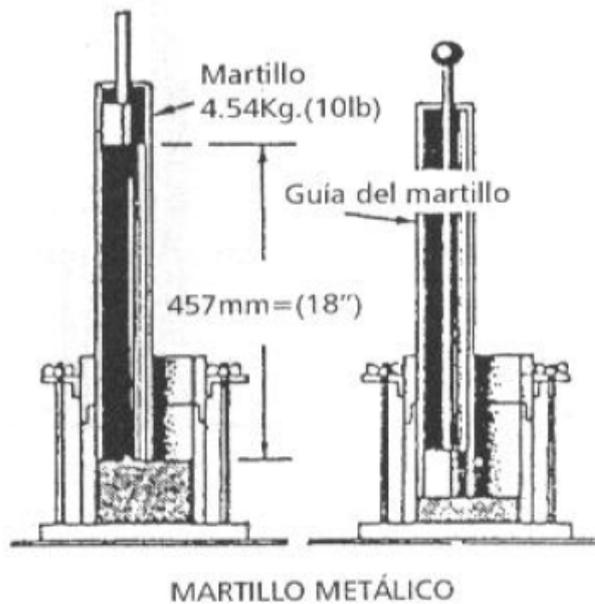
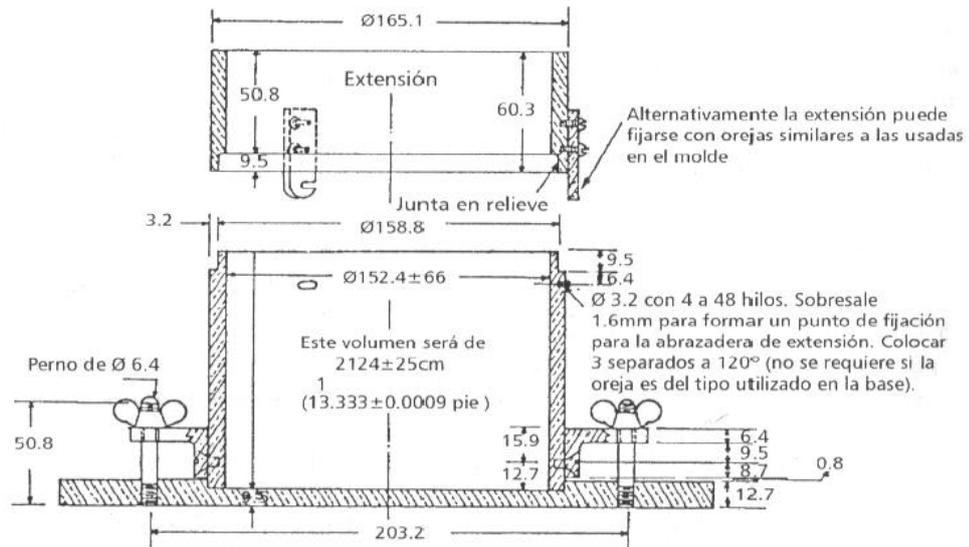
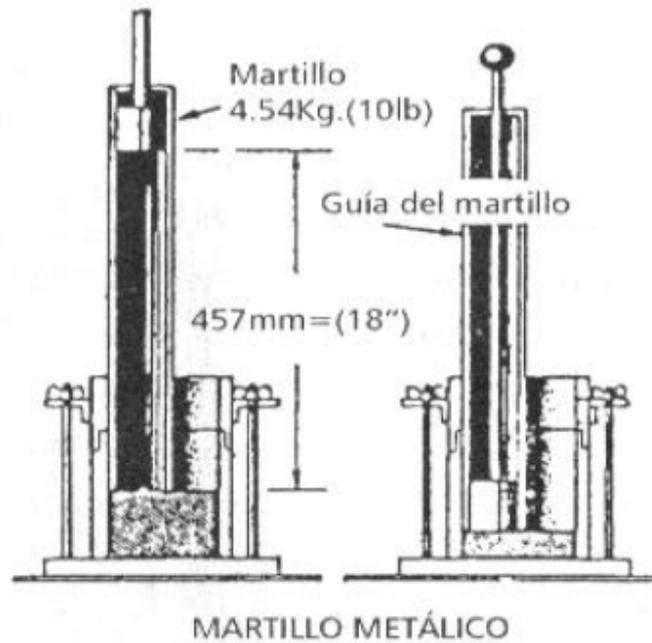


Figura 36. Molde de 152.6mm (6")



(Dimensiones dadas en mm)

Figura 37. Pisón molde de 152.4mm (6")



5.3.2.3 Procedimiento

1. Colocar una muestra de suelo con un contenido de agua seleccionado, en cinco capas, en un molde de dimensiones dadas, ya sea molde de 4" ó 6".
2. Compactar cada capa de 25 ó 56 golpes de un martillo de 44.5kN (10lbf), que se deja caer desde una distancia de 457mm (18") dándole al suelo un esfuerzo de compactación total alrededor de $2,700\text{kNm/m}^3$ ($56,000\text{lbpie/pie}^3$).
3. Determinar el peso unitario seco resultante.
4. El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el contenido de agua para el suelo y el peso unitario seco.
5. Al graficar estos datos resulta una relación curvilínea conocida como la curva de compactación.
6. Los valores del contenido óptimo de agua y el peso unitario seco máximo se determinan de la curva de compactación.

5.4 Problemas típicos de la compactación

La definición de compactación para algunos autores es "incremento de su densidad logrado artificialmente por medios mecánicos, es deseable porque con una mayor densidad se previenen posteriores cambios de volumen, se incrementan la fricción interna y la cohesión, disminuyéndose además el grado de permeabilidad del suelo"

Los problemas típicos de compactación suelen presentarse comúnmente por el uso inadecuado del equipo de compactación, al que no corresponden el material que se compacta. La eficiencia del equipo de compactación está en función de la distribución de la presión que actúa sobre el suelo que se compacta y del número necesario de aplicaciones o pasadas para lograr en un tiempo dado, la compactación deseada.

El equipo de compactación que se escoja para compactar, debe estar basado en las características del material y en su manejo fácil para el lugar donde se va a usar. De esta manera resulta importante señalar el equipo más eficiente de compactación, para nuestros suelos más comunes:

1. Para suelos cohesivos, tales como arcillas: La compactación es recomendable con “Pata de Cabra”. La que no debe usarse en suelos granulares. La compactadora Pata de Cabra se usa mucho en rellenos de terracería por su fácil manejo.
2. Para suelos granulares: Se puede usar la compactadora de tres ruedas metálicas, aunque presenta la dificultad de su difícil maniobrabilidad y la de necesitar espesores menores de material, laminando a veces la superficie.
3. Suelos granulares limo-arenosos y arena pómez: Se usa comúnmente los rodillos-neumáticos con buenos resultados.
4. Para las arenas de río: El tipo de compactadora mas eficiente es la de los rodillos vibradores; también el de zapatas vibratoras y en rellenos estructurales. Teniendo en consideración que el material debe estar confinado.

Un problema típico de “control de laboratorio” que sucede en muchas oportunidades, es cuando los rellenos son hechos con roca o roca y suelo, pues estos no pueden ser controlados exactamente por métodos de laboratorio.

Otro problema típico en construcción de carreteras, es el que sucede en el caso de determinar la densidad de campo, cuando existe en el material agregado mayor de $\frac{3}{4}$ ” y si la comparación se hace con el proctor efectuado en un cilindro con un volumen de $\frac{1}{30}$ de pico cubico (de 4”).

6. ENSAYOS PARA DETERMINAR CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA MUESTRA

Las especificaciones para determinar la calidad del suelo dependen del tipo de proyecto a efectuarse, y así serán los ensayos adecuados. Los siguientes ensayos se utilizan para identificar suelos de modo que puedan ser descritos y clasificados adecuadamente. Pueden ser los siguientes:

6.1 Análisis granulométrico

AASHTO T27: *Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*

AASHTO T 87-86: *Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test*

ASTM D421-85: *Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants*

ASTM D422-63: *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*

6.1.1 Descripción del ensayo

El propósito del análisis granulométrico es determinar el tamaño de los granos que constituyen un suelo y el porcentaje de los granos en los distintos intervalos de tamaño. El método más directo para separar un suelo en varias fracciones de tamaño de granos es el uso de tamices. No obstante, el tamaño más fino de abertura de tamiz que puede conseguirse es de 0.074mm. (No. 200). Para fines prácticos, el uso de tamices está restringido al análisis de arenas limpias.

Si un suelo contiene granos más finos de 0.074mm. puede separarse en sus fracciones mediante lavado con agua. Las partículas de suelo que son

demasiado finas para ser recogidas en los tamices pueden ser sometidas al análisis mecánico y mediante el análisis mecánico húmedo, las fracciones del suelo pueden ser separadas hasta unos 0.0002mm. por debajo de este tamaño; puede usarse una centrifuga para analizar el material. El análisis de materiales más fino de 0.074mm. es necesario muy pocas veces,

Tabla IV. **Tabla de numeración y abertura de tamices**

TAMIZ (ASTM)	TAMIZ (NCH) (MM)	ABERTURA REAL (MM)	TIPO DE SUELO
3"	80	76.12	GRAVA
2"	50	50.8	
1 1/2"	40	38.1	
1"	25	25.4	
3/4"	20	19.05	
3/8"	10	9.52	
No. 4	5	4.76	ARENA GRUESA
No. 10	2	2	ARENA MEDIA
No. 20	0.9	0.84	
No. 40	0.5	0.42	
No. 60	0.3	0.25	ARENA FINA
No. 140	0.1	0.105	
No. 200	0.08	0.074	

6.1.2 Equipo necesario

1. Un juego de tamices normalizados, según la tabla anterior.
2. Máquina tamizadora.
3. Balanza de 20kg de capacidad y aproximación de 1g o una de 35lb de capacidad y aproximación de 0.01lb.
4. Martillo, formón, cepillo, taras metálicas.

Figura 38. Juego de tamices y máquina tamizadora



(a)

(b)

6.1.3. Procedimiento

6.1.3.1 Con lavado

1. Obtener una muestra representativa del suelo (mayor a 500g, pero muestras mayores son estadísticamente más representativas), colocar en el horno para que el contenido de humedad que exista desaparezca.
2. Sacar la muestra del horno y colocarlo en el tamiz No. 200 de lavado, lavar cuidadosamente el material a través del tamiz utilizando agua común hasta que el agua que pasa a través del tamiz mantenga los daños en el tamiz y la pérdida de suelo que eventualmente pueda salpicar fuera del tamiz.
3. Verter cuidadosamente el residuo, con ayuda de agua en un recipiente de secado y permitir por un periodo de tiempo suficiente hasta lograr que el agua en la parte superficial de la suspensión se vuelva transparente.

4. Al día siguiente, pesar el residuo secado al horno (PESO BRUTO SECO). Hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices que varíen desde los diámetros mayores hasta los diámetros inferiores en un agitador eléctrico automático. Como el objetivo de la práctica es lograr una curva semilogarítmica del porcentaje de material más fino contra el tamaño de las partículas, será necesario obtener una distribución razonable de puntos a lo largo del rango potencial de diámetros presentes en la muestra.
5. Retinar la serie de tamices del agitador mecánico y obtener el peso del material que quedo retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos y comparar el total con el peso obtenido en el paso No. 4. Esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado mecánico. Si se tiene una pérdida más del dos por ciento con respecto al peso original se considera no satisfactorio.
6. Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original obtenido en paso uno, esto es válido ya que el material que haya pasado a través del tamiz No. 200 pasaría cualquier otro por encima del mismo en la serie.
7. Calcular el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino), comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulado.
8. Trazar la curva granulométrica, colocando en el eje de las abscisas en escala semilogarítmica el diámetro en milímetros y en el eje de las ordenadas en escala aritmética el porcentaje que pasa.

4.1.3.2 Sin lavado

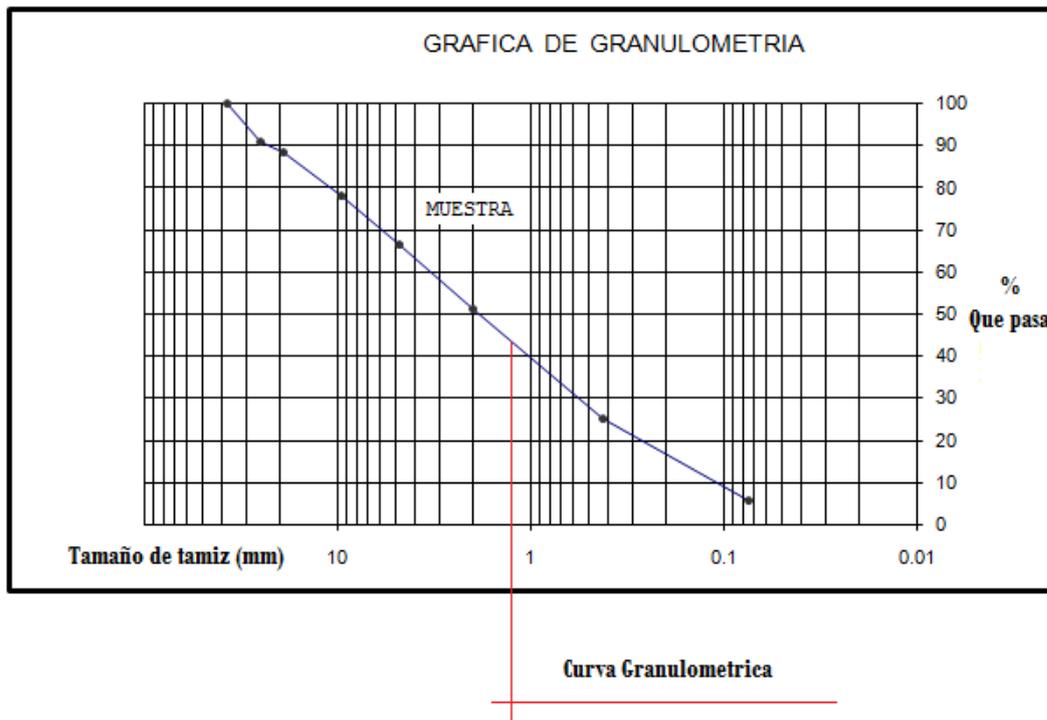
Se realiza cuando las partículas finas no son predominantes arcillosas.

1. Este procedimiento obedece a muestras que contengan una cantidad considerable de gravas y muy pocos finos; dichas muestras deben ser mayores

a 500g. Colocar en el horno para que el contenido de humedad que exista desaparezca.

2. Al día siguiente, pesar el residuo secado al horno (PESO BRUTO SECO). Hacer pasar la muestra a través de una serie de tamices que varíen desde los diámetros mayores hasta los diámetros inferiores en un agitador eléctrico automático. Como el objetivo de la práctica es lograr una curva semilogarítmica del porcentaje que pasa contra el tamaño de las partículas, será necesario obtener una distribución razonable de puntos a lo largo del rango potencial de diámetros presentes en la muestra.
3. Retirar la serie de tamices del agitador mecánico y obtener el peso del material que quedo retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos y comparar el total con el peso obtenido en el paso No. 2. Esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado mecánico. Si se tiene una pérdida más del dos por ciento con respecto al peso original se considera no satisfactorio.
4. Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original obtenido en el paso No. 1, esto es válido ya que el material que haya pasado a través del tamiz No. 200 pasaría cualquier otro por encima del mismo en la serie.
9. Calcular el porcentaje que pasa (ó el porcentaje más fino) comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulado.
5. Trazar la curva granulométrica, colocando en el eje de las abscisas en escala semilogarítmica el diámetro en milímetros y en el eje de las ordenadas en escala aritmética el porcentaje que pasa.

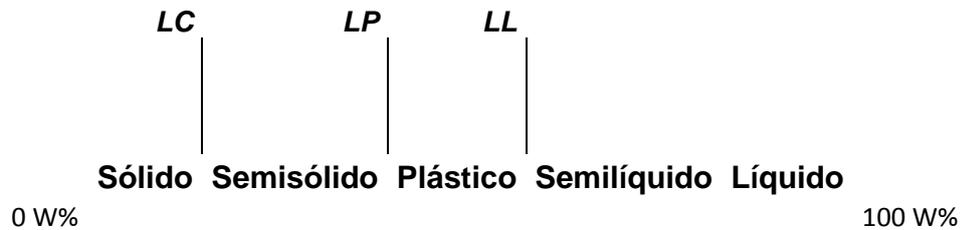
Figura 39. Curva granulométrica



6.2 Límites de consistencia de Atterberg

Los límites de consistencia de Atterberg son propiedades de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo. Atterberg dividió y considero tres límites o estados de consistencia: el límite de contracción que es la frontera convencional entre el estado sólido y semisólido, el límite plástico que es la frontera entre los estados semisólido y plástico; y el límite líquido que se define como la frontera entre el estado plástico y semilíquido. Este último también se denomina como la frontera entre el estado plástico y líquido.

Figura 40. Límites de consistencia de Atterberg



La consistencia es el grado de cohesión que tienen las partículas de los suelos arcillosos, estos pueden tener diferentes grados de cohesión dependiendo de la cantidad de agua que contengan, esto da lugar a los estados estables como las de un ladrillo, con plasticidad nula y estas mismas partículas con un gran contenido de agua pueden presentar las propiedades de un lodo semilíquido o inclusive, las de una suspensión líquida.

Debido a lo anterior podemos decir que los Límites de consistencia de Atterberg, se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

6.2.1 Límite líquido (L.L.)

AASHTO T 89: *Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils*

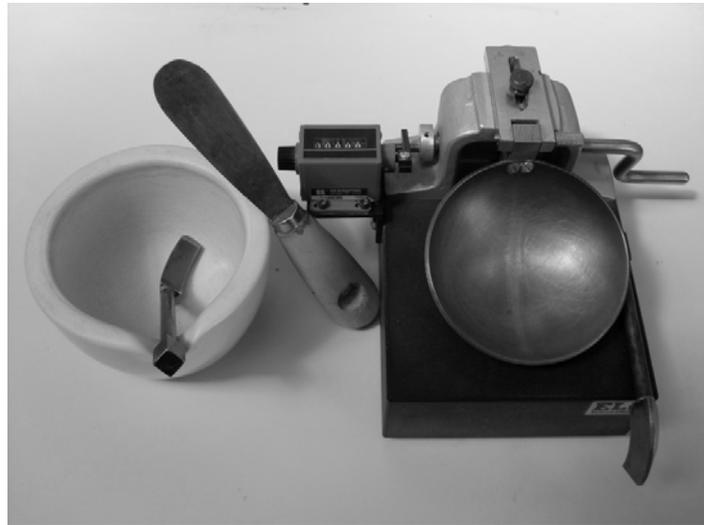
ASTM D423-66: *Method of Test for Liquid Limit of Soils*

6.2.1.1 Descripción del Ensayo

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentre entre el estado plástico para luego pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión. Puesto que no existe una separación muy clara entre los estados de consistencia semilíquido, plástico y semisólido, se ha ideado el procedimiento estándar para la determinación de este límite; el cual se denomina “método mecánico” el que ideó Casagrande y también denominado “Copa de Casagrande”.

El dispositivo o aparato diseñado por Arthur Casagrande, ha eliminado en su mayoría la influencia del factor personal en dicha prueba, el cual es una copa esférica con un radio interior de 54mm, espesor de dos milímetros y peso de 200.20g incluyendo el tacón los cuales giran en torno a un eje fijo unido a la base. El límite líquido puede utilizarse para estimar asentamiento en problemas de consolidación y en conjunto con el límite plástico algunas veces pueden predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

Figura 41. **Copa de Casagrande**



Así que el límite líquido (L.L.), podría definirse como el “contenido de agua que permite cerrar la ranura típica con 25 golpes en la Copa de Casagrande”. Para llevar a cabo la prueba con este dispositivo, se determina el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hecha en la muestra del suelo, con tres o más diferentes contenidos de agua.

Para controlar la velocidad de golpeado de la copa, se debe rotar la manivela a una velocidad aproximada de 120 revoluciones por minuto o sea a una tasa de 120 golpes por minuto. La norma ASTM para esta prueba estipula el uso de agua destilada para la preparación de la muestra. Sin embargo, la mayoría de los laboratorios utilizan el agua común con resultados satisfactorios.

6.2.1.2 Equipo necesario

1. Copa de Casagrande (ASTM D4318), copa esférica con un radio interior de 54mm, espesor de 2mm y peso de 200.20g incluyendo el tacón, los cuales giran en torno a un eje fijo unido a la base.

2. Ranurador, combinación de acanalador y calibre; con borde contrario al acanalador de 1cm^2 .
3. Tamiz No. 40.
4. Cazuela de porcelana, apisonador y taras para muestras de contenido de humedad.
5. Balanza que pueda pesar con 0.01g de aproximación.
6. Espátula con hoja flexible de aproximadamente 75mm de largo y 20 mm de ancho.
7. Probeta con una capacidad de 25cm^3 .
8. Horno capaz de mantener temperatura constante de 105°C .

6.2.1.3 Procedimiento

Preparación de la muestra por el método seco

1. Del material que pasa la malla No. 4 se desmenuzan 150g en un mortero, sin llegar a romper los granos.
2. Se pasa el material a través de la malla No. 40, desechando el que queda retenido.
3. Se pone en una cápsula el material que ha pasado por la malla.
4. Se agrega agua, y con una espátula se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa.

Preparación de la muestra por el método húmedo

1. Cuando conviene aplicar este método se sigue el mismo procedimiento que se usa en el análisis granulométrico por vía húmeda, solo que con más tiempo de remojo, con la diferencia de que en vez de utilizar la malla No. 200, se utiliza la No. 40, y que al evaporar el agua del recipiente se deja que el material se seque hasta que tenga la consistencia de una pasta suave, logrado lo cual se

pasa a una capsula. También se puede tamizar primero en seco, apartando lo que pasa tamiz No. 40 y poner a remojar y lavar lo que retiene, uniendo después las dos pastas.

2. De la pasta ya preparada por cualquier de los dos métodos, se aparta una pequeña porción para el ensayo del límite plástico y el resto se utiliza para el ensayo del límite líquido.
3. Colocar la copa de Casagrande sobre una base firme y horizontal; verificando la calibración de la copa. Ajusta la altura de la caída de la copa haciendo girar la manivela hasta que la tasa se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de un centímetro, adosado al ranurador, se verifica que la distancia entre el punto de percusión y la base sea de un centímetro exactamente. De ser necesario se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el ajuste hasta obtener la altura de caída requerida.
4. La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100g y pasar completamente por el tamiz No. 40 (malla de 0.5mm); obtenido de acuerdo a la norma AASHTO T87. Tener en cuenta que si la muestra presenta partículas de mayor tamaño estas deben ser eliminadas.
5. Extraiga por cuarteo, una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensayo de 160g de material. Se procede a agregar agua cuando sea necesario, revolver la muestra hasta obtener una pasta semilíquida homogénea.
6. Dejar un tiempo de curado para que la fase líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El límite líquido, se determina considerando que el suelo remoldeado a la humedad del límite líquido, tiene una pequeña resistencia al corte de aproximadamente 0.02kg/cm^2 ; de tal modo que la muestra remoldeada necesita 25 golpes para cerrar dos secciones de una pasta de suelo de dimensiones especiales por norma.
7. Reincorporar el material sobrante a la cazuela de porcelana y usando el ranurador, separar la mezcla depositada en la copa de la máquina en dos

mitades según el eje de simetría de la copa; quedando una ranura de un centímetro a lo largo de 13mm aproximadamente. Para una arcilla el surco se puede hacer de una sola vez, los limos es recomendable realizarlo de dos a tres pasadas suaves antes de completarlo.

8. Girar la manivela levantando y dejando caer la copa desde una altura de un centímetro a razón de dos golpes por segundo hasta que las paredes del surco sufran un cierre de un centímetro después de 25 golpes. Si el cierre del surco es irregular, descártelo.
9. Retirar a aproximadamente 10g de material que se junta en el fondo del surco, en un recipiente ya pesado con anterioridad depositar el material extraído y determinar su humedad (%H). Transferir el material sobrante desde la copa hasta la cazuela, donde se tiene el total de la mezcla homogénea. Limpiar y secar la copa de la maquina y el ranurador.
10. Repetir todo el ensayo, con el mismo material, por lo menos dos pruebas adicionales y así tener suficiente información para formar el grafico con una abscisa semilogaritmica, en la cual se ubicará el número de golpes; y en la ordenada una escala aritmética donde se ubica el porcentaje de humedad (%H).
11. Los puntos obtenidos tienden a alinearse sobre una recta, lo que permite la determinación de la ordenada para la abscisa $N=25$ golpes. Y este porcentaje de humedad se denomina como Límite Líquido.
12. Como alternativa para determinar el contenido de humedad correspondientes al límite líquido, se pueden utilizar los datos de la siguiente tabla en donde se requiere el número de golpes N para determinar el valor K ; el cual debe ser multiplicado por la humedad correspondiente determinada en laboratorio.

Tabla V. Valores de K para diferente número de golpes

N	K	N	K
15	0.9401	26	1.0048
16	0.9474	27	1.0094
17	0.9544	28	1.0138
18	0.961	29	0.0181
19	0.9673	30	0.0223
20	0.9734	31	1.0264
21	0.9791	32	1.0303
22	0.9847	33	1.0342
23	0.99	34	10,379
24	0.9951	35	1.0416
25	1	36	1.0451

6.2.2 Límite plástico (L.P.)

AASHTO T-90: *Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*

ASTM D424-54: *Standard Method of Test for Plastic Limit*

6.2.2.1 Descripción del Ensayo

El Límite plástico está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico; en el estado semisólido el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado y en el estado plástico el suelo se comporta plásticamente. Arbitrariamente, también se define como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o se agrieta, cuando se enrolla a un diámetro aproximado de tres milímetros (1/8plg), al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

Esta prueba es muy subjetiva (depende del laboratorista), a comparación del ensayo del límite líquido, pues la definición del agrietamiento del cilindro de suelo así como el diámetro de tres milímetros están sujetos a la interpretación del operador. El diámetro del cilindro de suelo puede establecerse por comparación con un alambre común o de soldadura del mismo diámetro. Con la práctica, se encuentra que los valores del límite plástico pueden producirse sobre el mismo suelo por parte de diferentes laboratorios dentro de un rango del uno al tres por ciento.

6.2.2.2 Equipo necesario

1. Plato de evaporación de porcelana, con un diámetro de aproximadamente 120mm.
2. Espátula con una hoja flexible de aproximadamente 75mm de largo y 20mm de ancho.
3. Placa de vidrio esmerilado de 20X20cm, aproximadamente.
4. Cazuela para secado.
5. Recipientes para muestra de contenido de humedad.
6. Balanza con precisión de 0.01g.
7. Probeta con una capacidad de 25cm³.
8. Horno capaz de mantener la temperatura constante de 105°C.
9. Patrón de comparación, alambre o plástico de 3mm.
10. Tamiz No. 40.

6.2.2.3 Procedimiento

1. Principalmente se necesita una muestra de aproximadamente 20g, pasado completamente por el tamiz No. 40.
2. Tomar la muestra, colocar el plato de evaporación y mezclar completamente el agua destilada, mediante la espátula hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.
3. Curar la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.
4. Tomar una porción de la muestra de ensayo acondicionada, de aproximadamente 1cm³.
5. Amasar la muestra entre las manos y luego hacerla rodar con la palma de la mano sobre la placa de vidrio hasta conformar un cilindro de 3mm. de diámetro aproximadamente, conformar dicho cilindro solo con el peso de la mano.
6. Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente 3mm, doblar, amasar nuevamente y volver a conformar el cilindro.
7. Repetir la operación hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente 3mm, en trozos de orden de 0.5 a 1cm de largo y no pueda ser reamasado, ni reconstruido.
8. Repetir las etapas anteriores con dos opciones más de la muestra de ensayo, hasta obtener un número considerable de cilindros (de 15 a 20).
9. Reunir las fracciones del cilindro disgregado y colocarlas en un recipiente (tarro), para determinar y registrar su humedad la cual será el porcentaje de humedad que corresponde al límite plástico.
10. La falla o agrietamiento del cilindro se puede definir de las siguientes maneras; simplemente por separación en pequeños pedazos, por desprendimiento de escamas de forma tubular desde dentro hacia fuera del cilindro del suelo, o por pedazos en forma de barril de 6 a 8cm de largo.

Figura 42. Amasado del material (Cilindro)



(a)



(b)

6.2.3 Índices de consistencia

De los ensayos de los límites de consistencia de Atterberg y del gráfico del Límite Líquido (% de humedad vs número de golpes), se pueden determinar varios índices de suma importancia en la clasificación de los suelos, dentro de los cuales se encuentran: Índice de plasticidad e índice de grupo.

6.2.2.1 Índice de plasticidad

Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido (L.L.) y el Límite plástico. El cual representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la calidad y tipo de arcilla presente en la muestra, sin

embargo el índice de plasticidad depende generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo.

$$IP = LL - LP$$

Tabla VI. **Clasificación de los suelos según su índice de plasticidad (IP)**

Si IP=0	Si no es posible determinar uno de los dos Límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como NO PLÁSTICO (NP)
Si IP<7	El suelo tiene una baja plasticidad
Si 7<IP<17	El suelo es medianamente plástico
Si IP>17	Suelo altamente plástico

6.2.2.2 Índice de grupo

Todos los suelos que tienen un comportamiento similar se encuentran ubicados dentro de un mismo grupo y representados por un índice que es el llamado Índice de grupo.

Tabla VII. **Variación de índices de grupo**

SUELO	ÍNDICE DE GRUPO
Granulares	De 0 a 4
Limosos	De 8 a 12
Arcillosos	De 11 a 20

De donde se ve que cuanto más alto es el valor del índice de grupo, peor es la calidad del material. Es por ello que, en varios métodos, para diseñar espesores de pavimentos, “a mayor índice de grupo, corresponde mayor espesor”.

Para un suelo, la indicación del índice de grupo se realiza, encerrando su índice dentro de un paréntesis. Por ejemplo A-2-5 (2), expresa que el suelo A-2-5 tiene un índice de grupo de 2, por tanto sería un suelo granular. Corrientemente se utiliza como fórmula empírica para obtener el índice de grupo un suelo la siguiente fórmula:

$$IG=0.2a+0.005ac+0.01bd$$

Donde:

a=Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200, comprendido entre 35 como mínimo y 75 como máximo. Si el porcentaje que pasa, es mayor de 75 se tomara 75, pero si es menor que 35 se anotará 0. Luego el valor de a se expresa como un número positivo entre 0 y 40.

b=Al porcentaje del material que pasa el tamiz No. 200, comprendido entre 15 como mínimo y 55 como máximo. Si el porcentaje que pasa, es mayor de 55 se tomara 55, pero si es menor que 15 se anotará 0. El valor de b se expresará siempre como un número positivo entre los valores 0 y 40.

c=El valor del límite líquido, comprendido entre 40 como mínimo y 60 como máximo. Si el límite líquido es mayor de 60, solo se tomara 60 y si es menor de 40 se anotará 0. El valor de c se expresará siempre como un número positivo entre los valores de 0 y 20.

d=El valor de índice de plasticidad, comprendido entre 10 como mínimo y 30 como máximo. Si el índice de plasticidad es mayor de 30, se tomara 30, y si es

menor de 10 se anotará 0. El valor de d se expresará siempre como un número positivo entre los valores de 0 y 20.

6.3 Clasificación de los suelos

En la construcción de carreteras, la clasificación de los suelos y el conocimiento del mismo es un aspecto muy importante ya que es, finalmente, el suelo el que soporta las cargas que han de ser aplicadas y de su calidad pueden derivarse parámetros de diseño que influyen en el proyecto final; desde los albores del conocimiento y desarrollo en el área de la Mecánica de Suelos, se ha tratado de buscar una forma de clasificar el suelo, los métodos más simples que se han usado se han caracterizado por usar parámetros de tipo físico: forma y tamaño de las partículas, para clasificar los suelos.

En la naturaleza de los suelos, rara vez, se encuentran en proporciones separadas de material gravoso, arenoso, limoso, arcilloso y orgánico sino que, generalmente, se encuentran en forma de mezclas con proporciones variables.

La clasificación de los suelos, consiste, en incluir un suelo en un grupo que representa un comportamiento semejante. Para la valoración de los suelos y por conveniencias de su aplicación, se hace necesario considerar SISTEMAS o MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

Cada uno de los métodos orientados a la clasificación de los suelos, tiene prácticamente su campo de aplicación según la necesidad y uso que las haya fundamentado. En nuestro medio se utilizan los siguientes métodos: el sistema de clasificación de suelos AASHTO (*American Association of State High-way and Transportation Officials*) y el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos SUCS o USCS (*Unified Soil Classification System*) también llamado sistema de clasificación ASTM.

6.3.1 Sistema de clasificación AASHTO

Está destinada principalmente a la clasificación de los suelos de acuerdo a la adaptabilidad para ser utilizados en la construcción de pavimentos de carreteras y caminos. Teniendo en cuenta que no se utiliza para la construcción de cimentaciones.

El sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos principales; desde A-1 hasta A-7, basado en el tamaño del grano (análisis granulométrico), en la plasticidad (Límites de consistencia de Atterberg). Para evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo (IG).

1. MATERIALES GRANULARES

GRUPO A-1: Mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina y un aglomerante no plástico o poco plástico.

GRUPO A-1-a: Materiales que están formados principalmente, de fragmentos de piedra o grava con o sin un aglomerante fino bien graduado.

GRUPO A-1-b: Materiales que estén formados de arena gruesa con aglomerantes bien graduado o sin él.

GRUPO A-2: Materiales que contienen hasta un 35% del material que pasa la malla No. 200 y que pueden clasificarse en los grupo A-1 y A-3, por sobrepasar las limitaciones de dichos grupos , debido a un exceso en la proporción de finos, en la plasticidad o en ambas.

SUB-GRUPO A-2-4 y A-2-5: Además de sobrepasar en un 35% de la malla No. 200; en la fracción que pasa por la malla No. 40 tiene características de los grupo A-4 y A-5. Quedan incluidos los materiales como gravas y arenas gruesas, con un porción de limo o un índice de plasticidad mayor a la limitación del grupo A-1 y arenas finas que contienen limo no plástico en cantidad superior a las limitaciones del grupo A-3.

SUB-GRUPO A-2-6 y A-2-7: Materiales similares a los de los grupos A-2-4 y A-2-5, con la diferencia de que el material fino contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7.

2. MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS

GRUPO A-4: Suelos limosos sin plasticidad o poco plástico, que tienen más del 75% de sus partículas pasando por la malla No. 200. También incluye este grupo a mezclas de limo fino y hasta un 64% de arenas y gravas que carecen de la fracción que pasa de la malla No. 200.

GRUPO A-5: Materiales similares al grupo anterior, pero con la diferencia que son del tipo diatomáceo o micáceo. Estos suelos pueden ser muy elásticos según se refleja por su alto límite líquido.

GRUPO A-6: Arcillas plásticas que tienen el 75% o más del material pasado de la malla No. 200. Incluye también mezclas de suelo arcilloso fino hasta con un 64% de grava y arena que carecen de la fracción que pasa de la malla No. 200.

GRUPO A-7: Materiales similares al grupo anterior, exceptuando que estos suelos tienen el límite líquido muy lato como es característico de los

suelos del grupo A-5. Pueden ser elásticos y están sujetos a grandes cambios de volumen, estos suelos tienen un índice de grupo que varía de uno a 20.

SUB-GRUPO A-7-5: Materiales con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido, los cuales pueden ser muy elásticos y están sujetos a grandes cambios de volumen.

SUB-GRUPO A-7-6: Materiales que tienen un índice plástico muy alto con relación a su límite líquido y que están sujetos a extremos cambios de volumen con los cambios de humedad.

La clasificación AASHTO, describe propiedades de los suelos descritos anteriormente y donde además se muestran algunas recomendaciones para el uso adecuado en carreteras:

- a. **Tamaño de grano:** Se distinguen tres tamaños principales: grava, arena y finos (limo y arcilla).
- b. **Plasticidad:** El término limo es aplicado a aquellas fracciones finas donde el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, el término arcillosos a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.
- c. **Índice de grupo (IG):** El índice de grupo se determina a través de la evaluación en cada grupo mediante el cálculo de la fórmula empírica:

$$IG = ((F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]) + (0.01(F_{200} - 15)(IP - 10))$$

Donde:

F_{200} = Porcentaje que pasa la malla No. 200, expresado como un número entero.

LL= Límite líquido.

IP= Índice de plasticidad.

Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupo A-2-6 y A-2-7, se debe de usar la ecuación del índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad.

$$IG=0.01((F_{200}-15)(IP-10))$$

Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar cero. Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 solo con una inspección visual generalmente, es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.

Tabla VIII. Sistema de clasificación AASHTO

GRUPO SUB-GRUPO	SUELOS GRANULARES: 35% ó MENOS PASA MALLA No. 200						SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS: MAS DE 35% PASA MALLA No. 200					
	A-1		A-3		A-2		A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*	A-7-6*	
Porcentaje de material que pasa el tamiz												
No. 10	50max											
No. 40	30max	51min										
No. 200	15max	30max	35max	35max	35max	35max	36min	36min	36min	36min		36min
Plasticidad Pasa la malla No. 40												
LL												
IP	6max	NP	40max	41min	40max	41 min	40max	41min	40max	41min	41min	11 min
Indice de Grupo	0	0	10max	10max	11min	11min	10max	10max	11min	10max	11min	20max
Materiales Constructivos	Piedra grava y Arena	Arena Fina	Grava y/o Arena	Grava y/o Arena Limosa	Arcilla arcillosa	Grava y/o Arcilla arcillosa	Suelos Limosos	Suelos Limosos	Suelos Limosos	Suelos Arcillosos	Suelos Arcillosos	
Calidad (Subrasante)	Excelente a Buena						Regular a Mala					

* A-7-5: IP menor o igual a LL-30

*A-7-6: IP mayor que LL-30

Tabla IX. Propiedades de los suelos de acuerdo a la clasificación AASHTO

CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
MARGEN DE DENSIDAD MÁXIMA (T/M³)	1.9 a 2.3	1.8 a 2.1	1.4 a 1.8	1.7 a 2.0	1.4 a 1.7	1.6 a 2.0	1.4 a 1.9
MARGEN DE CBR (%)	30	10 a 30	5.0 a 15	5.0 a 15	2.0 a 10	2.0 a 10	2.0 a 6.0
PESO RELATIVO	2.7	*	2.65	2.65	2.7	2.75	2.8

* Cambia en función de los finos de A-4.

6.3.2 Sistema de clasificación unificada SUCS o USCS

La forma original del sistema de clasificación de suelos fue desarrollada por Arthur Casagrande en el año 1,942, como una herramienta para ser usada en las construcciones diseñadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial.

La clasificación se basa en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño de grano, según esta última, el sistema divide el suelo en dos grandes categorías:

1. SUELOS DE GRANO GRUESO (GRANULARES)

Son aquellos materiales en los cuales el porcentaje retenido en la malla No. 200 es superior al 50%. Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava, son suelos donde la distribución del tamaño y la forma de los granos influye notablemente en las propiedades físico-mecánicas del suelo. El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de

los nombres inglés de los suelos más típicos de ese grupo. El significado se especifica a continuación:

G: Del término inglés Gravel, fracción de suelo más grueso o tamaño grava.

S: Del término inglés Sand, fracción del suelo con tamaño de grano comprendido entre la malla No. 4 y malla No. 200.

Las gravas y arenas se separan por la malla No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su gradación gruesa (retenida en la malla No. 200) no pasa por la malla No. 40 y es del grupo genérico S, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se subdividen en cuatro tipos:

a. Materiales prácticamente limpios de finos, bien gradados:

W: Del término inglés Well, buena gradación del suelo, o sea que dentro de la masa de suelo hay predominio de un tamaño de grano. En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.

b. Materiales prácticamente limpios de finos, bien gradados:

P: Del término inglés Poorly, mala gradación. Significa que dentro de la masa de suelo hay variedad en el tamaño de grano, aunque haya predominio de uno de ellos. Da lugar a los grupos GP y SP.

c. Materiales con cantidad apreciable de finos no plásticos:

M: Del término sueco Mo, fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja. Da lugar a los grupos GM y SM.

d. Materiales con cantidad apreciable de finos no plásticos:

C: Del término inglés Clay, fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad, da lugar a los grupos GS y SC.

2. SUELOS DE GRANO FINO

También en este caso el sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos y dando lugar a las siguientes divisiones:

a. Limos inorgánicos:

M: Del término sueco Mo, fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad o de tener, es muy baja.

b. Limos orgánicos:

C: Del término inglés Clay, fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad.

c. Limos y arcillas orgánicas:

O: Del término inglés Organic, define a los suelos como no aptos para la ingeniería. Dentro de los cuales se encuentra la Turba.

L: Del término inglés Low, suelos con baja plasticidad, son aquellos donde $LL < 50$. Obteniéndose de esta combinación los grupos ML, CL y OL.

En la siguiente tabla se presentan los factores a considerar en la clasificación de un suelo de acuerdo con el Sistema Unificados de Clasificación de Suelos SUCS o USCS.

1. Gravas y arenas son: GW, GP, SW o SP, si es menos del cinco por ciento del material que pasa a través del tamiz No. 200; la designación bien graduada o grada depende de los valores característicos para Cu y Cc. (Coeficiente de uniformidad y Coeficiente de curvatura)
2. Gravas y arenas son: GM, GC, SM o SC, si mas del 12% del material que pasa a través del tamiz No. 200; la designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los Límites líquidos y plásticos de la fracción menor al tamiz No. 40 y utilizando los criterios de plasticidad.
3. Las gravas y las arenas se pueden clasificar así:

GW-GC	SW-SC	GP-GC	GP-SC
GW-GM	SW-SM	GP-GM	SP-SM

Si entre 5 y 12% del material pasa a través del tamiz No. 200

4. Los suelos de grano fino (más del 50% pasa del tamiz No. 200) son ML, OL o CL. Si los límites líquidos son menores que 50%.
5. Los suelos de grano fino son: MH, OH o CH, si los Límites líquidos son superiores a 50%. Los límites líquidos y plásticos se ejecutan sobre material correspondiente a la fracción menor del tamiz No. 40 de todos los suelos, incluyendo gravas, arenas y suelos finos, utilizando en la ejecución los procedimientos del ensayo del límite líquido y plástico.

Tabla X. Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS o USCS

DIVISIONES MAYORES		SIMBOLO DE GRUPO		NOMBRES TIPICO	CRITERIOS DE CLASIFICACION PARA SUELOS GRANULARES		
SUELOS DE GRANO GRUESO SI MENOS DEL 50% DEL MATERIAL PASA EL TAMIZ No. 200	Gravas (Si menos del 50% de la fricción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	Gravas limpias (pocos o ningún fino)	GW		Gravas bien gradadas, mezclas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} * D_{60} < 3$	
			GP		Gravas pobremente gradadas, mezclas grava-arena, pocos o ningún fino		No cumplir todos los requisitos de gradación para GW
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	d/u	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP < 4$ Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP > 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 < IP < 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			GC		Gravas arcillosas, mezclas gravo-arena-arcillosas		
		Arenas (Si más del 50% de la fricción gruesa pasa por el tamiz No. 4)	Arenas limpias (pocos o ningún fino)	SW		Arena bien gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = 1 < D_{30}^2/D_{10} * D_{60} < 3$
				SP		Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas, pocos o ningún fino	
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)		SM	d/u	Arenas limosas, mezclas arena-limo	Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP < 4$ Límites de Atterberg por debajo de la línea A o $IP > 4$	A los materiales sobre la línea A con $4 \leq IP \leq 7$ se considera de frontera y se les asigna doble símbolo
			SC		Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla		

SUELOS DE GRANO FINO SI MAS DEL 50% DEL MATERIAL PASA EL TAMIZ No. 200			
Limos y arcillas (Limite liquido LL<50)	ML	Limos inorgánicos y arena muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas, o limos arcillosos con poca plasticidad	<p>1. Determinar el porcentaje de arenas y gravas de la curva de granulometría.</p> <p>2. Dependiendo del porcentaje de fino (fracción menor que el tamiz NO. 200 los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos del 5% - GW, GP, SW, SP Mas del 12% - GM, GC, SM, SC De 5 a 12% - Casos de frontera que requieren doble simbolo</p>
	CL	Arcilla inorgánicas de plasticidad baja a media, arcilla gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras	
	OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
Limos y arcillas (Limite liquido LL>50)	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos	
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas	
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos	
	FI	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

Para tener una idea más clara de las similitudes entre ambos sistema de clasificación de los suelos, en la siguiente tabla se presenta una comparación entre los grupos de suelos clasificados por el Sistema AASHTO y SUCS o USCS

Tabla XI. **Relación aproximada entre la clasificación de suelos AASHTO y SUCS o USCS**

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS o USCS
A-1	
A-1-a	GW, GP, GM
A-1-b	SW, SM
A-2	
A-2-4	GM, SM
A-2-5	GM, SM
A-2-6	GC, SC
A-2-7	GC, SC
A-3	SP
A-4	ML, OL
A-5	MH
A-6	CL
A-7	
A-7-5	CL, OL
A-7-6	CH, OH

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Realizados los ensayos respectivos aplicando el método de la arena y las mediciones utilizando el densímetro nuclear, de acuerdo a los requerimientos de las normas, a continuación se presentan los resultados obtenidos, los cuales fueron tomados de los informes generales de resultados, encontrados en el apéndice B.

7.1 Promedio y desviación estándar de resultados obtenidos

Tabla XII. Promedio y desviación estándar de resultados

INFORME No E-024-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO AASHTO T-180
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS, Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
RESULTADOS CAPA SUB-BASE		RESULTADOS CAPA BASE		RESULTADOS CAPA SUB-BASE		RESULTADOS CAPA BASE	
COMPACTACIÓN %	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACIÓN %	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACIÓN %	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACIÓN %	HUMEDAD CONTENIDA %
100.00	7.30	100.00	7.40	99.20	8.70	97.40	7.20
99.70	8.50	100.00	7.70	96.90	8.90	100.00	7.50
100.00	9.10	100.00	6.70	94.60	9.50	100.00	7.20
97.30	8.30	100.00	8.80	95.20	8.90	99.60	7.20
100.00	9.30	100.00	8.20	97.60	8.90	100.00	8.20
100.00	9.10	100.00	7.80	97.30	8.40	100.00	7.40
99.30	9.70	100.00	9.30	94.90	9.30	96.90	6.60
100.00	8.30	100.00	8.20	100.00	8.70	99.70	7.90
100.00	7.40	100.00	8.20	93.80	9.90	99.60	7.20
100.00	9.00	100.00	8.40	99.60	9.10	100.00	8.30

Promedio	99.63	8.60	100.00	8.07	96.91	9.03	7.47
Desviación Estandar	0.85	0.79	0.00	0.73	2.23	0.44	0.52

Véase figuras 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89 y 90 apéndice A

7.2 Informes resumen de resultados obtenidos

7.2.1 Capa sub-base

INFORME No. E-016-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
	RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1 Sub-base 64+100 Lado izquierdo	6.8	7.3	100.0	100.0	8.2	8.7	98.3	99.2
2 Sub-base 64+100 Lado izquierdo	7.0	7.3	100.0	100.0	8.8	8.7	100.0	99.2
3 Sub-base 64+100 Lado izquierdo	8.2	7.3	100.0	100.0	9.2	8.7	99.2	99.2
4 Sub-base 64+060 Lado izquierdo	6.0	8.5	100.0	100.0	8.3	8.9	97.7	96.9
5 Sub-base 64+060 Lado izquierdo	9.6	8.5	100.0	99.7	9.3	8.9	97.8	96.9
6 Sub-base 64+060 Lado izquierdo	9.8	9.1	99.1	99.1	9.2	9.5	95.3	94.6
7 Sub-base 64+020 Lado izquierdo	9.2	9.1	100.0	100.0	10.0	9.5	93.7	94.6
8 Sub-base 64+020 Lado izquierdo	9.2	9.1	100.0	100.0	9.5	9.5	95.1	94.6
9 Sub-base 64+020 Lado izquierdo	8.8	9.1	100.0	100.0	9.0	9.5	94.9	94.6

Véase figuras 43, 44, 45, 46, 47 y 48 apéndice A

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
	RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1 Sub-base 63+980 Lado derecho	8.8		92.0		8.9		96.0	
2 Sub-base 63+980 Lado derecho	8.6	8.3	100.0	97.3	9.0	8.9	92.0	95.2
3 Sub-base 63+980 Lado derecho	7.6		100.0		8.8		97.5	
4 Sub-base 63+940 Lado derecho	10.0		100.0		10.1		96.0	
5 Sub-base 63+940 Lado derecho	9.8	9.3	100.0	100.0	8.2	8.9	98.6	97.6
6 Sub-base 63+940 Lado derecho	8.0		100.0		8.4		98.2	
7 Sub-base 63+900 Lado derecho	9.0		100.0		8.6		97.9	
8 Sub-base 63+900 Lado derecho	8.6	9.1	100.0	100.0	7.9	8.4	97.4	97.3
9 Sub-base 63+900 Lado derecho	9.8		100.0		8.6		96.7	

Véase figuras 49, 50, 51, 52, 53 y 54 apéndice A

INFORME No E-018-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA						DENSÍMETRO NUCLEAR				
	RESULTADOS DE CAMPO						RESULTADOS DE CAMPO				
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %
1 Sub-base 63+860 Lado izquierdo	9.4	9.7	97.8	99.3	9.2	9.3	93.8	94.9	9.2	9.3	93.8
2 Sub-base 63+860 Lado izquierdo	10.0	9.7	100.0	99.3	9.3	9.3	94.9	94.9	9.3	9.3	94.9
3 Sub-base 63+860 Lado izquierdo	9.8	9.7	100.0	99.3	9.4	9.3	96.0	94.9	9.4	9.3	96.0
4 Sub-base 63+820 Lado Derecho	8.0	8.3	100.0	100.0	8.1	8.8	100.0	100.0	8.1	8.8	100.0
5 Sub-base 63+820 Lado Derecho	8.6	8.3	100.0	100.0	8.8	8.8	100.0	100.0	8.8	8.7	100.0
6 Sub-base 63+820 Lado Derecho	8.2	8.3	99.9	100.0	9.1	9.1	100.0	100.0	9.1	9.1	100.0
7 Sub-base 63+780 Lado izquierdo	7.6	7.4	100.0	100.0	9.6	9.6	93.8	93.8	9.6	9.6	93.8
8 Sub-base 63+780 Lado izquierdo	7.2	7.4	100.0	100.0	9.7	9.7	94.2	94.2	9.7	9.7	94.2
9 Sub-base 63+780 Lado izquierdo	7.4	7.4	100.0	100.0	10.4	10.4	93.5	93.5	10.4	10.4	93.5

Véase figuras 55, 56, 57, 58, 59 y 60 apéndice A

INFORME No E-019-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
	RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1 Sub-base 63+740 Lado derecho	9.2	9.0	100.0	100.0	8.7	9.1	100.0	99.6
2 Sub-base 63+740 Lado derecho	9.0	9.0	100.0	100.0	9.7	9.1	100.0	99.6
3 Sub-base 63+740 Lado derecho	8.8	9.0	100.0	100.0	8.9	9.1	98.8	99.6

Véase figuras 61 y 62 apéndice A

INFORME No E-020-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

7.2.2 Capa base

UBICACIÓN		MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
		RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
		HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1	Base 67+700 Lado izquierdo	7.1	7.4	100.0	100.0	7.0	7.2	97.0	97.4
2	Base 67+700 Lado izquierdo	7.7	7.4	100.0	100.0	7.4	7.2	98.5	97.4
3	Base 67+700 Lado izquierdo	7.5		100.0		7.3		96.8	
4	Base 67+660 Lado izquierdo	7.5		100.0		7.4		100.0	
5	Base 67+660 Lado izquierdo	7.7	7.7	100.0	100.0	7.6	7.5	100.0	100.0
6	Base 67+660 Lado izquierdo	7.8		100.0		7.5		100.0	
7	Base 67+620 Lado izquierdo	6.6		100.0		7.0		100.0	
8	Base 67+620 Lado izquierdo	6.7	6.7	100.0	100.0	7.4	7.2	99.9	100.0
9	Base 67+620 Lado izquierdo	6.9		100.0		7.1		100.0	

I.- RESULTADOS:

Véase figuras 63, 64, 65, 66, 67 y 68 apéndice A

INFORME No E-021-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2.009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
	RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1 Base 67+580 Lado derecho	8.9	8.8	100.0	100.0	7.1	7.2	99.3	99.6
2 Base 67+580 Lado derecho	8.6	8.8	100.0	100.0	7.3	7.2	99.6	99.6
3 Base 67+580 Lado derecho	8.8	8.8	100.0	100.0	7.2	7.2	100.0	100.0
4 Base 67+540 Lado derecho	8.2	8.2	100.0	100.0	8.1	8.2	99.9	100.0
5 Base 67+540 Lado derecho	8.4	8.2	100.0	100.0	8.4	8.2	100.0	100.0
6 Base 67+540 Lado derecho	8.0	8.0	100.0	100.0	8.1	8.1	100.0	100.0
7 Base 67+500 Lado derecho	7.8	7.8	100.0	100.0	7.4	7.4	100.0	100.0
8 Base 67+500 Lado derecho	7.7	7.8	100.0	100.0	7.5	7.4	100.0	100.0
9 Base 67+500 Lado derecho	7.8	7.8	100.0	100.0	7.2	7.2	100.0	100.0

Véase figuras 69, 70, 71, 72, 73 y 74 apéndice A

INFORME No E-022-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
	RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1 Base 67+460 Lado derecho	9.2	9.3	100.0	100.0	6.5	6.6	96.5	96.9
2 Base 67+460 Lado derecho	9.4	9.3	100.0	100.0	7.0	6.6	98.0	96.9
3 Base 67+460 Lado derecho	9.2	9.2	100.0	100.0	6.4	6.4	96.2	
4 Base 67+420 Lado derecho	8.0	8.2	100.0	100.0	7.9	7.9	99.8	
5 Base 67+420 Lado derecho	8.4	8.2	100.0	100.0	8.2	7.9	100.0	99.7
6 Base 67+420 Lado derecho	8.2	8.2	100.0	100.0	7.7	7.7	99.4	
7 Base 67+380 Lado derecho	8.0	8.2	100.0	100.0	7.0	7.2	99.2	99.6
8 Base 67+380 Lado derecho	8.4	8.2	100.0	100.0	7.5	7.2	99.8	99.6
9 Base 67+380 Lado derecho	8.2	8.2	100.0	100.0	7.1	7.1	99.7	

Véase figuras 75, 76, 77, 78, 79 y 80 apéndice A

INFORME No E-023-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2.009
 MUESTRA: MATERIAL BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACIÓN	MÉTODO DE LA ARENA				DENSÍMETRO NUCLEAR			
	RESULTADOS DE CAMPO				RESULTADOS DE CAMPO			
	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %	HUMEDAD CONTENIDA %	HUMEDAD PROMEDIO %	COMPACTACIÓN %	COMPACTACIÓN PROMEDIO %
1 Base 67+340 Lado izquierdo	8.4	100.0	100.0	100.0	8.2	8.3	100.0	100.0
2 Base 67+340 Lado izquierdo	8.2	8.4	100.0	100.0	8.0	8.3	100.0	100.0
3 Base 67+340 Lado izquierdo	8.6	100.0	100.0	100.0	8.6	8.3	100.0	100.0

Véase figuras 81 y 82 apéndice A

7.3 Análisis

Los resultados obtenidos durante la investigación se basan en la determinación de la densidad de campo obtenidos por dos métodos: el método de la arena y la utilización del densímetro nuclear; para posteriormente a través de estos, encontrar el porcentaje de compactación (%) y contenido de humedad (%) aplicados sobre dos capas, las cuales forman parte del pavimento de una carretera. Siendo estas, la capa sub-base para la cual según los análisis de laboratorio se comprobó que es una grava arenosa ligeramente limosa, color grisáceo obtenida del banco San Joaquín, y una capa base la cual indica ser una grava triturada ligeramente limosa, color grisáceo, obtenida del banco río Guacalate, ambas del Municipio de Masagua, departamento de Escuintla.

El objetivo de este estudio es que a través de las pruebas de campo, se determinen comparaciones, diferencias y similitudes entre los resultados obtenidos en ambos métodos, y así mismo establecer sus respectivas características. Con ello poder definir cuál de estos, es el que presenta una menor variación en los resultados, además de establecer cual es el menos trabajoso, pero sobre todo el que presente el menor margen de error al momento de su realización.

El análisis se basó en el ensayo sobre las dos capas antes mencionadas, aplicando sobre cada una de ellas una relación 3:1, es decir que por cada tres pruebas con el método de la arena, se efectuó una medición con el densímetro nuclear, realizándolo en forma de triángulo, con una separación aproximada entre cada densidad de aproximadamente 40m. Sobre cada capa se efectuaron 30 pruebas con el método de la arena, por consiguiente 10 mediciones con el densímetro nuclear, las cuales se realizaron entre los tramos 64+100 a 63+740 para la capa sub-base y 67+700 a 67+340 para la capa base.

Realizado el análisis para ambas muestras se comprobó que la muestra utilizada para la capa sub-base muestra una densidad seca óptima de 123.8lb/ft^3 con un contenido de humedad de 10.0%, y una clasificación general según el sistema AASHTO A - 2 - 4 (-3); y por consiguiente la capa base muestra una densidad seca óptima de 135lb/ft^3 con un contenido de humedad de 7.5%, y una clasificación general A - 3, teniendo en cuenta que la única muestra que mostró plasticidad fue la muestra de la capa sub-base; ya que la muestra de la capa base se mostró como un material no plástico (NP). Véase apéndice C.

Basándonos en los resultados obtenidos sobre la capa sub-base y capa base, se pudo notar que el método que mostró una menor variación en los resultados mostrados; es el método de la arena (según la tabla XI, la cual indica el promedio de las pruebas realizadas con el método de la arena y el densímetro nuclear para ambas capas), ya que indican que para la capa sub-base únicamente 3 resultados no llegaron al 100% de la compactación, mientras tanto siempre en la misma capa, la medición con el densímetro nuclear por el contrario únicamente solo muestra que un resultado obtuvo un 100% de compactación. Mientras tanto en la capa base se observa nuevamente que la menor variación de resultados la obtuvo el método de la arena ya que todos los promedios obtenidos dan como resultado un 100% de la compactación, por el contrario del densímetro nuclear el cual muestra un 50% de resultados con el 100% de la compactación. En ambas capas se muestra una desviación estándar similar para el método de la arena ya que en la capa sub-base se determinó según los resultados que la desviación estándar es de 0.85 y en la capa base debido a que en su totalidad los resultados dieron un 100% de compactación, su desviación estándar es de 0. Mientras tanto con la medición con el densímetro nuclear la desviación estándar varía pronunciadamente ya que se obtuvieron resultados de 2.23 y 1.16, para la capa sub-base y base respectivamente.

Con respecto al porcentaje de humedad contenida (%), en la capa sub-base los resultados indican que con el método de la arena (Speedy) se muestra una desviación estándar de 0.79 y para la capa base una de 0.73, variando notablemente con respecto a los resultados obtenidos con el densímetro nuclear los cuales en la capa sub-base y base muestran una desviación de 0.44 y 0.55 respectivamente.

Dichos resultados muestran que el método de la arena aunque es un procedimiento que conlleva un tiempo más prolongado en comparación de la medición con el densímetro nuclear, (ya que dependiendo del tipo de suelo puede tardar de 30-40min en realizar una prueba, por el contrario el densímetro nuclear tarda aproximadamente 15seg. en la medición de cada densidad), es una prueba más directa y más confiable ya que se interactúa de una mejor manera con el estrato a trabajar, en comparación con el densímetro nuclear en el cual intervienen una innumerable cantidad de factores que hacen que la medición por ocasiones se muestre errónea y con un mayor grado de variación en sus resultados. Dentro de los factores que intervienen para la toma de resultados se pudieron observar los siguientes:

1. Debido al continuo olvido de trabajo sobre el tramo utilizado para dichas pruebas, durante las mismas se observó material suelto, segregaciones, y agujeros, los cuales al momento de la medición producían que los resultados fueran erróneos.
2. La vibración en el lugar de ensayo, ya que impedían que el equipo estuviera en reposo, por tanto provocaban el rebote del mismo, permitiendo que la radiación escapara y de esta manera haciendo que los resultados fueran poco exactos.
3. Cables de tendido eléctrico, los cuales por ser el densímetro un aparato radiactivo afecta notablemente.

4. Estratos demasiados secos, debido a que dicho tramo se encuentra en una zona sumamente calurosa por estar cerca de la costa, los suelos se encuentran sumamente secos, produciendo que el material produzca mas esfuerzo, provocando datos sumamente erróneos.
5. No es recomendable aplicarlo sobre zonas encerradas, ya que debido al rebote de los rayos gamma, estos producen cambios en los resultados.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado, se puede determinar que habiendo realizado las comparaciones respectivas de los resultados obtenidos, podemos definir que el método de la arena aunque es un ensayo más trabajoso, a su vez es el método mas factible, mas directo y lo más importante, es el que presenta el menor margen de variación en los resultados con respecto al densímetro nuclear; el cual muestra la característica de ser utilizado mayormente en aquellos proyectos en los cuales se realiza un gran número de densidades de campo, y los cuales con el método de la arena llevarían un tiempo sumamente prolongado.

Es importante mencionar que en función a las condiciones del terreno evaluado se pudo determinar la factibilidad que presenta sobre este estudio el método de la arena, ya que dicho terreno presentaba factores externos los cuales impedían que el densímetro nuclear, pudiera funcionar de una manera adecuada. Es por tanto que se determina que la factibilidad de un método; ya sea el método de la arena o el densímetro nuclear, estará en función de las condiciones del terreno a ensayar.

7.4 Ventajas y desventajas del método de la arena y la utilización del densímetro nuclear para la determinación de la densidad de campo

Dado que el objetivo principal de este estudio es la determinación de las ventajas y desventajas de ambos métodos según el análisis de procedimientos y resultados obtenidos en campo, a continuación se redactan dichas características. Siendo las siguientes las más significativas:

a. Método de la arena

Tabla XIII. **Ventajas y desventajas método de la arena**

MÉTODO DE LA ARENA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Equipo menos costoso.	Mayor intervención del factor humano.
Su utilización es más versátil y factible.	Mayor lentitud para su desarrollo.
Su procedimiento y medición es de fácil aprendizaje y simple de utilizar.	El equipo requiere una calibración constante.
No se requiere de un técnico especialista el cual posea licencia de uso.	Método destructivo.
No se ve afectado sin importar cuánto tiempo tiene de estar compactado el material.	No se puede desarrollar si interviene la lluvia.
	Se ve influenciado por vibraciones cercanas.

	La equivocación en pesados o cálculos conduce a resultados absurdos.
	Si existe un exceso de humedad, la arena de Ottawa se esponja, adquiriendo una densidad impredecible.
	La suciedad de la arena de Ottawa, lleva a obtener resultados incorrectos.

b. Densímetro nuclear

Tabla XIV. **Ventajas y desventajas utilizando densímetro nuclear**

DENSÍMETRO NUCLEAR	
VENTAJA	DESVENTAJA
Equipo sumamente versátil.	Costo del equipo sumamente elevado.
Resultados rápidos y de mayor exactitud.	No es factible utilizarlo en obras de pequeña magnitud.
Método no destructivo.	Costo de calibración del equipo.

Apoyo en la economía de la empresa.	Perjudica la salud del operario.
No se ve afectado por el viento al momento de su ensayo.	No se puede desarrollar si interviene la lluvia.
Selección del espesor de medición.	No sustentable ambientalmente.
Almacenamiento de datos / compatibilidad con computadora personal.	Se distorsiona la información si el ensayo se realiza en zonas estrechas, angostas o encerradas, debido al rebote de los rayos gamma.
	Resultados dependen de muchos factores de error.
	Se ve influenciado por vibraciones cercanas.

7.5 Presupuesto

Debido a que el presente trabajo de graduación es un estudio teórico-práctico, es necesario determinar la diferencia de costos entre ambos métodos, de manera que se determine el equipo que cubra los menores gastos posibles al momento de la realización de la densidad de campo. Siendo estos los siguientes resultados:

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA
Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO

PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSÉ, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA

CUADRO DE CANTIDADES DE TRABAJO, COSTO UNITARIO Y MONTO TOTAL

UTILIZANDO EL MÉTODO DE LA ARENA

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO
MAQUINARIA Y EQUIPO				
Válvula cilíndrica, placa base metálica y recipiente plástico	U	1.00	Q1,457.00	Q1,457.00
Arena calibrada de Ottawa	Lb	20.00	Q15.00	Q300.00
Balanza de 35lb	U	1.00	Q7,996.00	Q7,996.00
Tamiz de 3/4"	U	1.00	Q607.00	Q607.00
Tamiz de 16"	U	1.00	Q607.00	Q607.00
Tamiz de 30"	U	1.00	Q607.00	Q607.00
Speedy	U	1.00	Q14,125.00	Q14,125.00
Carburo de calcio	Lb	2.20	Q103.00	Q226.60
Calibración y limpieza de Speedy	U	1.00	Q650.00	Q650.00
Dial de Speedy	U	1.00	Q4,228.00	Q4,228.00
Juego de empaques	U	1.00	Q250.00	Q250.00
Taras de acero inoxidable	U	2.00	Q126.50	Q253.00
Formón	U	1.00	Q29.00	Q29.00
Martillo	U	1.00	Q24.75	Q24.75
Brocha	U	1.00	Q12.50	Q12.50
Clavos para tabla de 4"	Lb	1.00	Q8.75	Q8.75
Cuchara metálica	U	1.00	Q4.00	Q4.00
Total maquinaria y equipo				Q31,385.60

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO
MANO DE OBRA				
Densidad de Campo	COSTO X DENSIDAD	1.00	Q200.00	Q200.00
Viáticos Laboratorista	DIA/HOMBRE	1.00	Q200.00	Q200.00
Total mano de obra				Q400.00

TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO	Q31,385.60
TOTAL MANO DE OBRA	Q400.00
TOTAL	Q31,785.60

TOTAL EN NÚMEROS:	<u>Q31,785.60</u>
TOTAL EN LETRAS:	<u>TREINTA Y UN MIL, SETECIENTOS OCHENTA Y CINCO QUETZALES CON SESENTA CENTAVOS</u>

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA
Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO

PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSÉ, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA

CUADRO DE CANTIDADES DE TRABAJO, COSTO UNITARIO Y MONTO TOTAL
UTILIZANDO EL DENSÍMETRO NUCLEAR

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO
MAQUINARIA Y EQUIPO				
Densímetro nuclear Modelo Troxler Serie 34-40	U	1.00	Q85,100.00	Q85,100.00
Licencia de uso (Cada 2 años)	U	1.00	Q7,000.00	Q7,000.00
Calibración del equipo	U	1.00	Q.900.00	Q900.00
Total maquinaria y equipo				Q93,000.00

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	MONTO
MANO DE OBRA				
Densidad de Campo	DIA/DENSIDADES	#	Q400.00	Q400.00
Laboratorista	DIA/HOMBRE	1.00	Q250.00	Q250.00
Total mano de obra				Q650.00

TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO	Q93,000.00
TOTAL MANO DE OBRA	Q650.00
TOTAL	Q93,650.00

TOTAL EN NÚMEROS:	<u>Q93,650.00</u>
TOTAL EN LETRAS:	<u>NOVENTA Y TRES MIL, SEISCIENTOS CINCUENTA QUETZALES EXACTOS</u>

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LA ARENA
Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO

PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSÉ, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA

RELACIÓN DE COSTOS UTILIZANDO
EL MÉTODO DE LA ARENA Y EL DENSÍMETRO NUCLEAR

MAQUINARIA Y EQUIPO		MANO DE OBRA	
DESCRIPCIÓN	MONTO TOTAL	DESCRIPCIÓN	MONTO TOTAL
Método de la arena	Q31,385.60	Método de la arena	Q400.00
Densímetro nuclear	Q93,000.00	Densímetro nuclear	Q650.00
Diferencia (-)	-Q61,614.40	Diferencia (-)	-Q250.00

CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo a las características de ambos métodos, se pudo determinar que en la actualidad independientemente de las limitantes que presente uno del otro, ambos son aptos para la determinación de la densidad de campo de cualquier tipo de estrato de suelo.
2. Una de las principales interrogantes al momento de realizar el presente estudio, era conocer si ambos métodos, sin importar que el procedimiento no fuere el mismo, serian equivalentes al momento de determinar la densidad de campo. Y luego de la realización de pruebas, los resultados indican que ambos métodos aunque varían en algunos de sus resultados considerablemente, debido a los factores externos que intervienen al momento de realizar la medición con el densímetro nuclear, indican que son equivalentes.
3. Además de las ventajas que se han presentado anteriormente, al evaluar qué equipo cubre con los menores gastos al momento de la aplicación de los respectivos métodos para determinar la densidad de campo. Se tiene que en función a la maquinaria y equipo; el método de la arena presenta una cantidad de Q31, 385.60, en comparación del equipo utilizado para la medición con el densímetro nuclear, el cual presenta un valor de Q93, 000.00, excediendo considerablemente la utilización del densímetro nuclear al método de la arena por una cantidad aproximada de Q61, 614.40.

Mientras tanto en función al costo de la mano de obra y al costo por la medición de cada densidad de campo, se pudo establecer que los valores ascienden a Q400.00 y Q650.00 para el método de la arena y el densímetro nuclear respectivamente. Excediendo este último, al primero por Q250.00. Cabe mencionar que el costo por el ensayo de densidad de campo con el método de la arena equivale a Q.200.00 por cada densidad, mientras que utilizando el

densímetro nuclear, el costo es de Q. 400.00 por todas las mediciones efectuadas durante un día.

4. Según los resultados obtenidos, se pudo determinar que el método de la arena es el procedimiento más viable, confiable y factible para el ensayo de la densidad de campo. No solo desde el aspecto económico, sino debido a su procedimiento, ya que se interactúa de una manera más directa con el estrato de suelo a trabajar. Los ensayos indican que de las 20 mediciones promediadas (3 datos/cada promedio) aplicadas con dicho método, 17 de ellas llegaron al 100% de compactación. Mientras que con el densímetro nuclear únicamente 6 de esas 20 pruebas dieron como resultado el 100% de la compactación. Lo que equivale a un 85% y 30% respectivamente.
5. Aunque se pudo determinar que el método de arena es el método más viable y factible para la determinación de la densidad de campo, es de importancia mencionar el factor tiempo que lleva al elaborar una prueba respecto de la otra. Mientras que para el método de la arena la elaboración de una prueba se toma de 30-40min, con el densímetro nuclear cada ensayo se realiza aproximadamente en 15seg., lo cual las empresas ven como un beneficio dicho dato.
6. A través de las pruebas de campo realizadas con el densímetro nuclear, se pudo notar una serie de factores externos al equipo, los cuales afectaban a la medición del porcentaje de compactación y el porcentaje de la humedad contenida. Estos provocaban datos erróneos y absurdos, que al ser comparados posteriormente con los resultados presentados por el método de la arena, se notó una variación dentro de los mismos. Dentro de estos factores se pudieron detectar los siguientes: Vibración del suelo durante la calibración y medición de las pruebas producidas por la maquinaria y el transporte pesado del lugar, cables de tendido eléctrico, segregación del material, la superficie del terreno a evaluar la cual presentaba agujeros, inclinaciones, capas de suelo suelto, etc.

RECOMENDACIONES

En atención a las conclusiones, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Al momento de realizar las pruebas independientemente del método, se debe evitar cualquier tipo de vibración en el área de ensayo, ya que provoca un exceso de arena calibrada dentro del agujero, para el ensayo del método de la arena y el rebote del aparato permite que los rayos gamma se escapen, en el caso de la medición con el densímetro nuclear.
2. El tiempo de realización de una prueba por el método de la arena es de aproximadamente 30-40min, es por eso que al extraer el material de suelo en donde se concluye dicho ensayo y al ser colocado en la tara metálica debe ser cubierto, lo cual permitirá que la humedad del suelo no se evapore, debido a la temperatura ambiente, provocando que el contenido de humedad sea el correcto.
3. Debido a la diferencia de materiales encontrados sobre la capa sub-base y base, la cual presenta material más grueso y más compactado, se sugiere que al momento de realizar el método de la arena sobre dichas capas, se realice el ensayo sobre la capa sub-base con un picnómetro de 4" y de 6" para la capa base.
4. Si se cuenta con un densímetro nuclear, es importante que se tenga el debido compromiso para establecer una política de seguridad de acuerdo a la legislación vigente, con el fin de evitar accidentes radiológicos.

5. Debido al peligro que se sufre en el manejo del densímetro nuclear, se recomienda que la persona que realice el ensayo, deba estar alejada del mismo por lo menos a una distancia de 3 a 4m, para evitar que los rayos gamma (radiación) afecten su organismo.
6. Al momento de determinar el porcentaje de compactación y el contenido de humedad con el densímetro nuclear, se recomienda que el terreno sobre el cual se realizará el ensayo, debe de encontrarse totalmente horizontal, libre de agujeros, sin vibraciones y sin capas de material suelto sobre la misma, para que los rayos gamma (radiación) no se escapen y la prueba se realice exitosamente.
7. Un densímetro nuclear siempre debe ser usado por un operador autorizado que tenga los conocimientos respectivos, tanto del uso como de los riesgos que implica la manipulación de dicho aparato. Es por tanto que si una empresa cuenta con un operador autorizado y cumple con la normativa vigente estaría previniendo todo accidente radiológico que tiene como consecuencias daños a las personas y por consiguiente al ambiente.
8. La calibración continua en ambos métodos es de suma importancia, debido a que como anteriormente se mencionó, a una mayor calibración, un mejor resultado. En el método de la arena es necesario conocer que si se deja pasar mucho tiempo desde la calibración de los equipos y la arena, puede ser que la arena calibrada de Ottawa adquiera humedad, lo cual variará la densidad de la misma, dando como resultado datos erróneos.

9. Debido a que la arena calibrada de Ottawa se rescata del agujero, luego de varios ensayos está altamente contaminada, es por eso que se recomienda tamizarla periódicamente por la malla núm. 16. Teniendo en cuenta que la suciedad de la arena, también puede influir en los resultados.

10. Contar siempre con equipos adecuados, y en buenas condiciones, con sus formas geométricas en excelente estado, es decir, sin abolladuras, sin perforaciones, etc. Debido a que muchos instrumentos por el excesivo uso se deterioran rápidamente. Por tanto, siempre hay que estar pendiente de sus reposiciones, para obtener buenos resultados.

11. Para la clasificación de los suelos ya sea por el Sistema de Clasificación AASHTO o el Sistema de Clasificación Unificado, es importante el ensayo de Granulometría el cual permitirá indicar la clasificación granular de la muestra, por tanto se recomienda que la cantidad de muestra a evaluar sea mayor de 3,000gr, permitiendo que el resultado sea significativo.

12. Mantener cuidado y ser precisos al momento de anotar las cantidades y calcular los resultados obtenidos según los ensayos aplicados, ya que la equivocación puede ser muy fácil, provocando datos erróneos y absurdos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, Enrique Anckermann. Manual para Laboratoristas de suelos en construcción de carreteras. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1969.
2. Bowles, Joseph E. **Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil**. México: Editorial McGraw-Hill, 1981. 213pp.
3. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de suelos y cimentaciones**. Quinta Edición. México. Editorial: 2005. 650pp
4. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y vivienda. **Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes**. Ingenieros Consultores de Centro América. Diciembre 2000.
5. Hernández Canales, Juan Carlos. Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2008.
6. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos**. Tercera Edición, México. Editorial Limusa, 2005. 642pp.
7. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **Mecánica de Suelos, Tomo 2, Teoría y aplicaciones de la Mecánica de Suelos**. Tercera Edición, México. Editorial Limusa, 2003. 703pp.
8. Lambre, William y Whitman, Robert. **Mecánica de Suelos**. México: Editorial Limusa, 2005. 582pp.
9. Méndez Toledo, Abilio Rocael. Características de los métodos de clasificación de suelos. Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1990.
10. Porón Alinan, Rudi Edelmiro. Procesos de compactación en la ingeniería vial. Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1997.

11. Troxler Electronic Laboratories y su filial Troxler International, Ltd. Manual del usuario del densímetro nuclear. Research Triangle Park, North Caroline. Estados unidos de Norte America.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. <http://www.Rincondelvago.com>.
<http://html.rincondelvago.com/densidad-del-suelo.html>.
Densidad de campo en los suelos. Enero del 2009.
2. <http://www.Rincondelvago.com>.
<http://pdf.rincondelvago.com/mecanica-del-suelo.html>.
Densidad de campo. Enero del 2009.
3. <http://www.ucn.cl>
<http://www.ucn.cl/facultadesinstitutos/laboratorio/difM9.htm>.
Ensayos de Laboratorios. Febrero del 2009.
4. <http://icc.ucv.cl>
http://icc.ucv.cl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/laboratorio/dinsitu/dinsitu.html. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería en Construcción. Febrero del 2009.
5. <http://www.inforpressca.com>
<http://www.inforpressca.com/masagua/>. SIM Servicios de Información Municipal. Departamentos de Guatemala. Febrero del 2009
6. www.troxler.com.
<http://html.rincondelvago.com/densímetros-nucleares.html>.
Manual de uso. Febrero del 2009
7. www.toxservice.cl
www.toxservice.cl/disposiciones_legales.
Programa de Protección Radiológica Mutua de seguridad.
Programa de Prevención de Riesgos con Densímetros (Constructora Agua Santa). Marzo del 2009

APÉNDICE A

GRÁFICAS DE RESULTADOS

- a. Gráficas capa sub-base
(Comparación método de la arena-densímetro nuclear)

Figura 43. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 1

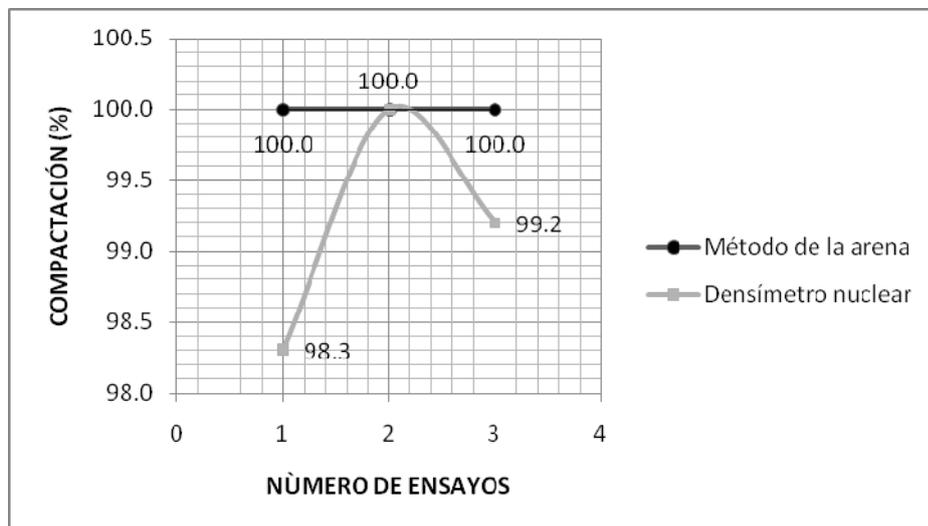


Figura 44. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 1

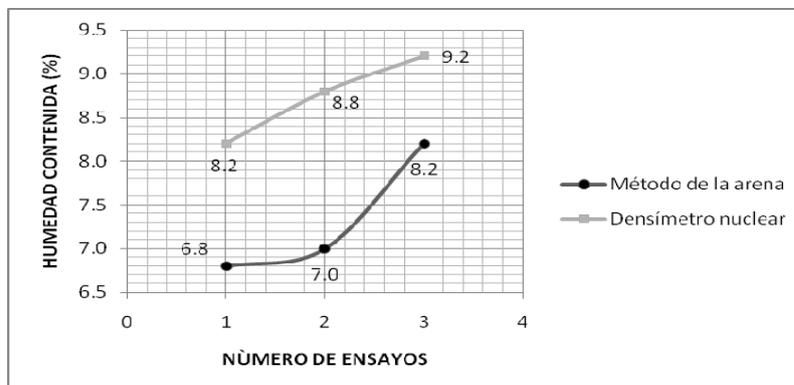


Figura 45. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 2

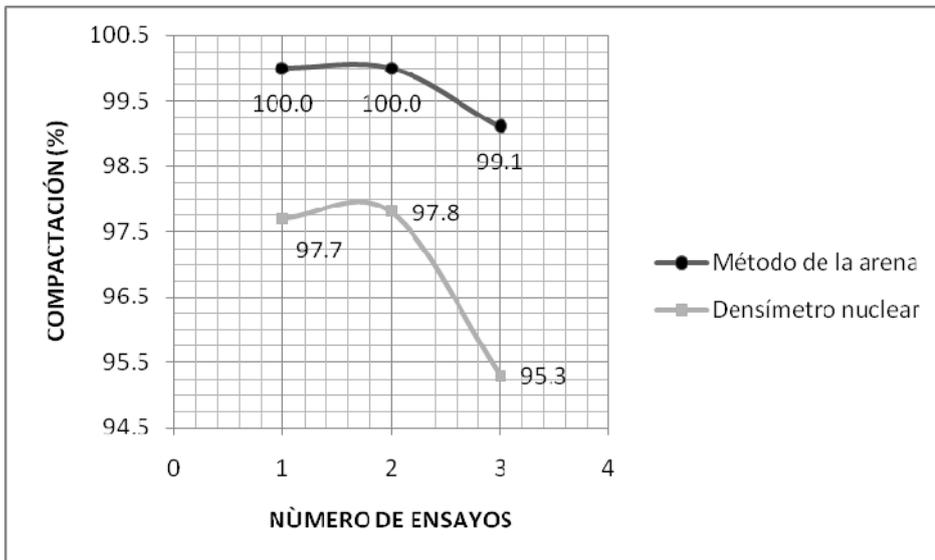


Figura 46. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 2

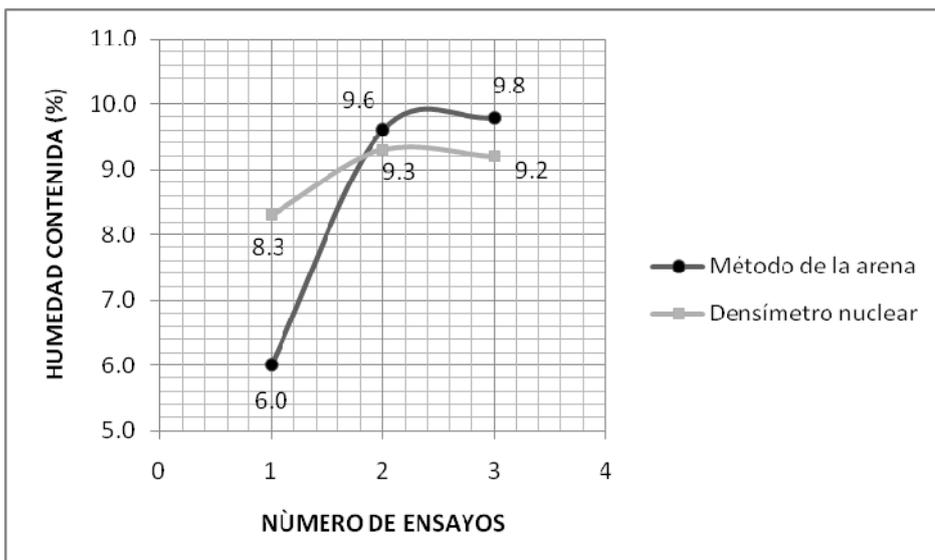


Figura 47. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 3

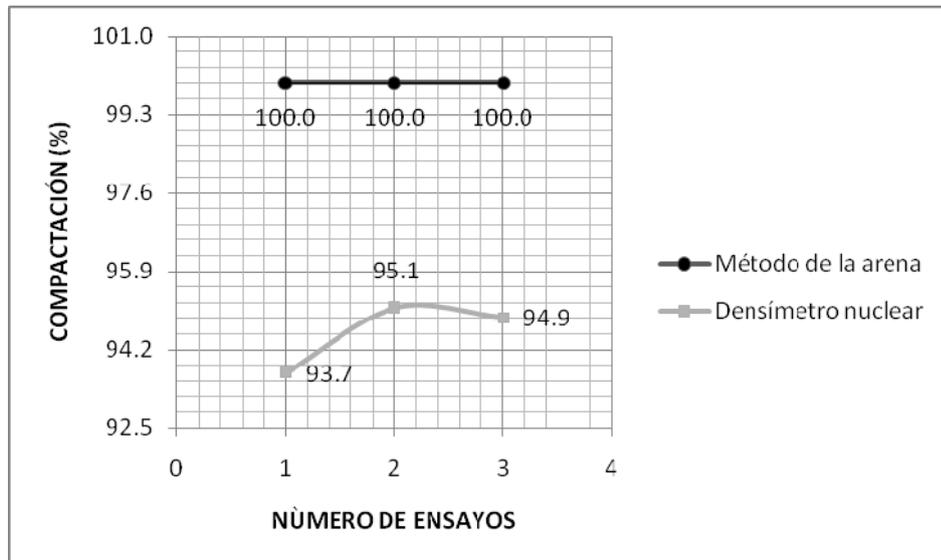


Figura 48. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 3

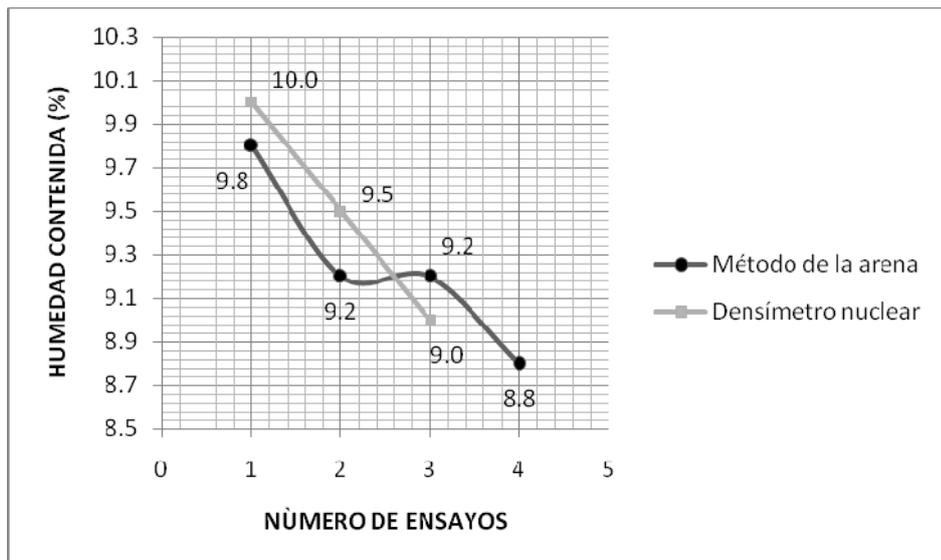


Figura 49. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 4

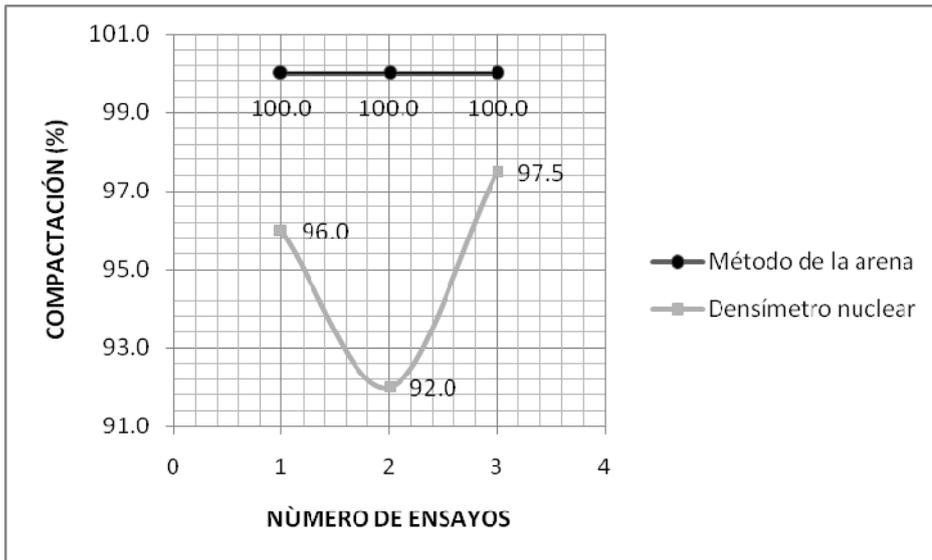


Figura 50. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 4

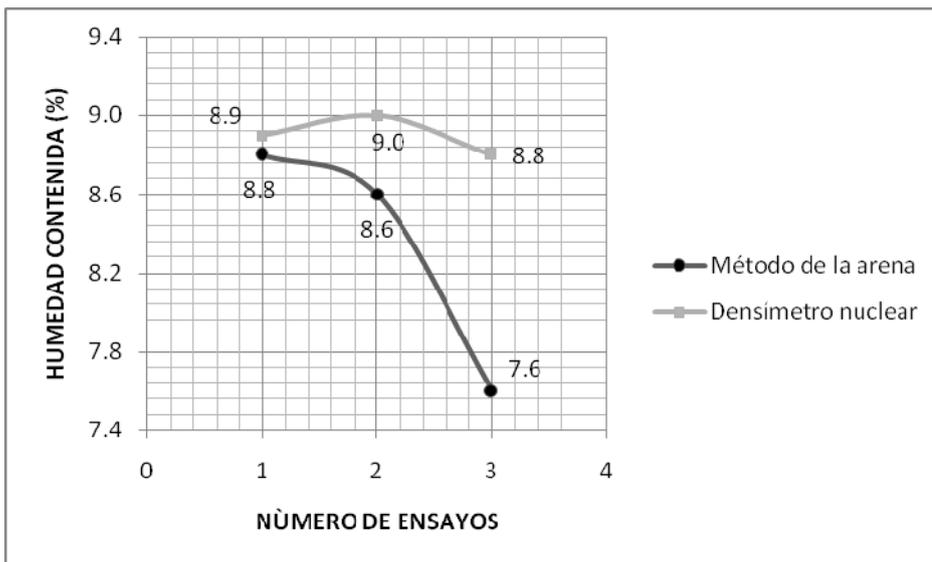


Figura 51. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 5

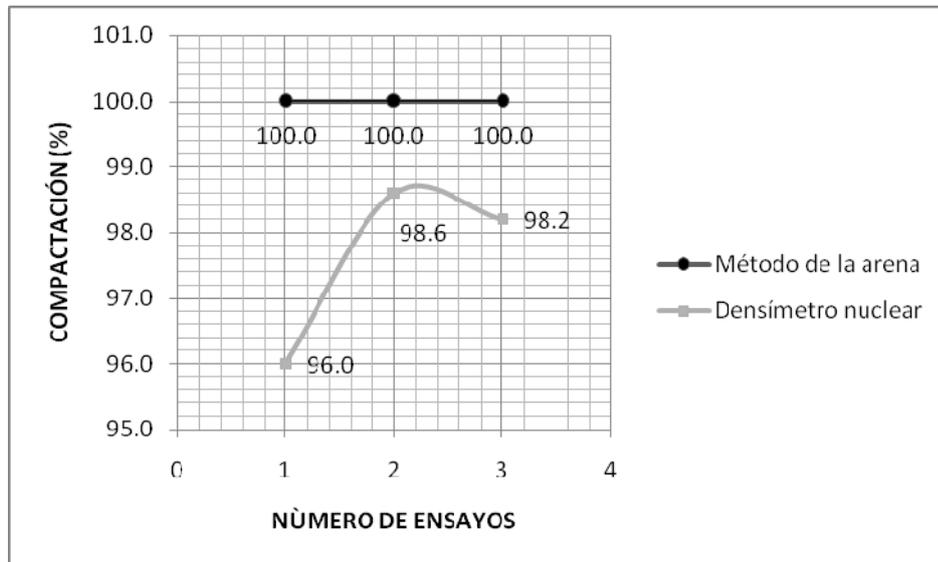


Figura 52. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 5

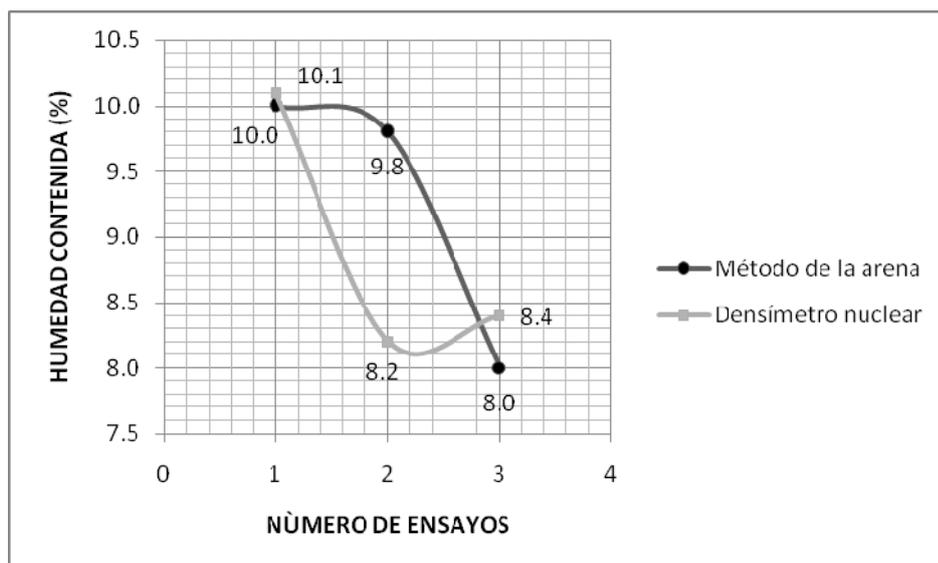


Figura 53. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 6

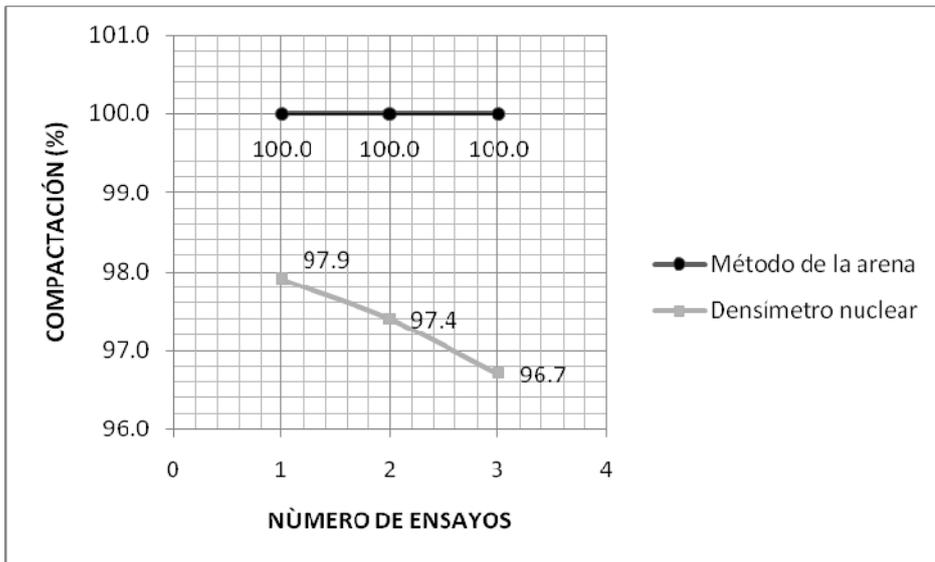


Figura 54. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 6

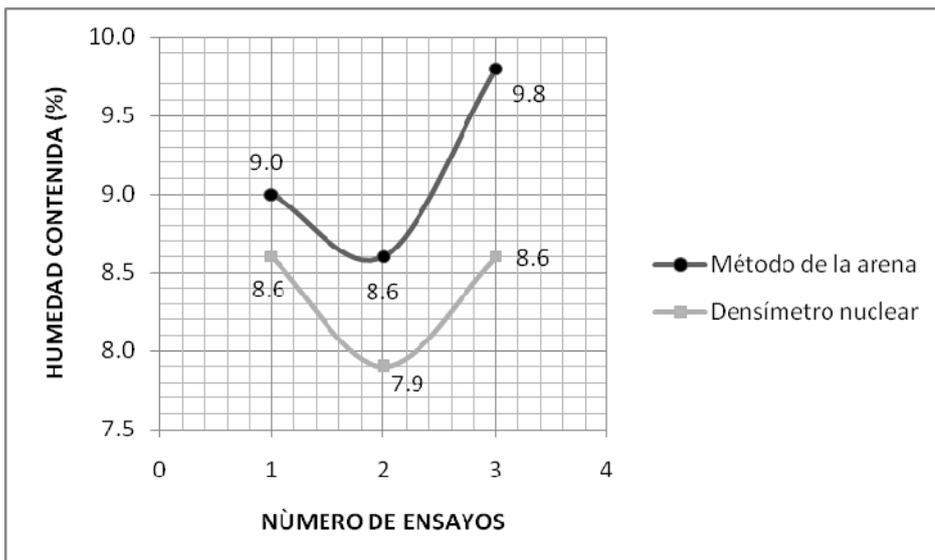


Figura 55. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 7

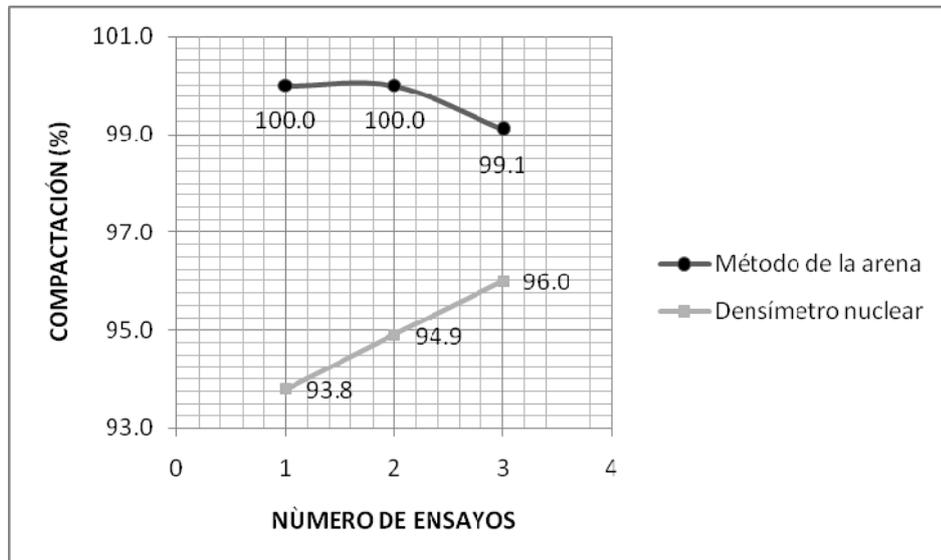


Figura 56. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 7

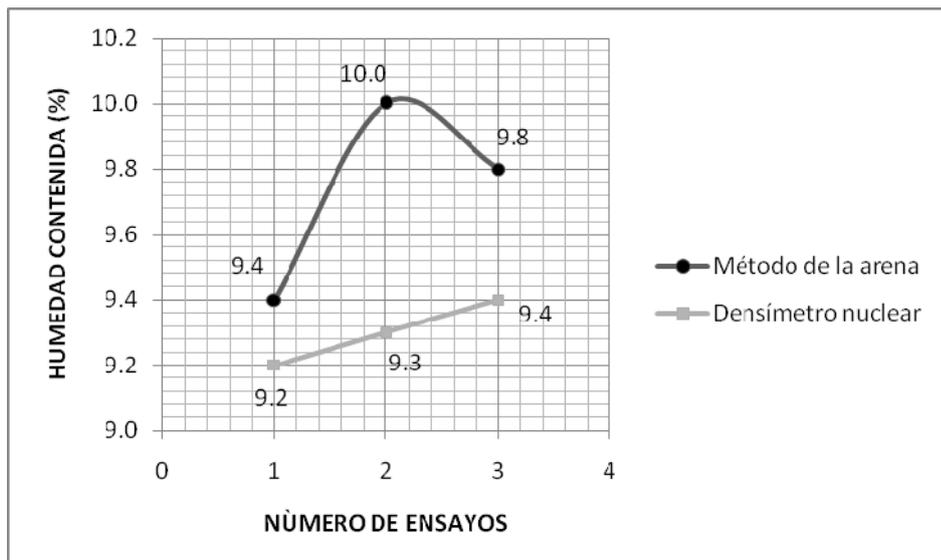


Figura 57. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 8

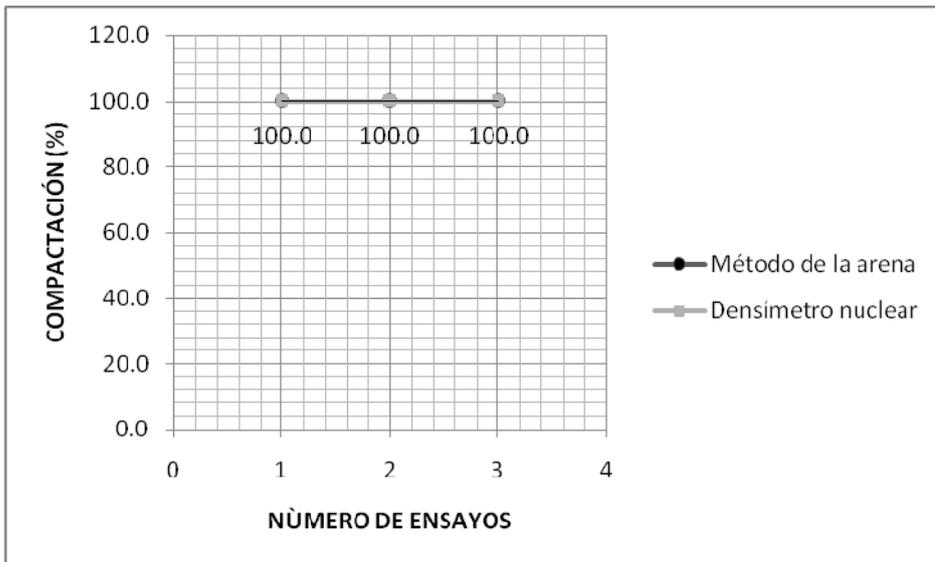


Figura 58. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 8

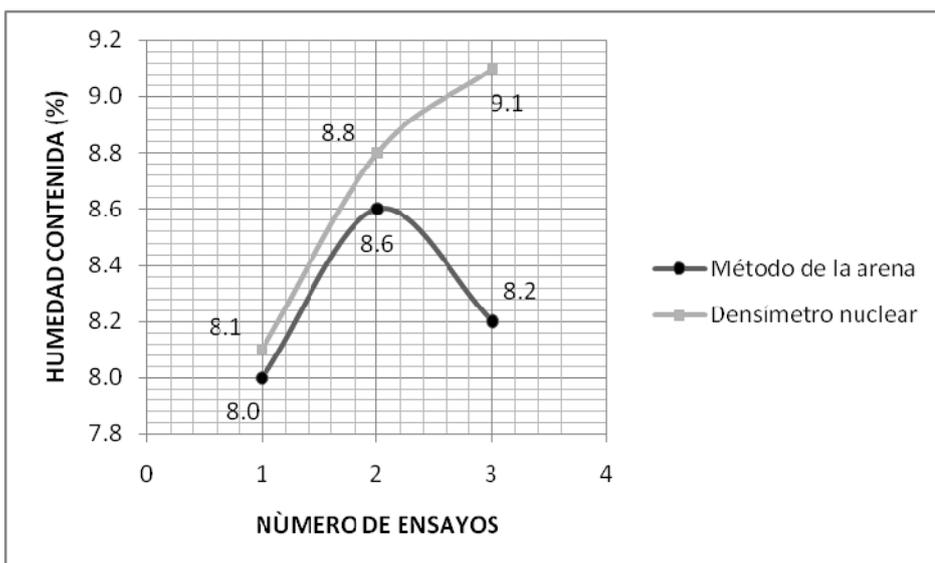


Figura 59. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 9

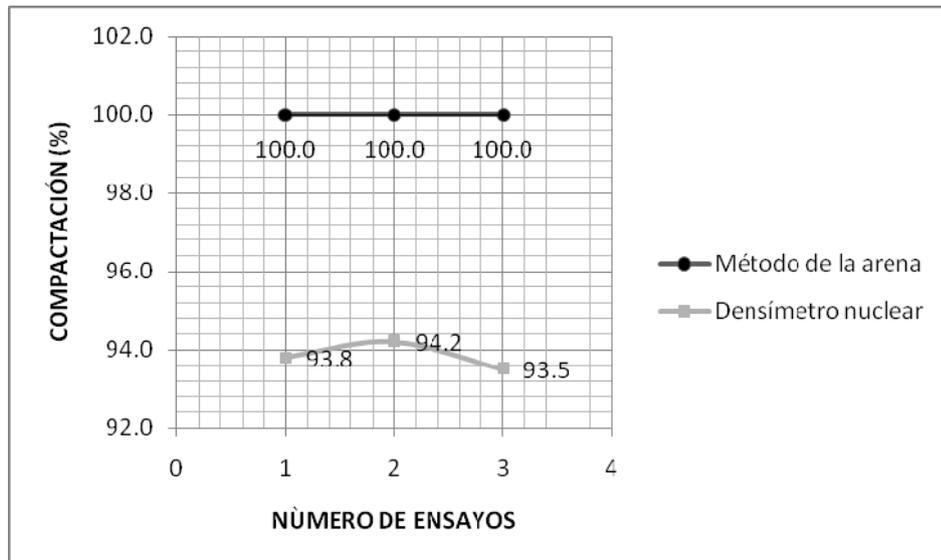


Figura 60. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 9

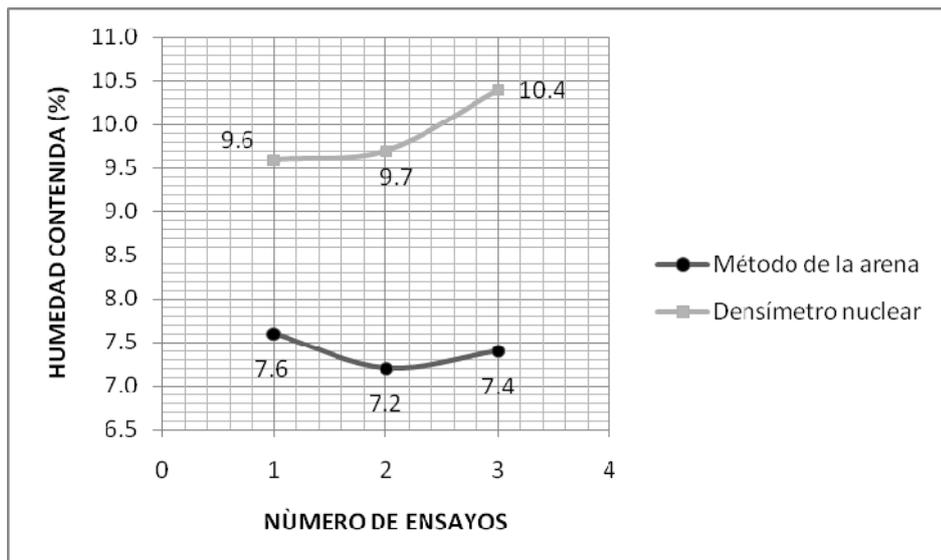


Figura 61. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 10

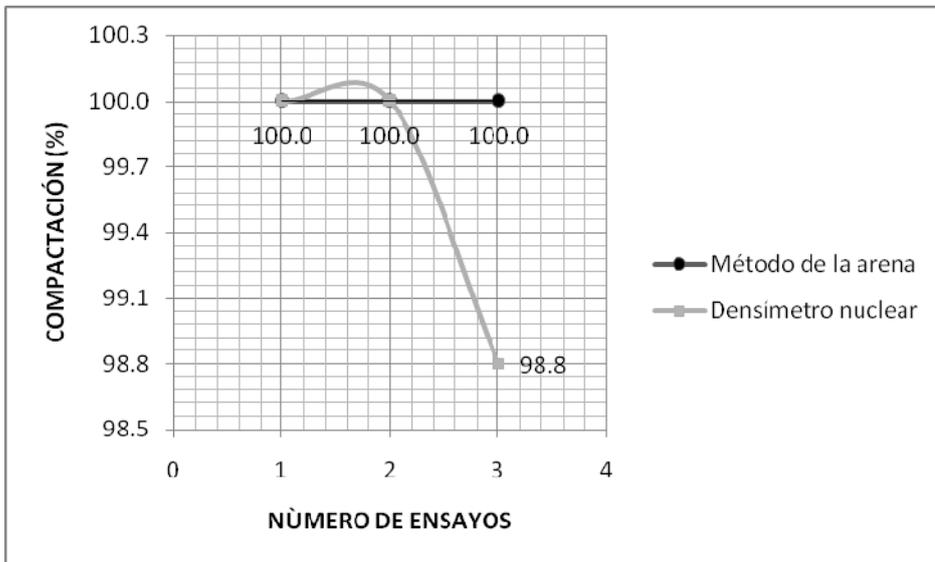
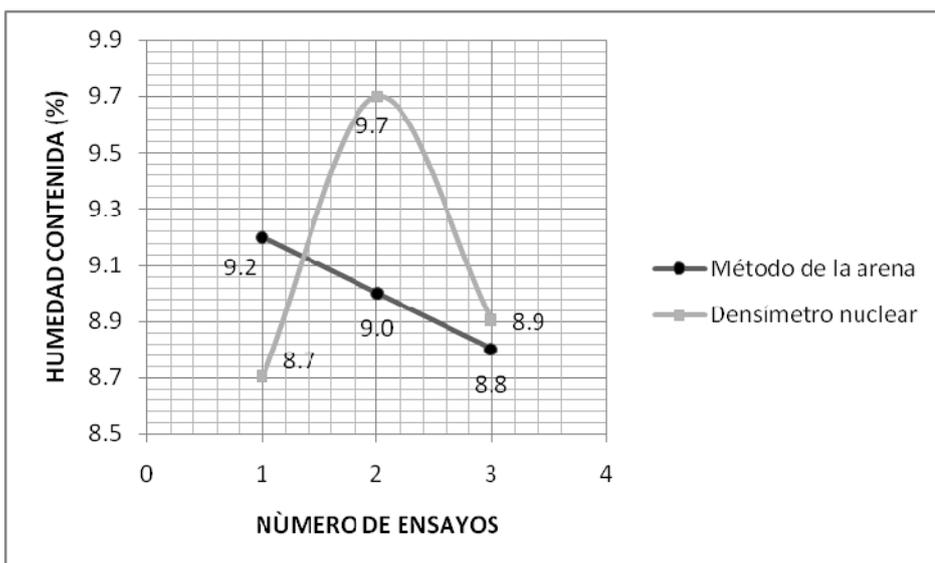


Figura 62. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 10



b. Gráficas capa base
(Comparación método de la arena-densímetro nuclear)

Figura 63. **Compactación vrs. número de ensayos**
Medición núm. 1

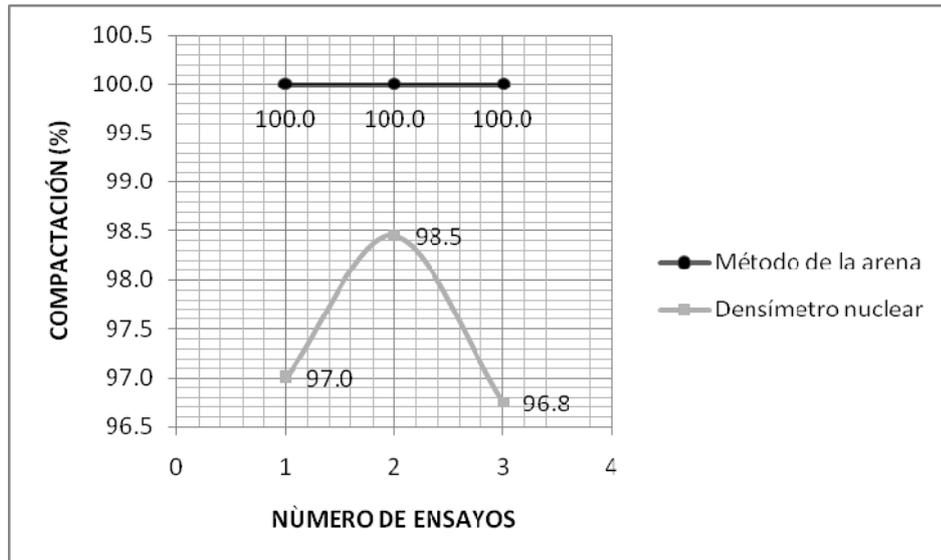


Figura 64. **Humedad contenida vrs. número de ensayos**
Medición núm. 1

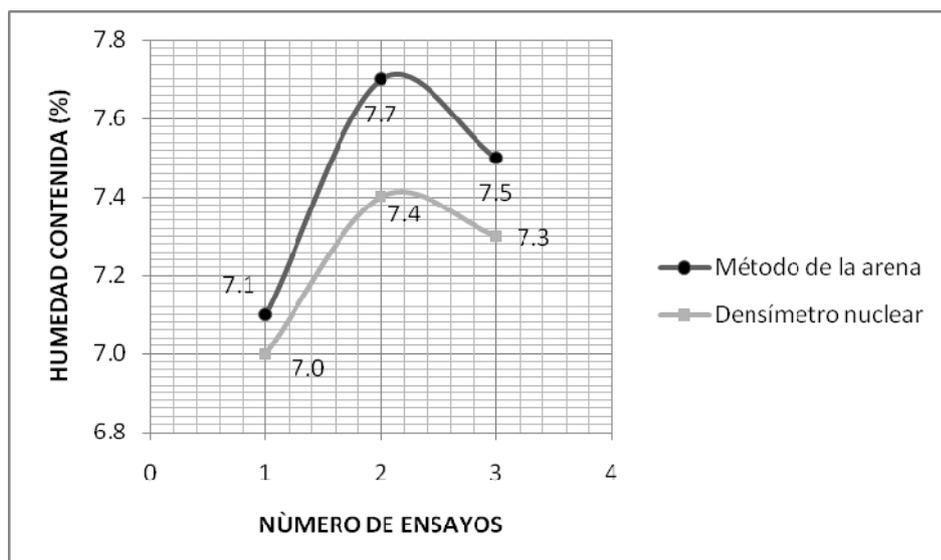


Figura 65. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 2

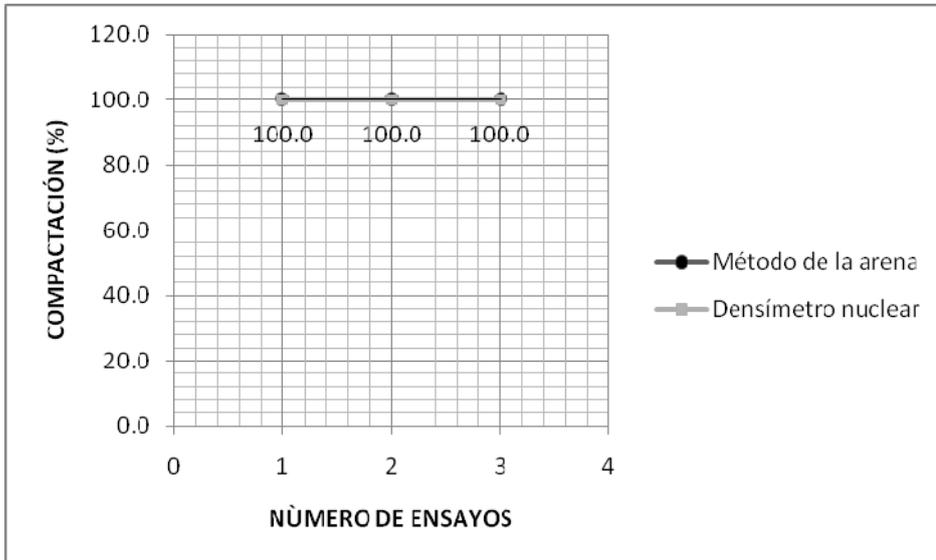


Figura 66. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 2

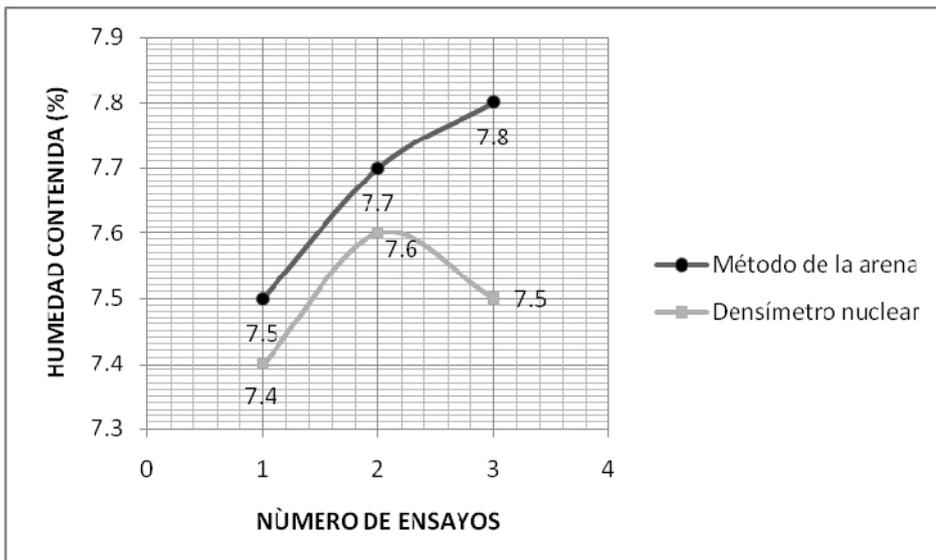


Figura 67. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 3

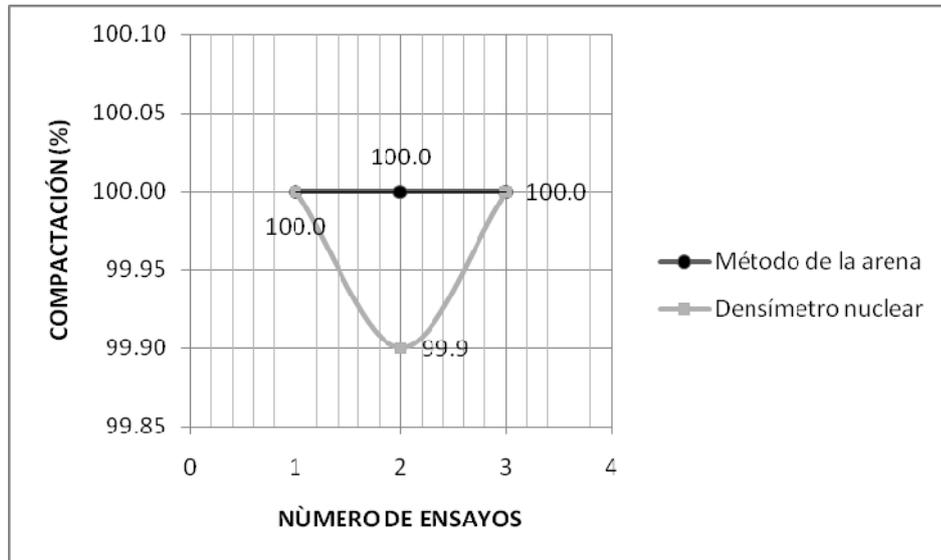


Figura 68. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 3

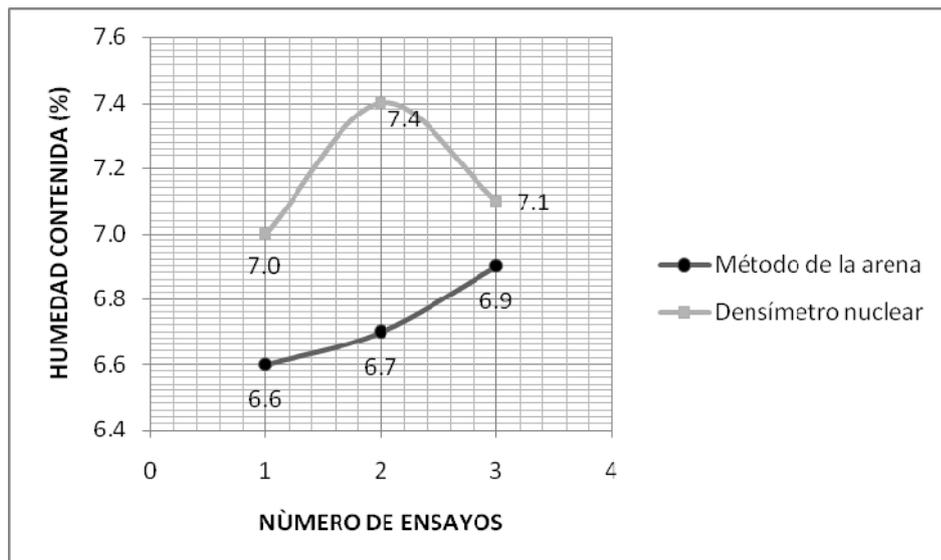


Figura 69. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 4

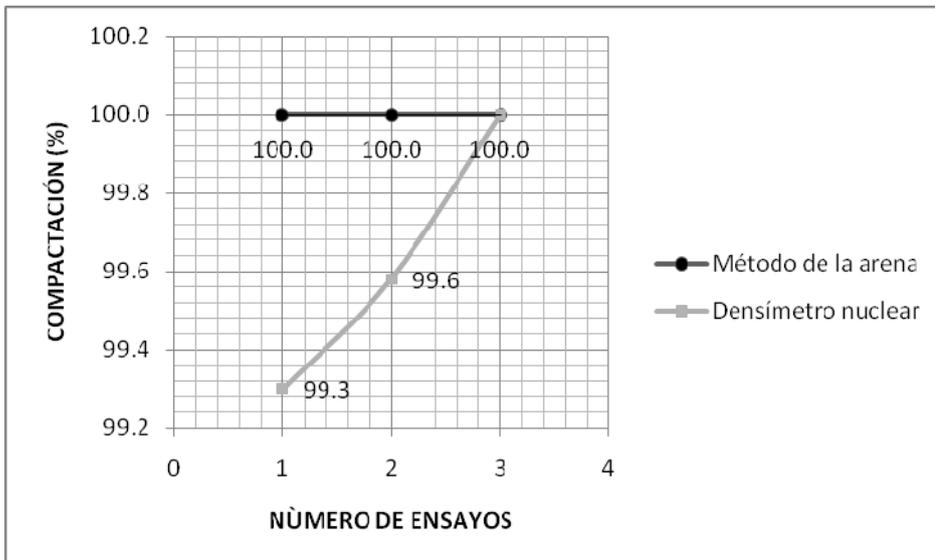


Figura 70. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 4

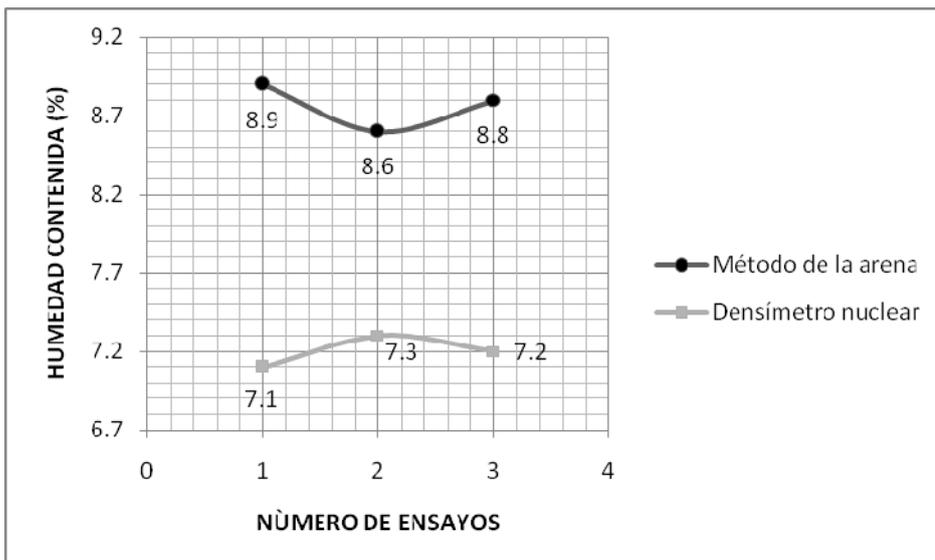


Figura 71. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 5

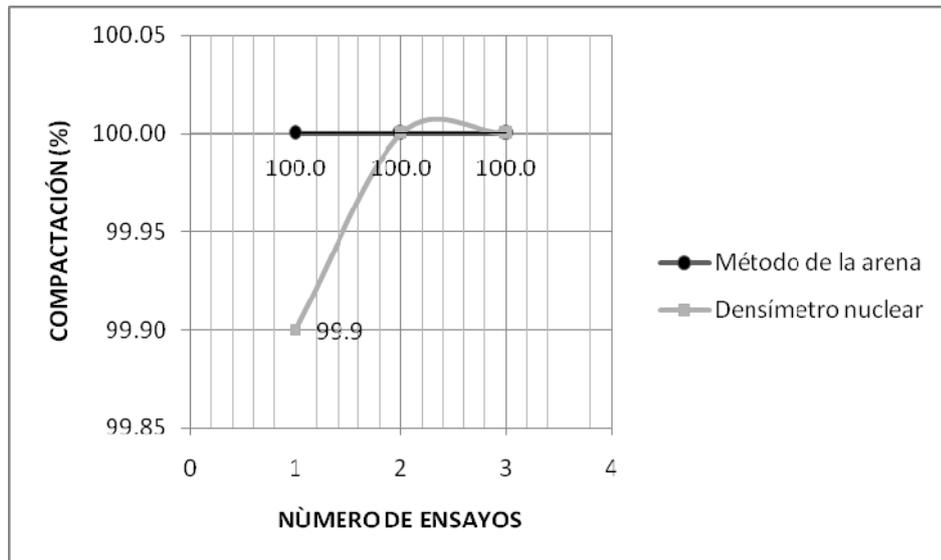


Figura 72. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 5

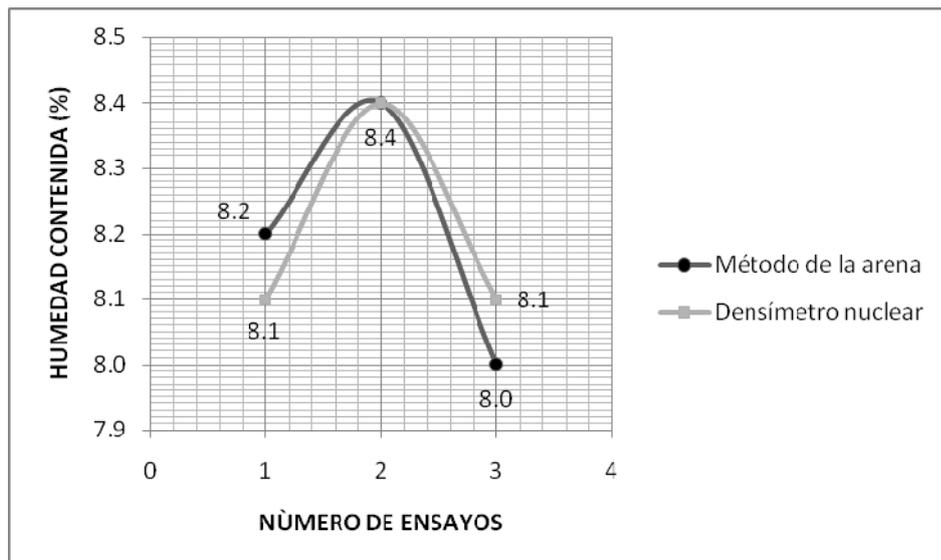


Figura 73. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 6

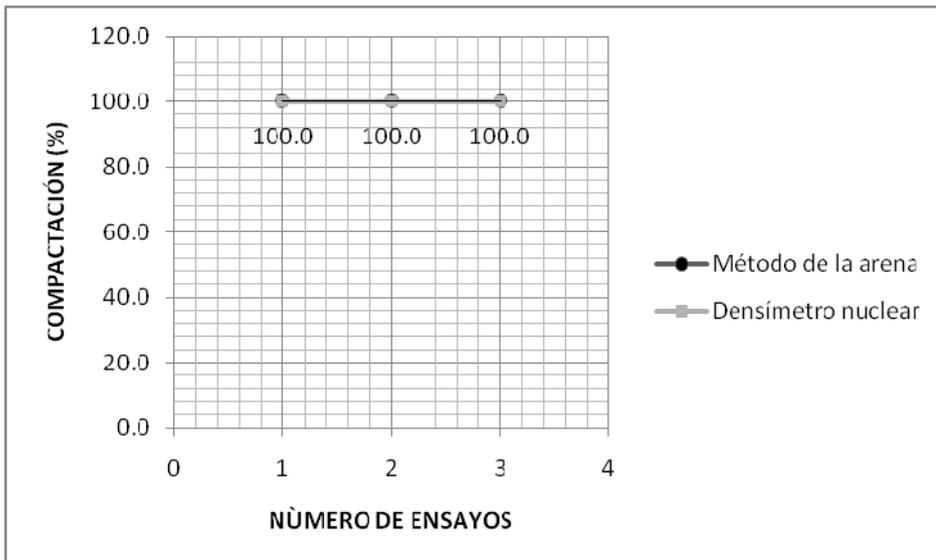


Figura 74. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 6

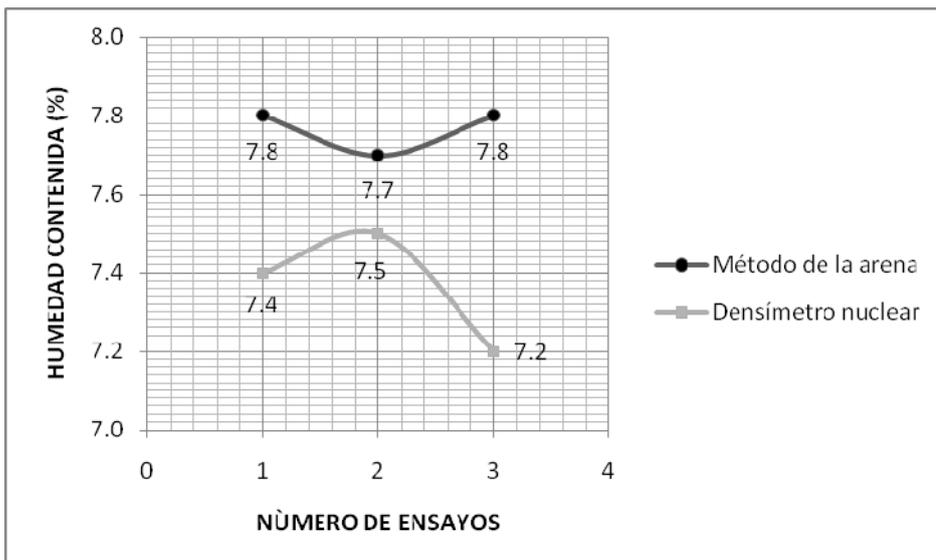


Figura 75. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 7

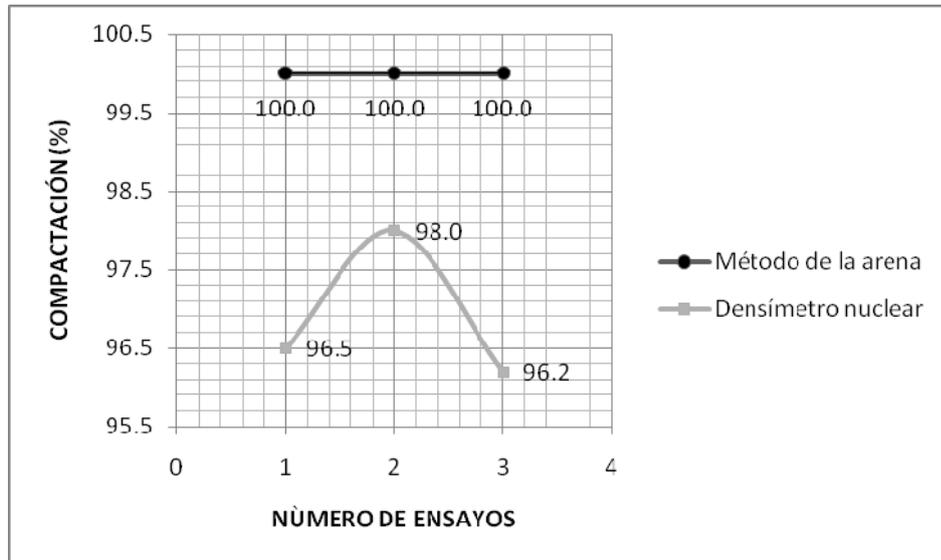


Figura 76. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 7

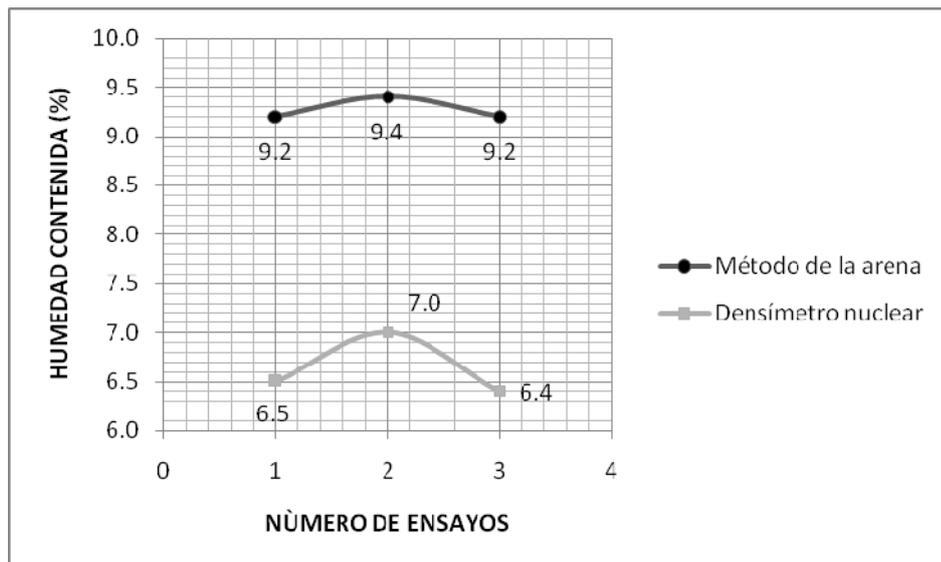


Figura 77. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 8

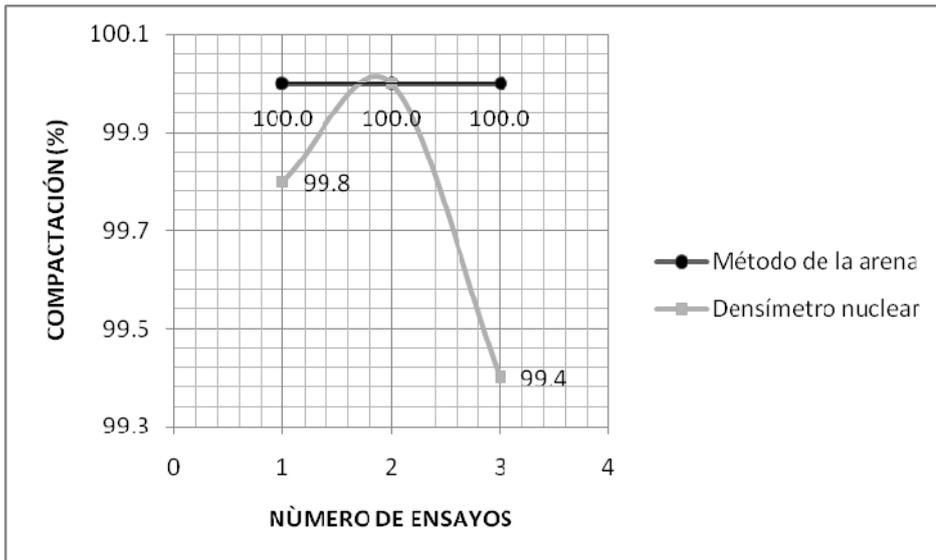


Figura 78. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 8

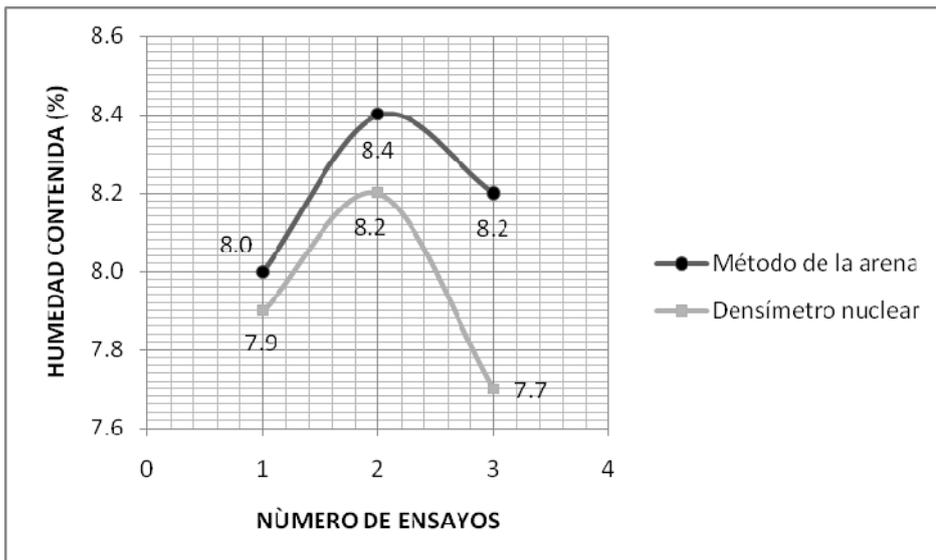


Figura 79. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 9

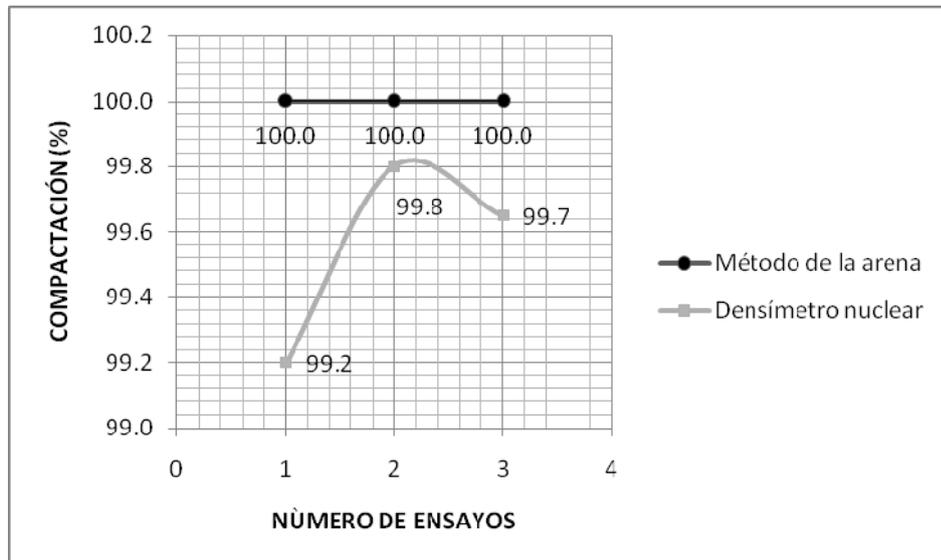


Figura 80. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 9

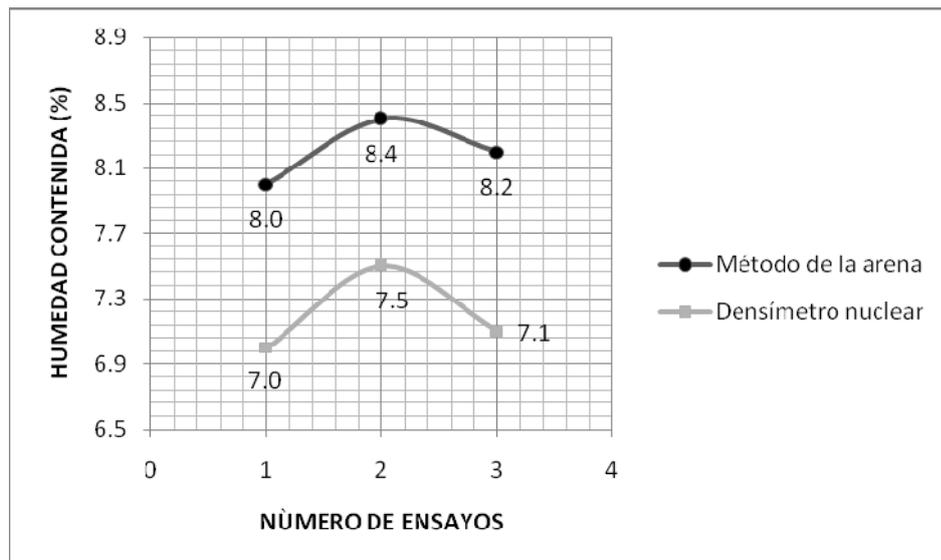


Figura 81. Compactación vrs. número de ensayos
Medición núm. 10

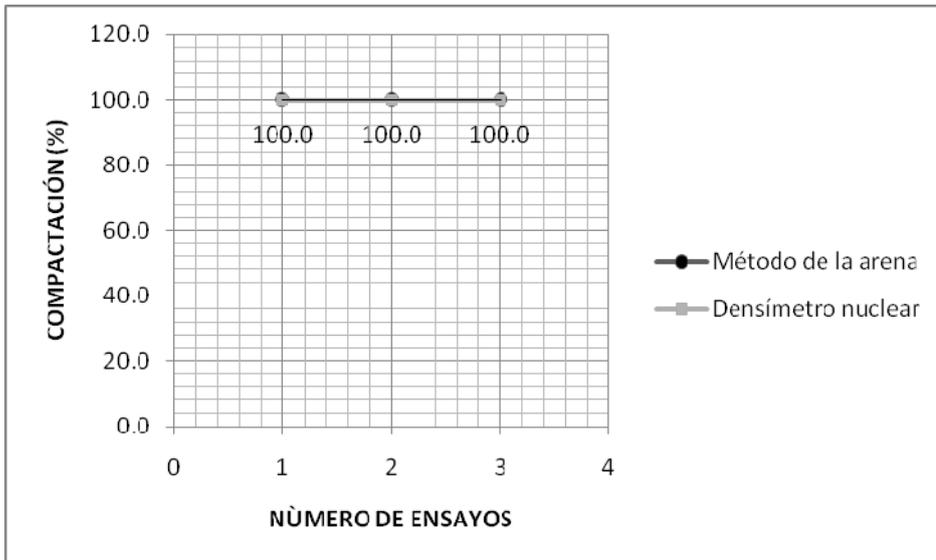
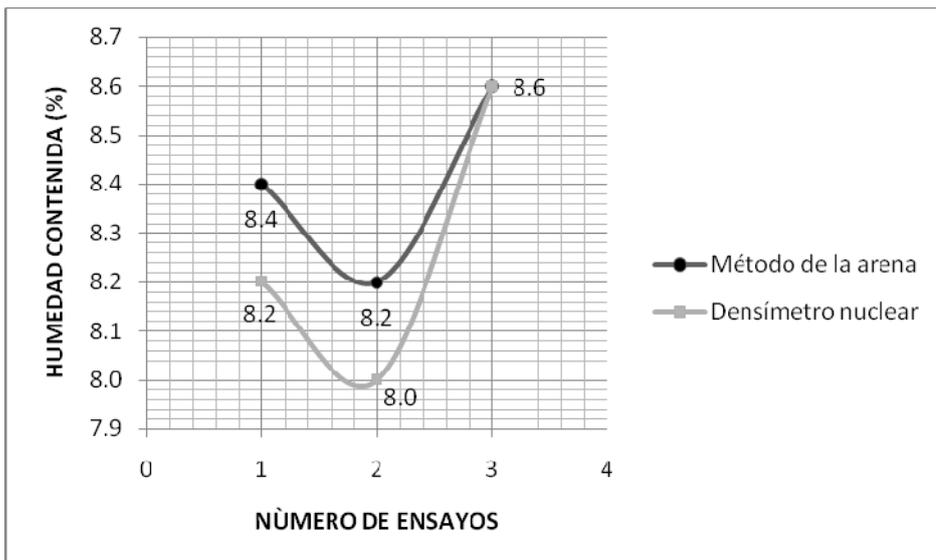


Figura 82. Humedad contenida vrs. número de ensayos
Medición núm. 10



c. Gráficas de dispersión capa sub-base

Figura 83. Compactación promedio vrs. número de ensayos
(Método de la arena)

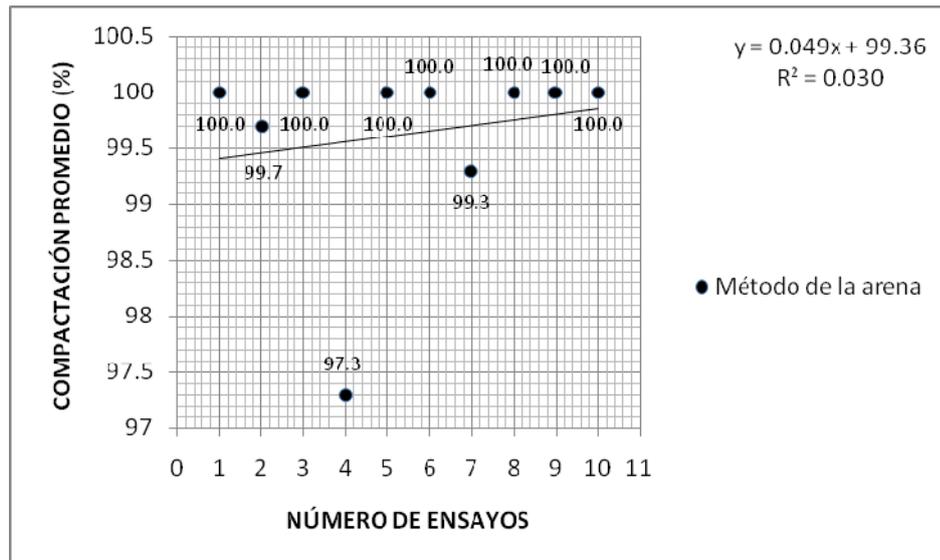


Figura 84. Humedad contenida promedio vrs. número de ensayos
(Método de la arena)

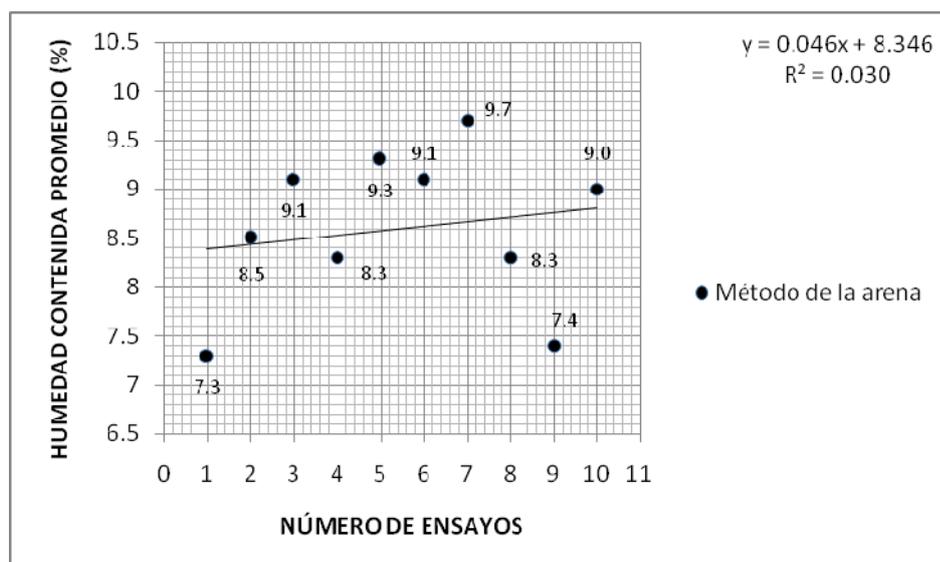


Figura 85. Compactación promedio vrs. número de ensayos (Densímetro nuclear)

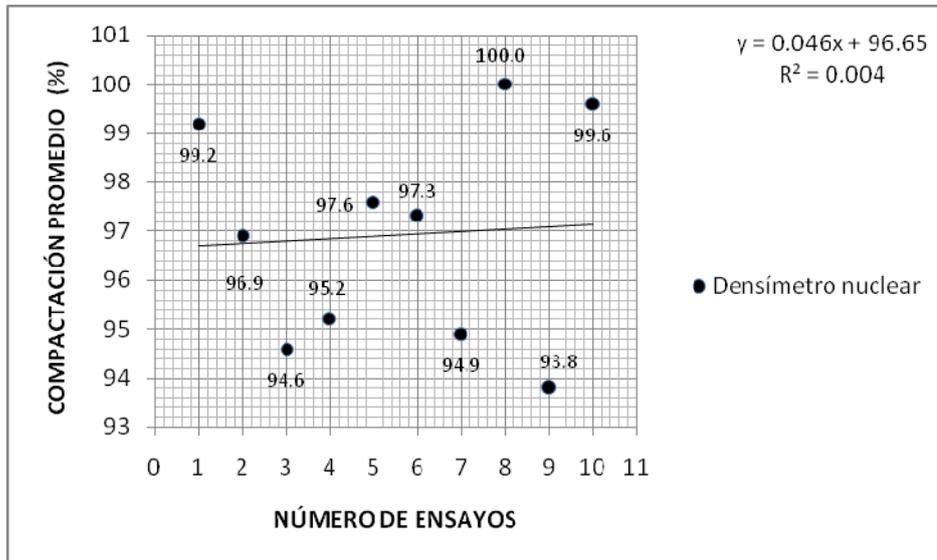
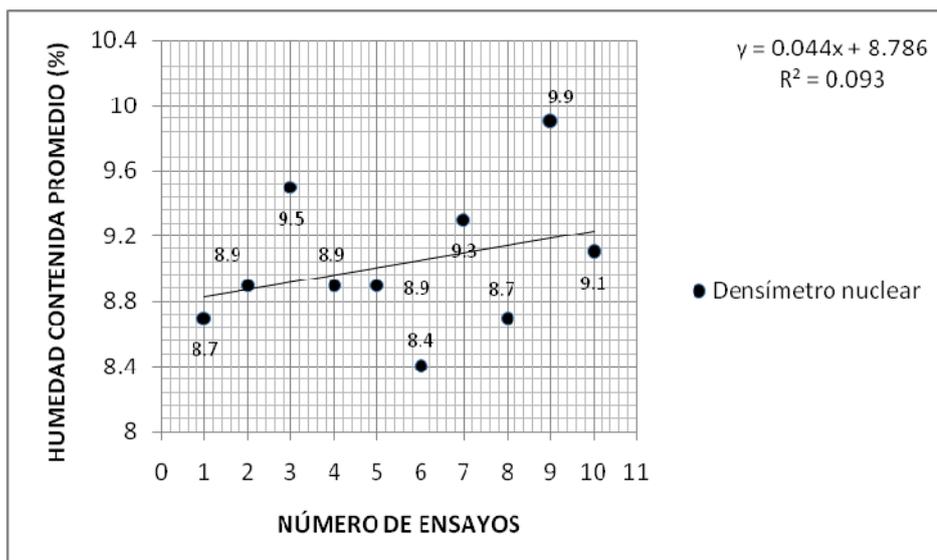


Figura 86. Humedad contenida promedio vrs. número de ensayos (Densímetro nuclear)



d. Gráficas de dispersión capa base

Figura 87. Compactación promedio vrs. número de ensayos
(Método de la arena)

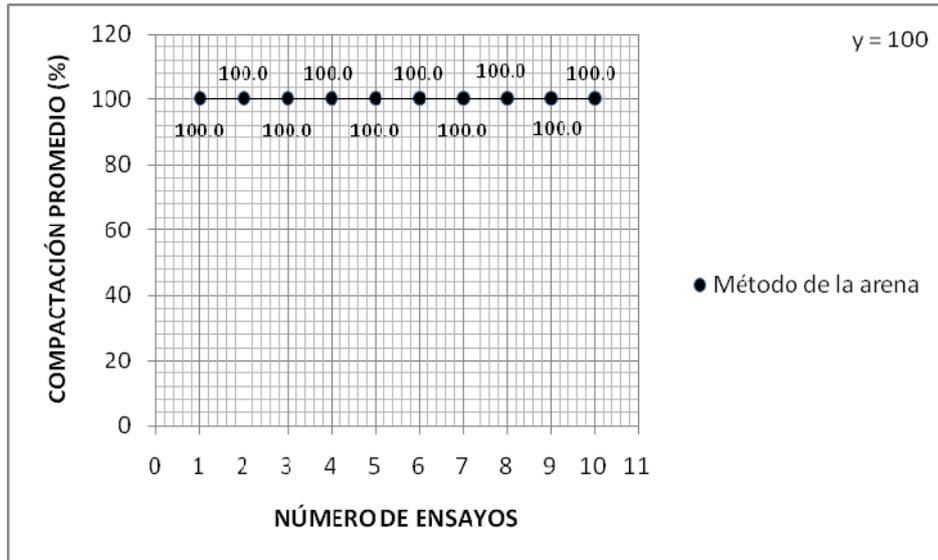


Figura 88. Humedad contenida promedio vrs. número de ensayos
(Método de la arena)

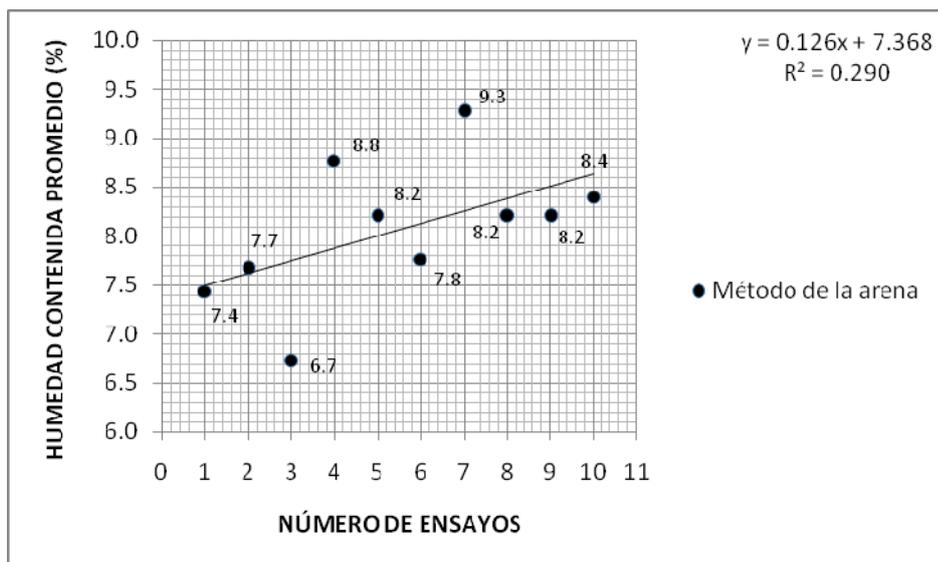


Figura 89. Compactación promedio vrs. número de ensayos (Densímetro nuclear)

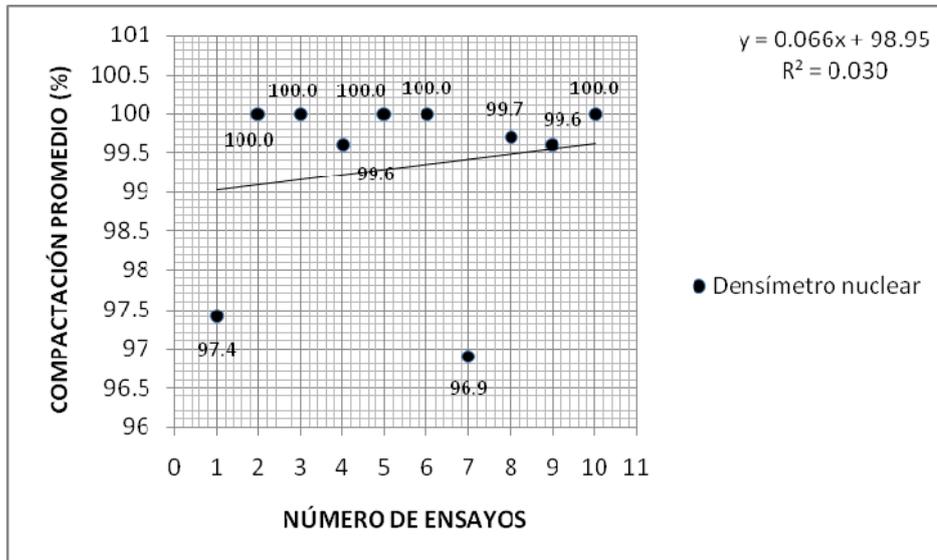
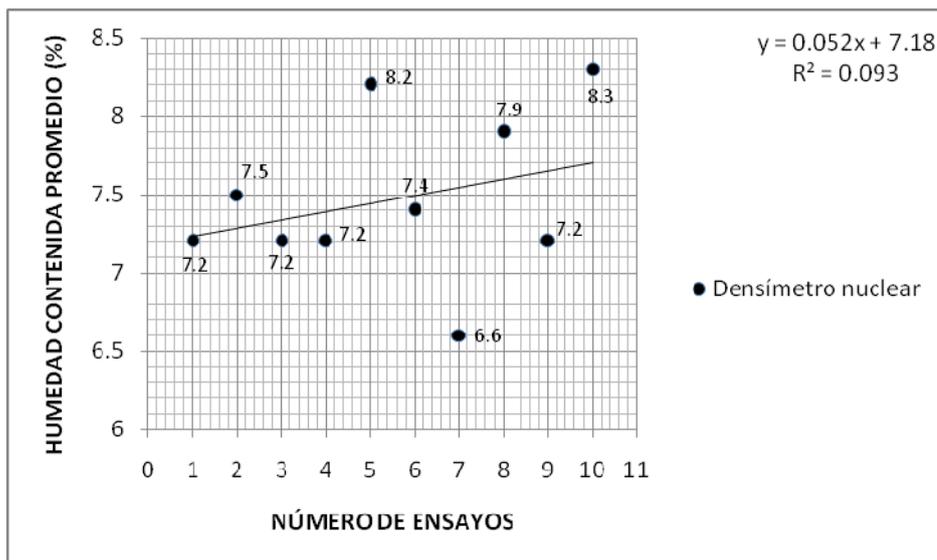


Figura 90. Humedad contenida promedio vrs. número de ensayos (Densímetro nuclear)



APÉNDICE B

INFORMES GENERALES DE RESULTADOS DEL CAPITULO 7.2

a. Capa sub-base

INFORME No E-008-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY

ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)

PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA

FECHA: JUNIO DEL 2,009

MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO				PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO	
	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Sub-base 64+100 Lado Izquierdo	123.8	10.0	128.1	6.8	100.0	123.8	8.2	98.3	
2 Sub-base 64+100 Lado Izquierdo	123.8	10.0	128.6	7.0	100.0	123.8	8.8	100.0	
3 Sub-base 64+100 Lado Izquierdo	123.8	10.0	124.0	8.2	100.0	123.8	9.2	99.2	
4 Sub-base 64+060 Lado Izquierdo	123.8	10.0	127.9	6.0	100.0	123.8	8.3	97.7	
5 Sub-base 64+060 Lado Izquierdo	123.8	10.0	128.6	9.6	100.0	123.8	9.3	97.8	
6 Sub-base 64+060 Lado Izquierdo	123.8	10.0	122.7	9.8	99.1	123.8	9.2	95.3	
7 Sub-base 64+020 Lado Izquierdo	123.8	10.0	125.7	9.2	100.0	123.8	10.0	93.7	
8 Sub-base 64+020 Lado Izquierdo	123.8	10.0	129.1	9.2	100.0	123.8	9.5	95.1	
9 Sub-base 64+020 Lado Izquierdo	123.8	10.0	127.2	8.8	100.0	123.8	9.0	94.9	

INFORME No E-009-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO			PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO		
	DENSIDAD SECA LBIPIE3	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LBIPIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LBIPIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Sub-base 63+980 Lado Derecho	123.8	10.0	113.9	8.8	92.0	123.8	8.9	96.0	
2 Sub-base 63+980 Lado Derecho	123.8	10.0	126.4	8.6	100.0	123.8	9.0	92.0	
3 Sub-base 63+980 Lado Derecho	123.8	10.0	124.1	7.6	100.0	123.8	8.8	97.5	
4 Sub-base 63+940 Lado Derecho	123.8	10.0	127.8	10.0	100.0	123.8	10.1	96.0	
5 Sub-base 63+940 Lado Derecho	123.8	10.0	129.5	9.8	100.0	123.8	8.2	98.6	
6 Sub-base 63+940 Lado Derecho	123.8	10.0	126.1	8.0	100.0	123.8	8.4	98.2	
7 Sub-base 63+900 Lado Derecho	123.8	10.0	128.2	9.0	100.0	123.8	8.6	97.9	
8 Sub-base 63+900 Lado Derecho	123.8	10.0	124.0	8.6	100.0	123.8	7.9	97.4	
9 Sub-base 63+900 Lado Derecho	123.8	10.0	127.9	9.8	100.0	123.8	8.6	96.7	

INFORME No E-010-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO			PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO		
	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Sub-base 63+860 Lado Izquierdo	123.8	10.0	121.0	9.4	97.8	123.8	9.2	93.8	
2 Sub-base 63+860 Lado Izquierdo	123.8	10.0	137.1	10.0	100.0	123.8	9.3	94.9	
3 Sub-base 63+860 Lado Izquierdo	123.8	10.0	128.2	9.8	100.0	123.8	9.4	96.0	
4 Sub-base 63+820 Lado Derecho	123.8	10.0	129.3	8.0	100.0	123.8	8.1	100.0	
5 Sub-base 63+820 Lado Derecho	123.8	10.0	126.6	8.6	100.0	123.8	8.8	100.0	
6 Sub-base 63+820 Lado Derecho	123.8	10.0	123.6	8.2	99.9	123.8	9.1	100.0	
7 Sub-base 63+780 Lado Izquierdo	123.8	10.0	125.0	7.6	100.0	123.8	9.6	93.8	
8 Sub-base 63+780 Lado Izquierdo	123.8	10.0	128.1	7.2	100.0	123.8	9.7	94.2	
9 Sub-base 63+780 Lado Izquierdo	123.8	10.0	130.2	7.4	100.0	123.8	10.4	93.5	

INFORME No E-011-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
FECHA: JUNIO DEL 2,009
MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 60% MATERIAL SELECTO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO				PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO	
	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Sub-base 63+740 Lado Derecho	123.8	10.0	129.0	9.2	100.0	123.8	8.7	100.0	
2 Sub-base 63+740 Lado Derecho	123.8	10.0	129.4	9.0	100.0	123.8	9.7	100.0	
3 Sub-base 63+740 Lado Derecho	123.8	10.0	131.5	8.8	100.0	123.8	8.9	98.8	

INFORME No E-012-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO			PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO		
	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Base 67+700 Lado Izquierdo	135.0	7.5	135.3	7.1	100.0	135.0	7.0	97.0	
2 Base 67+700 Lado Izquierdo	135.0	7.5	137.7	7.7	100.0	135.0	7.4	98.5	
3 Base 67+700 Lado Izquierdo	135.0	7.5	137.0	7.5	100.0	135.0	7.3	96.8	
4 Base 67+660 Lado Izquierdo	135.0	7.5	138.4	7.5	100.0	135.0	7.4	100.0	
5 Base 67+660 Lado Izquierdo	135.0	7.5	139.2	7.7	100.0	135.0	7.6	100.0	
6 Base 67+660 Lado Izquierdo	135.0	7.5	138.7	7.8	100.0	135.0	7.5	100.0	
7 Base 67+620 Lado Izquierdo	135.0	7.5	138.7	6.6	100.0	135.0	7.0	100.0	
8 Base 67+620 Lado Izquierdo	135.0	7.5	139.2	6.7	100.0	135.0	7.4	99.9	
9 Base 67+620 Lado Izquierdo	135.0	7.5	137.8	6.9	100.0	135.0	7.4	100.0	

INFORME No E-013-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO			PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO		
	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIE3	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1	Base 67+580 Lado Derecho	135.0	7.5	137.3	8.9	100.0	135.0	7.1	99.3
2	Base 67+580 Lado Derecho	135.0	7.5	138.0	8.6	100.0	135.0	7.3	99.6
3	Base 67+580 Lado Derecho	135.0	7.5	135.7	8.8	100.0	135.0	7.2	100.0
4	Base 67+540 Lado Derecho	135.0	7.5	141.8	8.2	100.0	135.0	8.1	99.9
5	Base 67+540 Lado Derecho	135.0	7.5	136.8	8.4	100.0	135.0	8.4	100.0
6	Base 67+540 Lado Derecho	135.0	7.5	137.8	8.0	100.0	135.0	8.1	100.0
7	Base 67+500 Lado Derecho	135.0	7.5	140.0	7.8	100.0	135.0	7.4	100.0
8	Base 67+500 Lado Derecho	135.0	7.5	139.8	7.7	100.0	135.0	7.5	100.0
9	Base 67+500 Lado Derecho	135.0	7.5	137.8	7.8	100.0	135.0	7.2	100.0

INFORME No E-014-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO			PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO		
	DENSIDAD SECA LB/PIES	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIES	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIES	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Base 67+460 Lado Derecho	135.0	7.5	138.4	9.2	100.0	135.0	6.5	96.5	
2 Base 67+460 Lado Derecho	135.0	7.5	139.5	9.4	100.0	135.0	7.0	98.0	
3 Base 67+460 Lado Derecho	135.0	7.5	138.2	9.2	100.0	135.0	6.4	96.2	
4 Base 67+420 Lado Derecho	135.0	7.5	137.5	8.0	100.0	135.0	7.9	99.8	
5 Base 67+420 Lado Derecho	135.0	7.5	139.8	8.4	100.0	135.0	8.2	100.0	
6 Base 67+420 Lado Derecho	135.0	7.5	138.7	8.2	100.0	135.0	7.7	99.4	
7 Base 67+380 Lado Derecho	135.0	7.5	137.5	8.0	100.0	135.0	7.0	99.2	
8 Base 67+380 Lado Derecho	135.0	7.5	139.4	8.4	100.0	135.0	7.5	99.8	
9 Base 67+380 Lado Derecho	135.0	7.5	138.4	8.2	100.0	135.0	7.1	99.7	

INFORME No E-015-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
 ASUNTO: DENSIDAD DE CAMPO (AASHTO T-191)
 PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 FECHA: JUNIO DEL 2.009
 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

I.- RESULTADOS:

UBICACION	METODO DE LA ARENA						DENSIMETRO NUCLEAR		
	PROCTOR		RESULTADOS DE CAMPO			PROCTOR	RESULTADOS DE CAMPO		
	DENSIDAD SECA LB/PIES	HUMEDAD OPTIMA %	DENSIDAD SECA LB/PIES	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	DENSIDAD SECA LB/PIES	HUMEDAD CONTENIDA %	COMPACTACION %	
1 Base 67+340 Lado izquierdo	135.0	7.5	136.7	8.4	100.0	135.0	8.2	100.0	
2 Base 67+340 Lado izquierdo	135.0	7.5	140.1	8.2	100.0	135.0	8.0	100.0	
3 Base 67+340 Lado izquierdo	135.0	7.5	137.9	8.6	100.0	135.0	8.6	100.0	

APÉNDICE C

INFORMES DE LA MUESTRA



a. Clasificación general de las muestras

SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No E-007-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
ASUNTO: CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO M - 145
SISTEMA UNIFICADO DE INGENIERIA ASTM D - 2487
PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
FECHA: JUNIO DEL 2.009

I. CLASIFICACION DE ESTRATOS

ESTRATO	% PASA TAMIZ 200	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICIDAD	INDICE GRUPO	CLASIFICACION AASHTO	CLASIFICACION UNIFICADO
---	---	---	---	---	---	---	---
SUB-BASE	5.8	23.2	16.6	6.6	-3	A - 2 - 4 (-3)	GM
BASE	7.4	N.P.	N.P.	N.P.	---	A - 3	GW
---	---	---	---	---	---	---	---

Obs.

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA



Ba. Avenida, 25-54, Zona 8, Valle Dorado, Mixco, Guatemala
Tels: (502) 2477 9092 • 2477 9948 • Fax: (502) 2471-9327



SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No J-002-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
ASUNTO: LIMITES DE ATTERBERG AASHTO T-89, T-90
PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
FECHA: JUNIO DEL 2.009

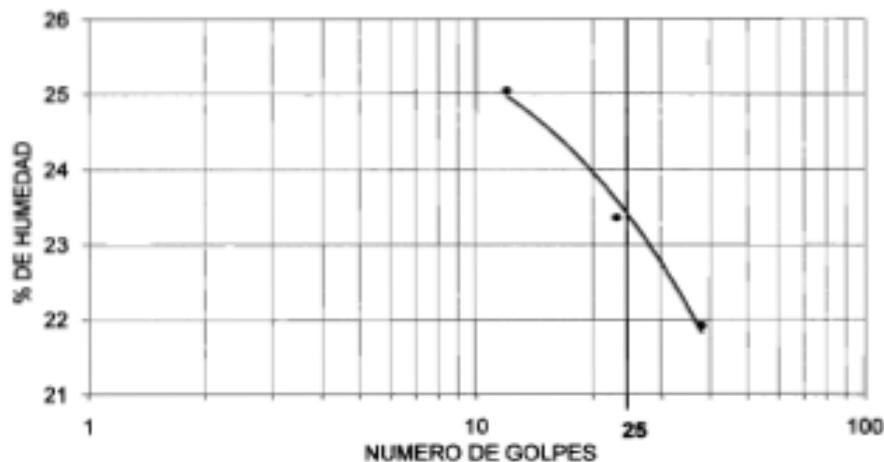
I. IDENTIFICACION

1.1 DESCRIPCION: GRAVA ARENOSA, LIGERAMENTE LIMOSA,
COLOR GRISACEO.

1.2 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL SELECTO COLOR
GRIS Y 50% MATERIAL SELECTO COLOR BEIGE

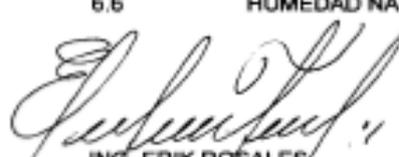
II. RESULTADOS

CURVA DE FLUJO



LIMITE LIQUIDO: 23.2 INDICE DE GRUPO:
LIMITE PLASTICO: 16.6 CLASIFICACION:
INDICE PLASTICO: 6.6 HUMEDAD NATURAL:

Atentamente,

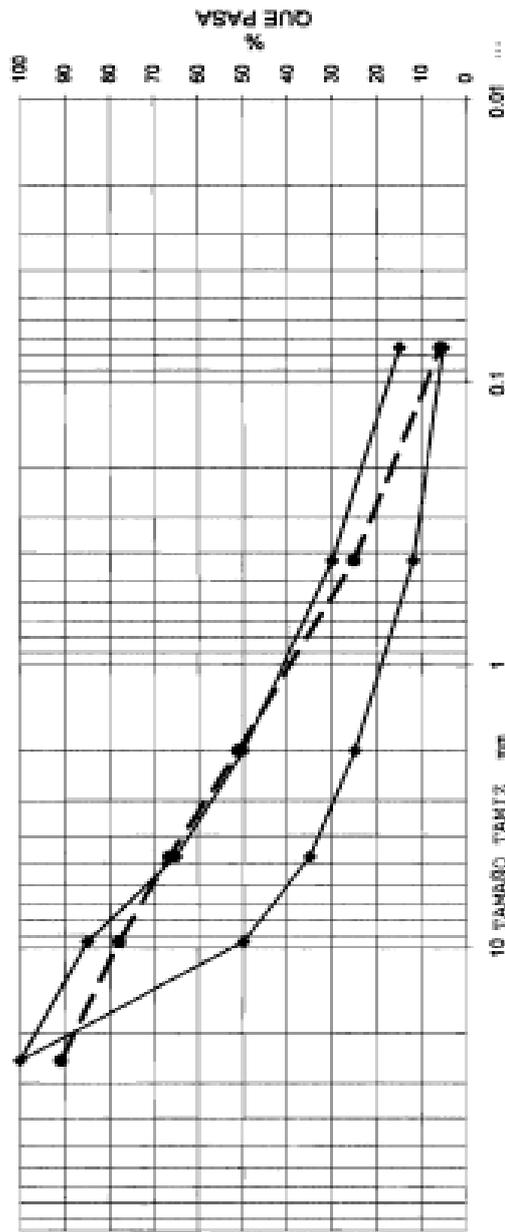

ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA



Ba. Avenida, 25-54, Zona 8, Valle Dorado, Mixco, Guatemala
Tels: (502) 2477 9092 • 2477 9948 • Fax: (502) 2477-9327

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE,
 TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 ASUNTO: ENSAYO DE GRANULOMETRIA, SUB-BASE C - 1 (ASHTO T-27) FECHA: JUNIO DEL 2,009
 MUESTRA: MATERIAL DE SUB-BASE, 50% MATERIAL
 MASAGUA, ESCUINTLA SELETO COLOR GRIS Y 50% MATERIAL
 SELETO COLOR BEIGE

GRAFICA DE GRANULOMETRIA



TAMIZ No	GRAVA		ARENA				LIMO	
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	ARCILLA		
3	2 1/2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	200
75.0	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	9.5	4.8	2.0
% QUE PASA	--	100.0	80.9	66.7	58.7	48.3	35.3	25.3

Atentamente,

Erik Rosales
 ING. ERIK ROSALES

POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





c. Capa base

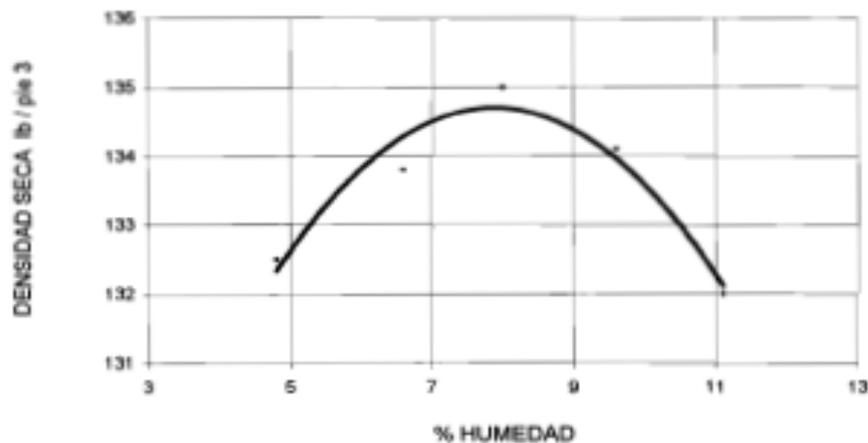
SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No E-004-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
ASUNTO: ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO AASHTO T-180
PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
FECHA: JUNIO DEL 2,009
MUESTRA: MATERIAL DE BASE

GRAFICA DENSIDAD SECA - HUMEDAD RELATIVA



PROCEDENCIA: BANCO RIO GUACALATE

DESCRIPCION DEL SUELO: GRAVA TRITURADA LIGERAMENTE LIMOSA,
COLOR GRISACEO.

DENSIDAD SECA OPTIMA: 135.0 LIBRAS / PIE 3

HUMEDAD OPTIMA: 7.5 %

OBS.

Atentamente,

ING. ERIK ROSALES

POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA



8a. Avenida, 25-54, Zona B, Valle Dorado, Mixco, Guatemala
Tels: (502) 2477 9092 • 2477 9948 • Fax: (502) 2477-9327



SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No E-005-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY
ASUNTO: LIMITES DE ATTERBERG AASHTO T-89, T-90
PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE, TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
FECHA: JUNIO DEL 2,009

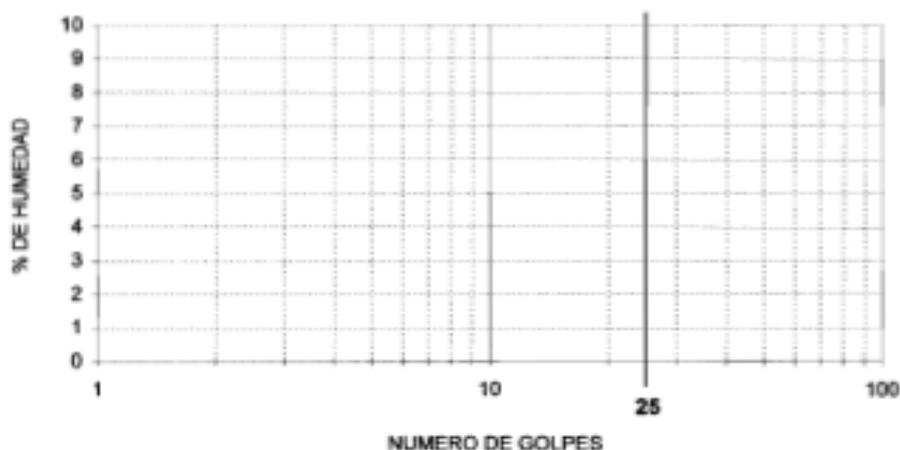
I. IDENTIFICACION

1.1 DESCRIPCION: GRAVA TRITURADA LIGERAMENTE LIMOSA,
COLOR GRISACEO.

1.2 MUESTRA: MATERIAL DE BASE

II. RESULTADOS

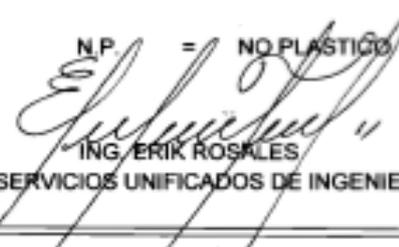
CURVA DE FLUJO



LIMITE LIQUIDO: N.P. INDICE DE GRUPO:
LIMITE PLASTICO: N.P. CLASIFICACION:
INDICE PLASTICO: N.P. HUMEDAD NATURAL:

OBSERVACIONES: N.P. = NO PLASTICO

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

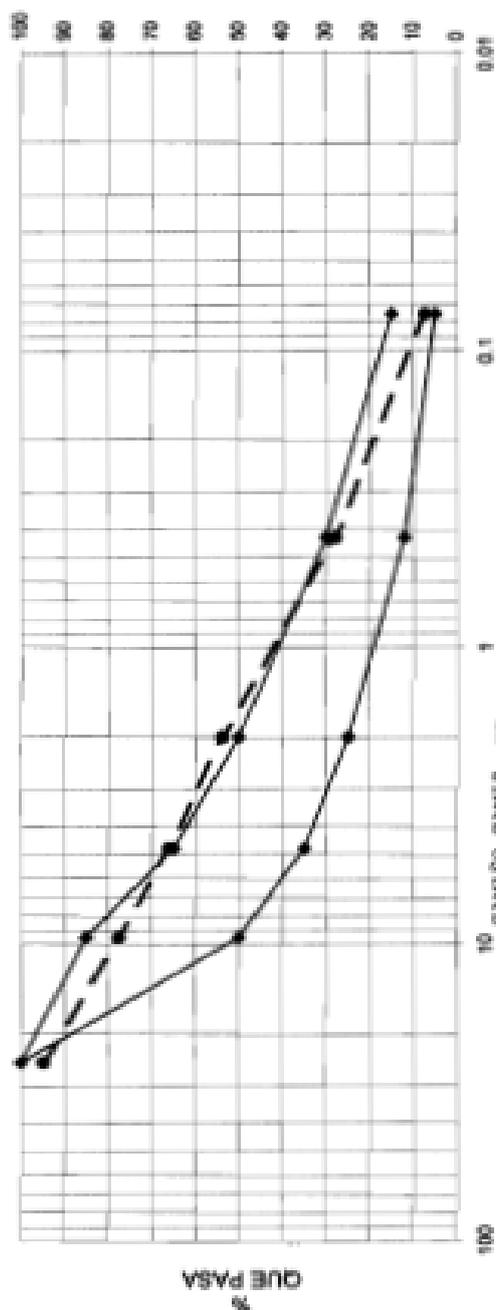


8a. Avenida, 25-54, Zona 6, Valle Dorado, Mixco, Guatemala
Tele: (502) 2477 9092 • 2477 9948 • Fax: (502) 2477-9327

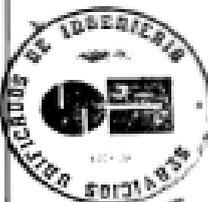
INFORME No E-006-09

INTERESADO: EDDY JOSE ESTUARDO DE LEON MONROY PROYECTO: MASAGUA - PUERTO DE SAN JOSE,
 TRAMO MASAGUA, ESCUINTLA
 ASUNTO: ENSAYO DE GRANULOMETRIA, BASE C - 1 (PASHITO T-27) FECHA: JUNIO DEL 2.009
 SITIO: MASAGUA, ESCUINTLA MUESTRA: MATERIAL DE BASE

GRAFICA DE GRANULOMETRIA



TAMIZ No	GRAVA		ARENA				LIMO	ARCILLA	
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA				
3	2 1/2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	100	200
TAMIZ mm	75.0	60.0	37.5	25.0	19.0	15.0	11.8	0.075	0.045
% QUE PASA	—	—	100.0	94.8	90.9	77.5	—	—	—
			60.1	53.8	—	27.9	—	—	7.4



Erik Mosales
 ING. ERIK MOSALES
 POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

Atentamente,

ANEXOS

OBTENCIÓN DE LICENCIA (DENSÍMETRO NUCLEAR)

DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA

24 calle 21-12 zona 12, Tels. 2477-8746-47/Fax 2478-2007
e-mail: proradge@mem.gob.gt

FORMA: DPSR- LOR

INSTRUCTIVO PARA SOLICITAR LICENCIA DE OPERADOR

(Según el Reglamento de Seguridad y protección Radiológica, Acuerdo Gubernativo No. 355-2001)

1. Presentar **original y fotocopia** del formulario Individual debidamente llenado a máquina o a mano con letra de molde, bien clara.
2. Adjuntar las siguientes **FOTOCOPIAS**:
 - 2.1. Presentar formulario de solicitud de licencia dirigido al Director General de Energía, en hoja (s) de papel bond carta u oficio
 - 2.2. Cédula de Vecindad.
 - 2.3. Título (Profesionales) o Diploma (Técnicos).
 - 2.4. Colegiado Activo vigente (Profesionales).
 - 2.5. Certificado Médico.
 - 2.6. Diploma del Curso Básico de Protección Radiológica, reconocido por esta Dirección.
 - 2.7. Diploma o constancia de cursos aprobados que demuestren experiencia en la práctica para la(s) que solicita esta licencia (Según el Artículo 40, Inciso a), del Reglamento.)
 - 2.8. Para Médicos Radiólogos, Radioterapeutas y Médicos Nucleares, presentar la Constancia de Reconocimiento de la Asociación Civil de Radiología y Terapia Radiante de Guatemala. (Según el Artículo 40, Inciso b)
 - 2.9. Presentar fotocopia recibo cancelado.
 - 2.10. Dos fotos tamaño cédula
3. Para **RENOVACIÓN** de la Licencia de Operador:
 - 3.1 Instructivo que el Departamento de Protección y Seguridad Radiológica proporciona, debidamente llenado
 - 3.2 Adjuntar **fotocopia** de los siguientes documentos:
 - 3.2.1 Licencia de Operador por vencerse (por lo menos con 3 meses de anticipación a la finalización de la vigencia de la licencia, según el Artículo 43 del Reglamento.)
 - 3.2.2 Constancia de haber aprobado un curso de actualización en Protección Radiológica.
 - 3.2.3 Colegiado Activo (Profesionales).
 - 3.2.4 Historial Dosimétrico Integrado del último año de trabajo.
 - 3.2.5 Certificado Médico.
 - 3.2.6 Para Médicos Radiólogos, Radioterapeutas y Médicos Nucleares, presentar la Constancia de Reconocimiento de la Asociación Civil de Radiología y Terapia Radiante de Guatemala.
 - 3.2.7 Presentar fotocopia recibo cancelado
 - 3.2.8 Adjuntar dos fotos tamaño cédula

NOTA:

Esta Licencia tiene una validez de **dos años** de acuerdo a lo establecido en el artículo 43 del Reglamento.

La documentación **completa** debe ser entregada en el Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, de la DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA (24 calle 21-12 zona 12).

DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA

24 calle 21-12 zona 12. Tels. 2477-0746-47/Fax 2476-1307
 e-mail: proredge@nrem.gub.gt

FORMA: DPSR-LOR

**FORMULARIO PARA SOLICITUD DE LICENCIA PARA
 PERSONA INDIVIDUAL**

SEÑOR DIRECTOR GENERAL DE LA DIRECCION GENERAL DE ENERGIA, MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, EL INFRASCRITO:

Nombre: _____
 Fecha de Nacimiento: _____
 Estado Civil: _____
 Nacionalidad: _____
 Profesión u oficio: _____
 Dirección particular: _____
 Dirección para recibir notificaciones: _____

 Teléfono: _____ Fax: _____ E-mail: _____

Respetuosamente, comparezco ante usted, con el objeto de solicitar **LICENCIA DE OPERADOR DE:** Medidores Industriales, practicas Tipo II
 (Especifique de acuerdo a lo seleccionado en las Prácticas tipo I, II, III y IV)

Y al respecto,

EXPONGO:

(OBJETO DE LA SOLICITUD). Que deseo operar, manipular, o manejar:

MARQUE CON UNA "X" LA(S) PRÁCTICA(S) PARA LA(S) QUE SOLICITA ESTA LICENCIA:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| A. PRACTICAS TIPO I | | | |
| • Irradiadores en los que la fuente sale de su blindaje durante la operación..... | <input type="checkbox"/> | • Uso de fuentes en investigación (Fuentes Selladas y No selladas)..... | <input type="checkbox"/> |
| • Aceleradores lineales para uso Médico..... | <input type="checkbox"/> | • Radioisotopos..... | <input type="checkbox"/> |
| • Instalaciones para disposición final de desechos radiactivos..... | <input type="checkbox"/> | • Rayos X de uso Diagnóstico Médico..... | <input type="checkbox"/> |
| • Radiografía Industrial (portátil)..... | <input type="checkbox"/> | • Equipo de Rayos X de Diagnóstico Dental Panorámico..... | <input type="checkbox"/> |
| • Teleterapia de Cobalto-60..... | <input type="checkbox"/> | • Uso de Torio..... | <input type="checkbox"/> |
| • Braquiterapia..... | <input type="checkbox"/> | • Almacenamiento o depósito de Material radiactivo..... | <input type="checkbox"/> |
| B. PRACTICAS TIPO II | | | |
| • Medidores industriales..... | <input type="checkbox"/> | C. PRACTICAS TIPO III | |
| • Irradiadores Autoblandados..... | <input type="checkbox"/> | • Medidores Industriales de baja Actividad..... | <input type="checkbox"/> |
| • Registros Geofísicos..... | <input type="checkbox"/> | • Difractometría..... | <input type="checkbox"/> |
| | | • Rayos X de Diagnóstico Dental..... | <input type="checkbox"/> |
| | | • Ensamblado de Productos de | |

DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA

24 calle 21-12 zona 12, Tels. 2477-0746-47/Fax 2476-2007
e-mail: protege@mem.gob.gt

Por lo anteriormente expuesto, y en cumplimiento con la legislación nuclear vigente en el país, y que para el presente caso prevé la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Ley Nuclear) contenida en el Decreto Ley No.11-86, y a su Reglamento contenido en Acuerdo Gubernativo No. 055-2001, formulo la siguiente:

PETICION:

- a) Que se admita para su trámite la presente solicitud.
- b) Que se tome nota del lugar señalado para recibir notificaciones o citaciones.
- c) Que a mi costa, con las formalidades de Ley y previo a efectuar los trámites de rigor ante esa honorable Dirección, me sea extendida la **LICENCIA DE OPERADOR DE:**
_____ de conformidad con la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Ley Nuclear), Decreto Ley número 11-86 y sus Reglamentos.
- d) Que se tenga por acompañada la documentación antes relacionada.
- e) Acepto que en caso la documentación presentada no cumpla con los requisitos previstos, me comprometo a subsanar los errores u omisiones que se presentaran en un **plazo de diez días** contados a partir de la notificación del mismo, caso contrario la presente solicitud quedará sin ningún efecto ni valor legal.
- f) En cumplimiento a lo establecido en el artículo 39 (Ley Nuclear-Decreto No. 11-86), la Información que presento deberá dársele el carácter de (marque con una x)

PÚBLICA **CONFIDENCIAL**

Acompaño una (1) copia del formulario de la presente solicitud y documentación adjunta.

Municipio:	Departamento:
Fecha:	

(f) _____
FIRMA DEL SOLICITANTE

LEGALIZACIÓN DE FIRMA (por un notario)
(Omitase en caso de renovación)

Beta

Representaciones

Diploma A:

Por haber participado y aprobado el “Curso Básico de Protección y Seguridad Radiológica” con una duración de quince horas, realizado los días y del mes de del , mediante autorización emitida por la Dirección General de Energía y Minas por resolución No. 107-2006 de fecha de del

Beta Representaciones
Avenida Portafino, 22-17 Z. 1,
Teléfono: 055266 - 340000


William Guzmán Tello

Gerente/Representante legal

Expediente: DGE No.254-2006

DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA. Guatemala, once de julio del año dos mil seis.

ASUNTO: **(Unico Apellido)**, solicita la Licencia de Operador de Material Radiactivo (Fuentes Selladas), de conformidad con el Decreto Ley 11-86 que contiene Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes.

RESOLUCIÓN DGE No. 365-2006

Se tiene a la vista para resolver las diligencias al acápite identificado y,

CONSIDERANDO

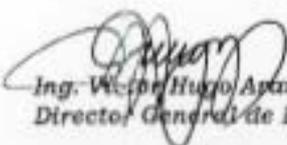
Que es potestad de esta Dirección en su calidad de Autoridad Competente, otorgar la Licencia de Operador y otras actividades relacionadas con el uso de Radioisótopos y las Radiaciones Ionizantes en sus diversos campos de aplicación con el fin de proteger la salud, los bienes y el medio ambiente.

POR TANTO

Esta Dirección General con fundamento en lo considerado y lo preceptuado por los Artículos 5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 19,20, y de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Ley Nuclear), contenida en el Decreto Ley 11-86, y Artículos 1, 2, 3, 26, 29, 30, 34, y 43 del Acuerdo Gubernativo Número 55-2001, del Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes, Artículo 2 del Acuerdo Gubernativo No. 476-2001 al resolver.

DECLARA

- I. Otorgar la Licencia de Operador de Material Radiactivo (Fuente Selladas) al señor **(UNICO APELLIDO)**, bajo los límites y condiciones establecidos en el Dictamen Técnico No. DPSR-AI-LOR-158/2006 de fecha once de julio del año dos mil seis, emitido por el Jefe del Departamento de Protección y Seguridad Radiológica, por lo que se adjunta y forma parte de esta resolución.
- II. Previo pago de la tasa correspondiente extiéndase a costa del interesado la Licencia a que hace referencia la presente resolución.
- III. Notifíquese


Ing. Wilson Hugo Apatzo Pérez
Director General de Energía



GT.

DICTAMEN TÉCNICO No. : DPSR-AI-LO/R-158/2006

FECHA: DE DE

EVALUADA LA DOCUMENTACION TECNICA PRESENTADA POR EL INTERESADO, CON BASE EN LA LEY PARA EL CONTROL, USO Y MANEJO DE RADIONUCLIDOS Y RADIACIONES IONIZANTES (LEY NUCLEAR DECRETO 11-86), Y EL REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (ACUERDO GUBERNATIVO No. 055/2001), EL DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA DE ESTA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA EMITE EL PRESENTE DICTAMEN TÉCNICO CON OPINION FAVORABLE PARA AUTORIZAR LA:

LICENCIA DE OPERADOR
DE MATERIAL RADIATIVO
(FUENTES SELLADAS)

A:

CONFORME LOS LIMITES Y CONDICIONES SIGUIENTES:

LA PRESENTE LICENCIA:

1. La presente licencia es personal e intransferible y es válida exclusivamente para trabajar con el equipo que contiene la fuente radiactiva de Americio 241/Cesio 137 en la práctica de Medidores Industriales (Densímetros Nucleares) práctica tipo II.
2. Tiene una validez de dos años, a partir de la fecha de notificación de la presente, con carácter renovable.
3. Podrá cancelarse o suspenderse en su período si se comprueba que existiera violación o incumplimiento a los preceptos de la Ley según el Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica.
4. La Resolución que la Dirección General de Energía emitirá para tales efectos, dará validez al presente Dictamen Técnico de Licencia de Operador.


MARIO ALEJANDRO TOLEDO AREVALO
Inspector Oficial ARN