

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS
METODOS AASHTO T-191 Y EL
CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

ERICK GERARDO PAREDES FONG

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1,997.


08
T(4108)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

CUMPLIENDO CON LOS PRECEPTOS QUE ESTABLECE LA LEY DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, PRESENTO A SU CONSIDERACION MI TRABAJO DE TESIS TITULADO:

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS
METODOS AASHTO T-191 Y EL
CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO**

TEMA QUE ME FUERA ASIGNADO POR LA DIRECCION DE ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL CON FECHA 26 DE JUNIO DE 1997.



Erick Gerardo Paredes Fong

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO:	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL TERCERO:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL CUARTO:	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL QUINTO:	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIO:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Jorge Alfredo Baechli Alburez
EXAMINADOR:	Ing. Gabriel de Jesús Ramírez Saravia
EXAMINADOR:	Ing. Mario Alberto García Escobar
SECRETARIO:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

Guatemala, 7 de agosto de 1997

Ingeniero
Edgar Daniel De León Maldonado
JEFE DEL AREA DE TRANSPORTES
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA

Habiendo revisado el trabajo de Tesis titulado **Estudio COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS AASHTO T-191 y del CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO**, del estudiante universitario **Erick Gerardo Paredes Fong**; manifiesto a usted que el trabajo de tesis se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos y requisitos del programa dentro del cual se efectuó y por la importancia que tiene y sus aportaciones le doy por aprobado, siendo ambos responsables de su contenido.

Al agradecerle su atención, me suscribo de usted.

Atentamente,


ING. JOSE MANUEL GONZALEZ ARGUETA
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 20 de agosto de 1997

Señor Director
Escuela de Ingeniería Civil
Ing. Jack Douglas Ibarra
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
de Guatemala

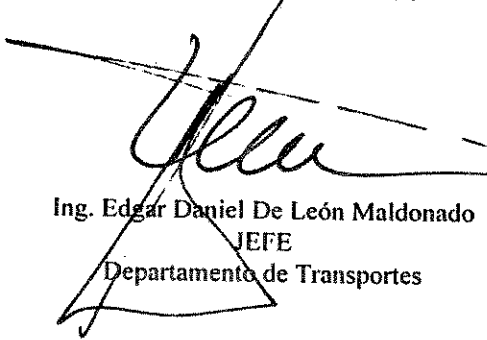
Señor Director:

Como parte de las funciones de la Jefatura de este Departamento he tenido para consideración el trabajo de tesis "ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS AASHTO T-191 Y DEL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO" del estudiante universitario de Ingeniería Civil ERICK GERARDO PAREDES FONG, trabajo que satisface los objetivos planteados y que presenta un aporte significativo para el Area de Transportes, por lo que con aprobación respectiva la remito a esa Dirección para lo pertinente.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Edgar Daniel De León Maldonado
JEFE
Departamento de Transportes



ACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor José Manuel González Argueta y Jefe del Departamento de Transporte Ing. Edgar Daniel de León Maldonado, del trabajo de tesis del estudiante Erick Gerardo Paredes Fong, titulado ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS AASHTO T-191 Y EL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO, da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibaera Solórzano

Guatemala, septiembre de 1,997.



JDIS/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

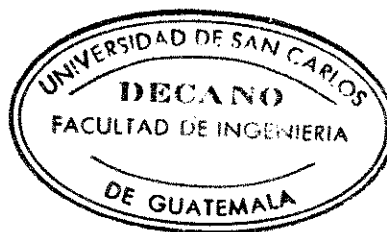
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS METODOS AASHTO T-191 Y EL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO**, del estudiante Erick Gerardo Paredes Fong, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO

Guatemala, septiembre de 1,997



/bbdeb.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios Nuestro Señor: dueño, creador y conocedor de todo cuanto existe, por haberme iluminado con la luz del conocimiento.

Claustro de Catedráticos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por haberme formado profesionalmente.

Dirección General de Caminos por la experiencia adquirida durante los años laborados en dicha Institución.

Ingeniero José Manuel González Argueta, especialmente, por la Asesoría de este trabajo, por su amistad y paciencia.

ACTO QUE DEDICO A:

MI MADRE: Amalia Marlene Fong Maldonado

Por sus sacrificios y encaminar mis pasos hacia la Universidad.
Con amor y respeto.

MI ESPOSA: Ingrid Lissette Rodas

Por su ayuda y apoyo durante mi carrera
Con amor.

MIS HIJOS: Erick Gerardo Paredes Von
Paola Mariel Córdova Rodas

Como ejemplo

MIS HERMANAS: Dra. Mara Hercilia Paredes Fong de Rodríguez
María Laura Paredes Fong de Elías

Con mucho cariño

TODA MI FAMILIA: Imposibles de nombrar uno a uno, pero siempre en mi corazón.

MIS AMIGOS: De manera fraternal

INDICE GENERAL

	Pag.
INDICE DE FIGURAS.....	i
INDICE DE GRAFICAS.....	i
INDICE DE TABLAS.....	ii
GLOSARIO.....	iii
INTRODUCCION.....	v
OBJETIVOS.....	vi
CAPITULO I	1
1. INFORMACION GENERAL.....	2
1.1. CARRETERA.....	2
1.2. TERRAPLENES.....	3
1.3. CIMENTACION.....	4
1.4. COMPACTACION.....	6
1.4.1. PRUEBA PROCTOR NORMAL.....	10
1.4.2. PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (ASTM 1557, AASHTO T-190).....	11
1.5. CAPAS DEL PAVIMENTO.....	13
1.5.1. CAPA DE SUB-BASE.....	13
1.5.2. CAPA DE BASE.....	14
1.5.3. CARPETA DE RODADURA.....	19
1.6. METODOS DE CONSTRUCCION.....	19

CAPITULO II	23
2. DESCRIPCION DE LA DENSIDAD DE CAMPO POR EL METODO AASTHO T-191.....	24
2.1. EQUIPO.....	24
2.2. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	26
2.3. INFORMES.....	30
 CAPITULO III	 31
3. DESCRIPCION DE LA DENSIDAD DE CAMPO POR EL METODO RADIOACTIVO (ASTM D-2950).....	32
3.1. EQUIPO.....	32
3.2. METODOLOGIA DE TRABAJO.....	33
3.3. INFORMES.....	38
 CAPITULO IV	 39
4. COMPARACION DE LOS METODOS AASHTO T-191 Y DEL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO.....	40
4.1. ERROR.....	40
4.2. TIEMPO.....	41
4.3. COSTO.....	41
4.4. AVANCE.....	42
 CONCLUSIONES.....	 vii
RECOMENDACIONES.....	x
BIBLIOGRAFIA.....	xiii

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
figura 1.1. Tamiz No.4.....	10
figura 1.2. Equipo Proctor.....	11
figura 1.3. Operador realizando prueba Proctor AASHTO T-99 ó T-180.	12
figura 2.1. Ilustración de las dimensiones medias de un picnómetro.....	25
figura 2.2. Ilustración de la colocación del picnómetro.....	26
figura 2.3. Operador realizando el ensayo por el método del picnómetro AASHTO T-191.....	27
figura 2.4. Ilustración de la medición de la profundidad del agujero utilizado por el método AASHTO T-191.....	28
figura 3.1. Ilustración del equipo utilizado en la aplicación del método ASTM D-2950.....	33
figura 3.2. Ilustración de la realización de las pruebas de campo con el método ASTM D-2950.....	35
figura 3.3. Esquema de un calibrador de densidad radioactivo.....	37

INDICE DE GRAFICAS

gráfica 1.1. Gráfico práctico del ensayo de compactación.....	7
gráfica 1.2. Gráfico teórico del ensayo de compactación.....	8

INDICE DE TABLAS

	Pag.
tabla 1.1. Ilustración de una especificación técnica a seguir en el proceso constructivo de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.....	20
tabla 2.1. Resultados obtenidos con la aplicación del método AASHTO T-191 (DENSIDAD-HUMEDAD).....	30
tabla 3.1. Resultados obtenidos con la aplicación del método ASTM D-2950.....	38
tabla 4.1. Errores obtenidos en la comparación de los métodos AASHTO T-191 y ASTM D-2950.....	40

GLOSARIO

1. **ALINEAMIENTO:** puntos que sirven de referencia durante un proceso constructivo.
2. **AASHTO:** Asociación Americana de Autopistas y Transporte, por sus siglas en inglés.
3. **AASHTO T-99:** Norma con la que se designa el ensayo de relación de contenido de humedad óptimo-peso seco por unidad de volumen máximo (ensayo Proctor Standard).
4. **AASHTO T-180:** Norma con la que se designa al ensayo de relación de contenido de humedad óptimo-peso seco por unidad de volumen máximo (ensayo Proctor modificado).
5. **AASHTO T-191:** Norma con la que se designa el ensayo de peso seco por unidad de volumen, por medio del picnómetro (o cono de arena).
6. **ASTM:** Asociación Americana de Ensayo y Materiales, por sus siglas en inglés.
7. **ASTM D-2950:** Norma con la que se designa el ensayo de peso seco por unidad de volumen por medio del calibrador de densidad radioactivo.
8. **CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMO:** El porcentaje de humedad (referido al suelo seco), al cual puede obtenerse la densidad máxima del suelo mediante compactación.

- 9. ESFUERZO DE COMPACTACION:** Fuerza por unidad de área aplicada durante el proceso de compactación.
- 10. LIMITE LIQUIDO:** El contenido mínimo de humedad al cual el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido.
- 11. LIMITE PLASTICO:** El contenido mínimo de humedad al cual el suelo permanece en estado plástico.
- 12. MILLIREM:** Milésimo de la unidad utilizada para la medición de la radiación.
- 13. RASANTE:** Superficie expuesta del terreno.
- 14. SATURACION:** El contenido de humedad al cual el suelo no es capaz de absorber más agua por ningún medio.
- 15. SUELO COHESIVO:** El que presenta propiedades de adherencia entre sus partículas, generalmente con partículas de diámetro menor a 0.006 mm.

INTRODUCCION

El presente trabajo es un estudio comparativo entre los principales métodos para el chequeo del peso seco por unidad de volumen en el campo.

Para los efectos del mismo, se realiza la comparación de los rendimientos de tiempo, de costos y avance físico y resultados obtenidos, ya que es muy importante y de mucha utilidad comparar los métodos de comprobación del peso seco por unidad de volumen en el campo (determinación de la densidad del suelo) en la construcción de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc., y al mismo tiempo, hacer el estudio de qué método es más conveniente, por la confiabilidad de sus datos técnicos y la precisión y rapidez para obtenerlos.

Esperando contribuir con este tema, tanto con el profesional de la Ingeniería, que se dedique a este ramo, como con el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil.

OBJETIVOS

- Comparación de los rendimientos de tiempo, en la comprobación de la compactación de campo (determinación de la densidad del suelo) en la construcción de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.

- Comparación de costos y avance físico de las obras de Ingeniería en la comprobación de la compactación de campo (determinación de la densidad del suelo) en la construcción de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.

- Comparación de los resultados obtenidos con los principales métodos para la comprobación de la compactación de campo (determinación de la densidad del suelo) en la construcción de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.

CAPITULO I

INFORMACION GENERAL

1. INFORMACION GENERAL

1.1. CARRETERA:

Es la adaptación de una franja de tierra a una vía de uso público para propósitos de movimientos de vehículos y peatones.

Dicha adaptación implica efectuar trabajos de movimientos de tierra, remoción, homogeneización, tendido y compactación, en el terreno, de los distintos estratos que forman parte de la carretera, por esto se hace necesario, durante las distintas etapas constructivas, efectuar ensayos para la determinación del peso seco por unidad de volumen máximo en el laboratorio y de igual manera en el sitio de compactación de los distintos estratos que forman parte de la carretera.

La compactación en carretera podrá regirse por especificaciones de las cuales la mayoría son del tipo "resultado final", que permiten el empleo de cualquier equipo de compactación con el cual se obtenga el peso por unidad de volumen seco máximo, especificado.

El suelo se compacta en capas denominadas "capas de penetración", y la mayoría de fabricantes califican sus máquinas para compactación de acuerdo con la penetración máxima que cada una de ellas pueda compactar bajo condiciones ideales.

Se recomienda maquinaria de compactación de acuerdo con el tipo de suelo y las dimensiones físicas de la carretera, teniendo cuidado que la penetración asignada sea mayor que la profundidad de la capa de suelo que va a compactarse. Para maquinaria de compactación en carretera la profundidad considerada no debe ser menor de 1/3 de la penetración máxima asignada. Si es necesario especificar capas delgadas, puede emplearse maquinaria para compactación más pequeña para lograr dicha compactación.

Para suelos cohesivos se podrán emplear apisonadores o rodillos vibratorios con nervaduras para incrustar zanjas en el suelo.

Para suelos granulares se podrá emplear una plancha vibradora o rodillo vibrador, también pueden emplearse apisonadores.

Para suelos mixtos se podrá emplear cualquier apisonador o rodillo con nervaduras para incrustar zanjas en el suelo. Algunas planchas vibradoras más rápidas, lo mismo que rodillos pueden emplearse para materiales mezclados.

Tan pronto como se obtenga la densidad especificada se suspende la compactación. Si se continúa suministrando energía de compactación, las partículas del suelo comienzan a moverse y a desviarse por la acción de la presión continua y así se fractura un suelo estable, con el resultado que disminuye el peso por unidad de volumen.

1.2. TERRAPLENES:

Son los depósitos de materiales que se realizan sobre el terreno natural para alcanzar el nivel de sub-rasante.

Los terraplenes pueden compactarse como mínimo al 90% de el peso seco por unidad de volumen máximo, el cual podrá ser determinado por el método AASHTO T-180, y los últimos 30 centímetros del terraplen podrán compactarse como mínimo al 95% del peso seco por unidad de volumen determinado por el método AASHTO T-180.

En secciones de corte, la sub-rasante podrá ser escarificada hasta una profundidad de 30 centímetros por debajo del nivel de diseño de la sub-rasante; a continuación se podrá compactar hasta el 95% del peso seco por unidad de volumen máximo determinado por el método AASHTO T-180 (Proctor Modificado).

En todos los casos la compactación se podrá comprobar en el campo, de preferencia mediante el método AASHTO T-191.

Pueden utilizarse otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

El constructor puede controlar el contenido de humedad adecuado, calentando el material y determinando la humedad a peso constante, o por el método del carburo de calcio, AASHTO T-247, para efectos de tratar de obtener el grado de compactación especificado. Cada capa puede ser nivelada con equipo apropiado para poder asegurar una compactación uniforme, y no puede proseguirse la compactación de una nueva capa, hasta que la anterior llene los requisitos especificados.

1.3. CIMENTACION:

Es una estructura destinada a transmitir las cargas al suelo. El suelo a su vez debe resistir dichas cargas por debajo de su valor soporte para su correcto funcionamiento.

Una buena cimentación puede cumplir como mínimo con los siguientes requisitos:

- a) Puede colocarse a una profundidad tal, que funcione para impedir los levantamientos, las socavaciones o los daños ocasionados por futuras construcciones cercanas.

- b) Puede adecuarse de tal manera que sea segura contra la falla del suelo.
- c) El asentamiento máximo no puede desfigurar o dañar la estructura.

La capacidad de carga de la cimentación, a la que también se le llama estabilidad de la cimentación, es la capacidad de un suelo a resistir una carga aplicada sin que se lleguen a producir fallas dentro de su masa.

Esta capacidad de carga varía con la resistencia del suelo y con la magnitud y distribución de la carga.

Para evitar fallas posteriores por causa de asentamientos en el suelo por debajo de la cimentación, se hace necesario hacer un chequeo del peso seco por unidad de volumen máximo del suelo al nivel del desplante de la cimentación, así mismo en las capas de suelo de relleno hasta llegar al nivel de rasante.

El chequeo del peso seco por unidad de volumen máximo para cimentaciones se puede hacer por el método AASHTO T-191 o por el método del calibrador de densidad radioactivo, para establecer un parámetro comparativo se puede utilizar el método AASHTO T-99 o el método AASHTO T-180 (dependiendo de los requisitos de carga de la cimentación).

Con el cociente del peso seco por unidad de volumen máximo, obtenido por el método AASHTO T-191 (ensayo de densidad de campo), entre el peso seco por unidad de volumen máximo, obtenido por el método AASHTO T-99 o por el método AASHTO T-180 (Proctor de Laboratorio) y multiplicando por cien dicho cociente, se obtiene el porcentaje de compactación del suelo de la cimentación en cuestión.

1.4. COMPACTACION

Cualquier suelo está formado por partículas de diferentes tamaños y diferentes formas, existiendo entre estas partículas espacios intergranulares que se denominan vacíos, los que pueden estar ocupados por aire, agua o ambos a la vez.

Cuando una masa de suelo se encuentra en estado suelto, su volumen es mayor que cuando está en un estado comprimido, es decir, que su volumen de vacíos es mayor, el cual se puede reducir aplicando al suelo una acción de comprimir; a esta operación se le denomina "compactación".

La compactación o reducción de la relación de vacíos se produce de varias maneras: reorientación de las partículas, fractura de los granos o de las ligaduras entre ellos seguida por reorientación y la flexión o distorsión de las partículas y sus capas. La energía que se gasta en este proceso es suministrada por el "esfuerzo de compactación". La eficacia de la energía gastada depende del tipo de partículas que componen el suelo y de la manera como se aplica el esfuerzo de compactación.

En un suelo con alta cohesión, la compactación está acompañada, principalmente, por distorsión y reordenamiento, los cuales son resistidos por las fuerzas de cohesión.

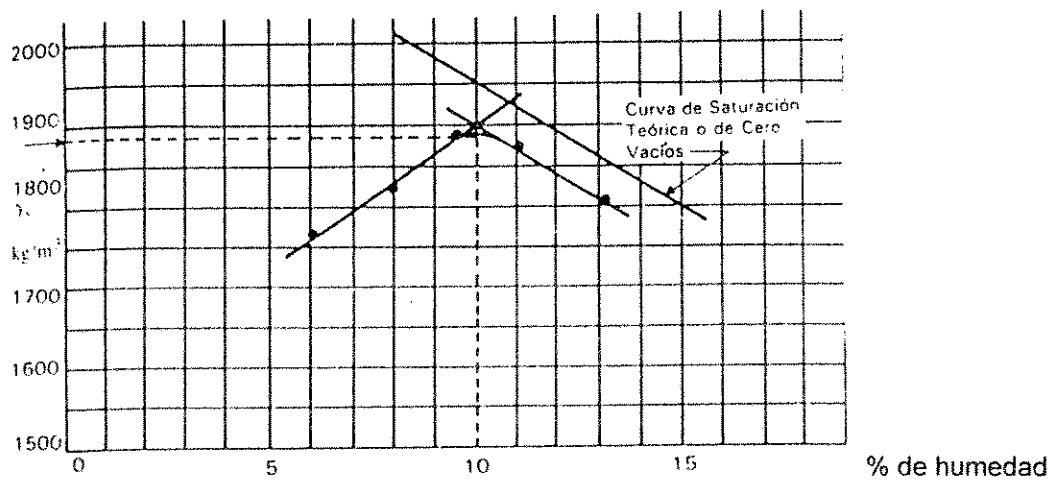
A medida que se incrementa la humedad del suelo, la cohesión disminuye, la resistencia se hace menor y el esfuerzo de compactación más efectivo.

En los suelos no cohesivos o en roca triturada, la compactación se logra principalmente por la reordenación de los granos. La reordenación es resistida por el rozamiento entre los granos. La tensión capilar de la película de humedad entre los granos, aumenta la presión de contacto y por lo tanto la fricción intergranular.

A medida que la humedad aumenta, la tensión capilar disminuye y el esfuerzo de compactación se hace más efectivo.

Si la humedad es muy alta, la compactación y por lo tanto la reducción de la relación de vacíos, tanto en suelos cohesivos como no cohesivos, los lleva a saturarse. El esfuerzo neutro que se crea impide que continúe disminuyendo la relación de vacíos, por lo que, el esfuerzo de compactación adicional que sea aplicado se pierde. La saturación es por todo lo anterior, el límite teórico de la compactación para un contenido de humedad en particular.

Peso seco
por unidad
de volúmen



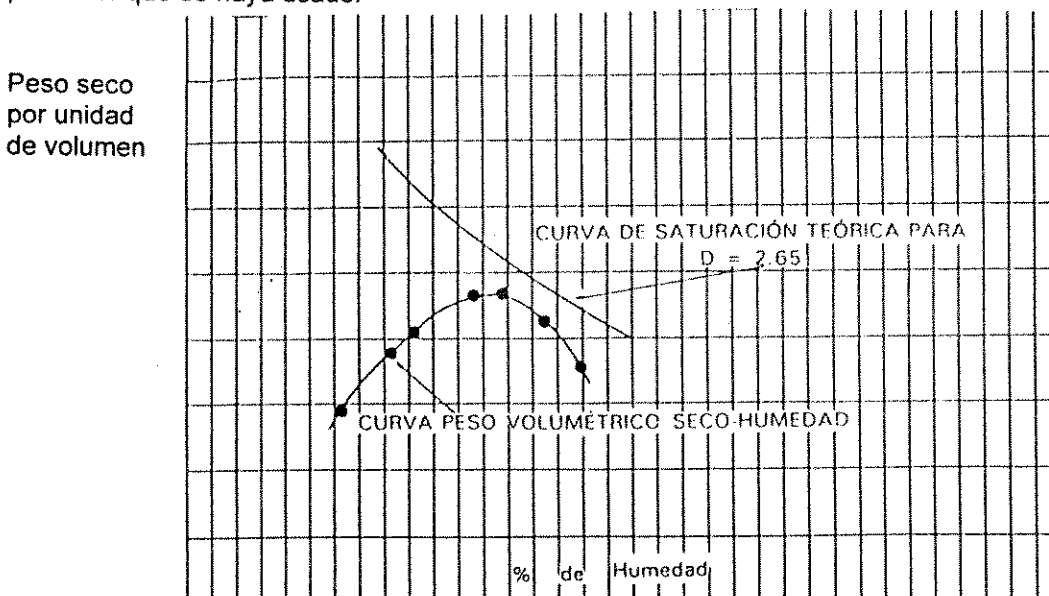
Gráfica 1.1. Gráfico práctico del ensayo de compactación

Se nota la importancia del contenido de humedad en un suelo al compactarlo, al realizar los siguientes experimentos.

Se separa en seis u ocho porciones una muestra de suelo, luego cada porción se satura con diferentes contenidos de humedad, variando ésta desde cero hasta un punto intermedio entre los límites líquido y plástico. Cada porción se compacta a volumen constante en un depósito, con exactamente el mismo esfuerzo de compactación para cada una de las porciones.

Para cada una de las porciones se determina su peso húmedo por unidad de volumen y luego su peso seco por unidad de volumen.

Si se dibuja un gráfico con los contenidos de humedad como abscisas y los pesos secos por unidad de volumen como ordenadas, la curva que resulte tendrá una forma acampanada, pudiendo observarse en este gráfico que existe una determinada humedad, llamada humedad óptima, para la cual el peso seco por unidad de volumen es máximo, para el esfuerzo de compactación en particular que se haya usado.



Gráfica 1.2. Gráfico teórico del ensayo de compactación

Si un segundo grupo de porciones del mismo suelo se prepara con diferentes humedades, como se describe anteriormente y se compacta con una energía diferente se obtendrá una curva similar de contenido de humedad-peso seco por unidad de volumen, pero con humedad óptima y peso seco por unidad de volumen máximo diferentes.

Cuando la energía de compactación que se aplica es mayor, mayor es el peso seco por unidad de volumen máximo y más bajo el contenido de humedad óptimo. La relación entre la energía de compactación y el peso seco por unidad de volumen máximo, no es una relación lineal y se necesita un gran aumento en la energía de compactación para producir un pequeño aumento en el peso seco por unidad de volumen.

La manera como se aplica la energía de compactación tiene efectos significativos en el peso seco por unidad de volumen; en los suelos no cohesivos, así como en la roca triturada, la vibración que produce la fricción entre los granos es particularmente efectiva. En los suelos cohesivos, es más eficaz la presión que fuerza a los granos a tomar nuevas posiciones. Un gran número de aplicaciones de pequeñas presiones no es tan efectivo como el mismo esfuerzo total aplicado en una sola vez, porque, las fuerzas pequeñas no pueden vencer la resistencia de cohesión para mover los granos, no importa la frecuencia con que se apliquen. La duración de la aplicación del esfuerzo de compactación influye a veces en el peso seco por unidad de volumen obtenido.

Se han establecido un número de normas arbitrarias para determinar los contenidos de humedad óptimos y los pesos secos por unidad de volumen máximos, que representan las diferentes energías de compactación, tal como se aplican con equipos mecánicos en la construcción de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc. Las más simples y más comunmente usadas son las pruebas Proctor. Las pruebas se llaman así en honor a su autor, R.R. Proctor, quien fue el primero que desarrolló el concepto de humedad óptima y peso seco por unidad de volumen máximo.

1.4.1. Prueba Proctor normal:

También llamada Proctor Standard (ASTM D-698, AASHTO T-99): con un martillo que pesa 5.5 libras y con 12 pulgadas de caída libre, se efectúa la compactación de tres capas iguales de material colocado en un molde cilíndrico de 4 pulgadas de diámetro y $1/30$ de pie cúbico de capacidad. Si el material, tiene un porcentaje retenido alto en el tamiz número 4 se podrá utilizar el cilindro de 6 pulgadas de diámetro y $1/13.33$ de pie cúbico de capacidad, pero la cantidad de golpes aumentarán a 55 por cada capa.

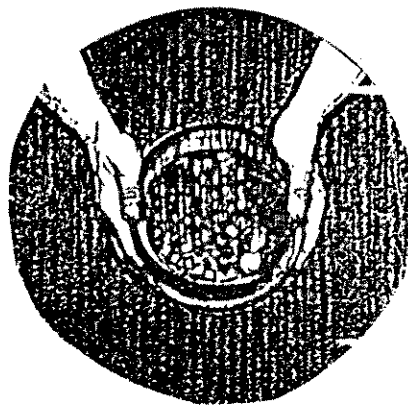


Figura 1.1. Tamiz No. 4

La energía de compactación es de 12,400 libras/pié por pié cúbico, que es similar a la energía de compactación que se obtiene al utilizar equipos de compactación mecánicos ligeros.



Figura 1.2. Equipo Proctor

1.4.2. Prueba Proctor modificada:

(ASTM D 1557, AASHTO T-180):

Con un martillo que pesa 10 libras y con 18 pulgadas de caída libre, se efectúa la compactación de 5 capas iguales de material colocado en un molde cilíndrico de 4 pulgadas de diámetro y 1/30 de pié cúbico de capacidad. La energía de compactación es de 56,200 Libras/pié por pié cúbico, que es similar a la energía de compactación que se obtiene al utilizar equipos de compactación mecánicos pesados.

Para el constructor es conveniente expresar el peso seco por unidad de volumen de campo como un porcentaje del peso seco por unidad de volumen máximo obtenido en las pruebas Proctor. A este valor se le denomina porcentaje de compactación y el procedimiento para calcularlo se describió en la sección 1.3., último párrafo, de este Capítulo. En algunos casos el porcentaje de compactación, es una función del método de ensayo aplicado en el laboratorio.

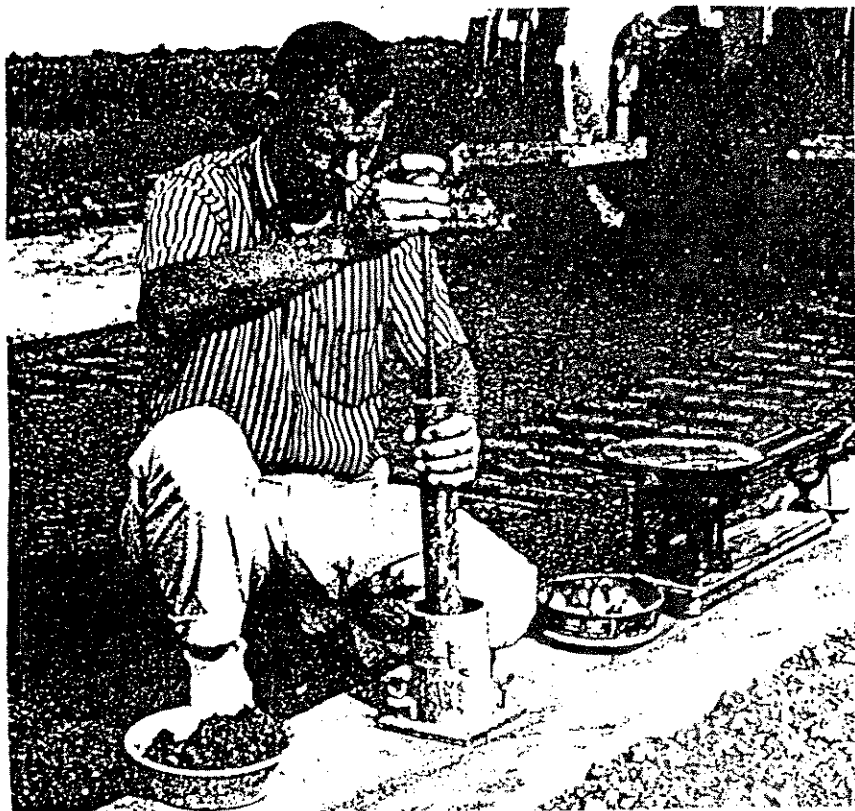


Figura 1.3. Operador realizando prueba Proctor AASHTO T-99 ó T-180

1.5. CAPAS DEL PAVIMENTO

Se denominan pavimentos a las estructuras generalmente integradas por la sub-base, la base y carpeta de rodadura, todo lo cual se construye sobre una sub-rasante bien compactada.

1.5.1. Capa de sub-base:

Es la capa de la estructura del pavimento, destinada a soportar, transmitir y distribuir uniformemente las cargas de tránsito, de manera que el suelo de sub-rasante sea capaz de soportarlas.

La sub-base puede tener un espesor compactado variable, según el tramo de pavimento de que se trate y las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante, pero en ningún caso este espesor puede ser menor de 10 centímetros ni mayor que 70 centímetros.

El constructor puede controlar por medio de ensayos de laboratorio y de campo, la compactación que puede dar al material para lograr el peso seco por unidad de volumen máximo especificado. Se puede tomar una tolerancia del 3% respecto al porcentaje de compactación especificado, este valor de tolerancia o menos se considera aceptable para la capa de sub-base. Se debe efectuar un ensayo por cada 400 metros cuadrados de cada una de las capas que se compacten.

1.5.2. Capa de base:

Se llama así a la capa constituyente de la estructura del pavimento, cuya función fundamental es distribuir y transmitir las cargas de tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se tiende la carpeta de rodadura.

La capa de base, puede compactarse ajustándose razonablemente a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación, hasta lograr el 100% del peso seco por unidad de volumen máximo, determinado por el método AASHTO T-180.

El constructor puede controlar por medio de ensayos de laboratorio y de campo, la compactación que puede dar al material para lograr el peso seco por unidad de volumen máximo especificado. Se puede tomar una tolerancia del 2% respecto al porcentaje de compactación especificado, este valor de tolerancia o menos se considera aceptable para la capa de base. Se debe efectuar un ensayo por cada 400 metros cuadrados de cada una de las capas que se compacten.

1.5.3. Carpeta de rodadura:

El objetivo principal de la carpeta de rodadura es proteger la capa de base, impermeabilizando la superficie, para evitar infiltraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores y posteriormente causar fallas estructurales.

Además, evita el desgaste o desintegración de la capa de base debido al tránsito de vehículos y contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, más aún si tiene un espesor apreciable (mayor de 5 centímetros).

Existen varios tipos de carpetas de rodadura, a continuación aparecen los principales:

- a) Carpeta de rodadura de concreto de cemento: se trata de un pavimento rígido y con alta capacidad soporte, es muy duradero pero con alto riesgo y de difícil mantenimiento.
- b) Carpeta de rodadura de concreto asfáltico en caliente, ésta se trata de lo mejor en carpetas de rodadura cuando está bien construida, pero tiene un costo elevado.
- c) Carpeta de rodadura de concreto asfáltico en frío: pueden usarse asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas.
- d) Tratamiento superficial y sellos: pueden ser simples, dobles o triples. Se realizan con cemento asfáltico (AC), asfaltos rebajados (RC-2), emulsiones (RS), esta es la carpeta de rodadura más barata y usada.

La razón principal para compactar las carpetas de rodadura de concreto asfáltico es para permitirle adquirir capacidad estructural durante períodos largos de tiempo, la compactación fuerza a las partículas del agregado a un contacto cerrado, reduciendo el porcentaje de vacíos a una cantidad óptima y permite que el bitumen asfáltico se adhiera a la mezcla, formando una masa resistente y dura, cuyos resultados son:

a) Estabilidad:

La compactación del concreto asfáltico coloca las partículas del agregado juntas y por esto la fricción entre las partículas del agregado da al pavimento fuerza para soportar cargas pesadas.

b) Cohesión:

La compactación del concreto asfáltico coloca las partículas del agregado juntas y por esto el bitumen asfáltico puede unir la masa efectivamente.

c) Impermeabilidad:

Una compactación apropiada de la carpeta de concreto asfáltico impondrá la condición de resistir la penetración de agua o aire en el pavimento, lo que acortará o alargará la vida útil del pavimento.

Durante la compactación de las carpetas de concreto asfáltico bien diseñadas se obtiene el porcentaje de vacíos apropiados. El porcentaje de vacíos óptimo puede estar entre 3% y 8% para mezclas de relación baja de vacíos. Esto es importante porque un concreto asfáltico para pavimentación con menos de 3% de vacíos, no permite expansión térmica sin causar inestabilidad en la mezcla. Si existen más del 8% de vacíos la impermeabilidad del concreto asfáltico se ve afectada, permitiendo la penetración de agua y aire, deteriorando la unión del asfalto y reduciendo su durabilidad.

Finalmente, la compactación del concreto asfáltico también imparte una superficie suave, limpia, dura y usable al pavimento.

Una vez que el concreto asfáltico ha sido compactado, es necesario efectuar ensayos para determinar su peso por unidad de volumen, para determinar si califica con los requisitos de trabajo. Para la determinación del peso por unidad de volumen para el concreto asfáltico comunmente es utilizado el método de diseño de mezcla Marshall.

De manera análoga, como el ensayo para la obtención del peso seco por unidad de volumen máximo a un contenido de humedad óptimo, se especifica por medio de las pruebas Proctor, así el método Marshall especifica el peso por unidad de volumen contenido en el concreto asfáltico a un contenido óptimo de bitumen asfáltico.

Existen dos métodos básicos usados para revisar el peso por unidad de volumen en el concreto asfáltico compactado: muestra de testigo y prueba de densidad radioactiva.

La muestra de testigo consiste en remover un testigo cilíndrico de 4 pulgadas de diámetro del concreto asfáltico compactado. Este testigo es llevado al laboratorio para ser evaluado. Aunque la muestra de ensayo es exacto, existen algunas desventajas.

Las muestras deben llevarse al laboratorio haciendo el procedimiento lento, con resultados disponibles después que la mezcla se ha enfriado, hasta el punto que ya no sirve para ser compactada. Es caro y antiguo, ya que extraer el testigo interrumpe el pavimento y se requiere después parchamiento.

El calibrador de densidad radioactivo opera en base al principio de que el asfalto denso absorbe más radiación que el asfalto suelto. El calibrador de densidad radioactivo es colocado directamente sobre el concreto asfáltico a ser ensayado. Los rayos gamma de una fuente radioactiva penetran en el asfalto, dependiendo del número de vacíos presente, un número de rayos se refleja en el asfalto. Estos rayos son registrados en un contador; el contador registra visualmente el peso por unidad de volumen del concreto asfáltico en libras por pies cúbicos.

El método del calibrador de densidad radioactivo es preciso y los resultados de la prueba son obtenidos rápidamente en minutos, mientras no se perturba el concreto asfáltico.

Una vez que se haya compactado el concreto asfáltico al peso por unidad de volumen requerido, se debe parar la compactación. Si se continúa compactando la estructura densa comenzará a agrietarse debido a la inhabilidad del concreto asfáltico para absorber más energía de compactación. Los resultados en general son pérdida de densidad y disminución en calidad.

1.6. METODOS DE CONSTRUCCION:

A continuación se presentan observaciones que podrán ser utilizadas en la compactación en el proceso constructivo de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.

- a) Sobre el suelo de sub-rasante se realiza una limpieza para el desalojo de material residual, orgánico, vegetación y raíces, hasta una profundidad en donde se encuentre suelo limpio, pero no menor de 20 centímetros. Se removerán los árboles (con sus raíces) que se encuentran en la zona hasta una distancia de 3 metros de los hombros y el terraplen.

- b) Sobre el terreno natural de sub-rasante, se verificará la no existencia de material orgánico o que el suelo posea un contenido de humedad superior a su límite plástico. Si así pasase se excavará la parte afectada, se extenderá la excavación hasta encontrar suelo con humedades menores y que pueda compactarse de acuerdo a lo especificado en el siguiente párrafo.

La profundidad no excederá los 40 centímetros. Si de todos modos persiste el suelo plástico, se extenderá una capa de 20 centímetros de espesor de material grueso (fragmentos de roca y grava) con un tamaño máximo nominal de agregado de 15 centímetros, la cual se compactará sobre la capa de superficie hasta obtener una superficie de trabajo uniforme. Sobre esta capa se extenderá una capa delgada de arena gruesa, que servirá para cerrar los espacios intergranulares y luego se extenderán las capas de relleno.

Hasta el nivel de estructura existente, el material de relleno podrá tener características similares a la misma, tanto en humedad como en densidad.

El material desalojado podrá triturarse a un tamaño máximo de 15 centímetros y ser utilizado como material de relleno de acuerdo a las especificaciones.

c) El suelo de sub-rasante en excavación y el relleno se deberán compactar como sigue:

Tipo de Suelo	Profundidad desde la Sub-rasante	Porcentaje mínimo de compactación (AASHTO T-180)
A-3 (con un pasa tamiz #200 < 5%)	En cualquier profundidad	98%
A-1, A-2-4, A-3 (con un pasa tamiz # 200 < 5%)	En cualquier profundidad	95%
A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5	Menor a 100 centímetros	95%
A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5	Mayor a 100 centímetros	93%
A-6 a A-7-6	En cualquier profundidad	93%
A-7-6	En cualquier profundidad	90%

Tabla 1.1. Ilustración de una especificación técnica a seguir en el proceso constructivo de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.

En las capas de materiales arcillosos de sub-rasante con límites líquidos superiores al 45% y con un contenido de humedad natural menor a su límite plástico, se podrá requerir su compactación a un 89% con una tolerancia del 2%.

- d) El constructor deberá mantener condiciones óptimas de drenaje durante el procedimiento constructivo. Estas asegurarán la canalización de las aguas superficiales sobre la estructura y sobre sus costados de manera que no queden lagunas de aguas estancadas.
- e) La pendiente de los terraplenes en relleno deberá ser de 2:1, $\frac{1}{2}$:1, 1 $\frac{1}{2}$:1 (horizontal:vertical). La pendiente de los cortes podrá especificarse en función al material encontrado en el estudio.
- f) El material de relleno de los terraplenes se deberá ubicar de acuerdo a la dimensión de su tamaño máximo como sigue:

- 1) En las capas superiores desde la superficie de la sub-rasante y hasta una profundidad de 100 centímetros, el material deberá responder a los siguientes requisitos.

Tamaño máximo nominal del agregado:	7.5 centímetros
Porcentaje pasa tamiz # 10:	50% máximo
Porcentaje pasa tamiz # 40:	30% máximo
Porcentaje pasa tamiz # 200:	20% máximo - 10% mínimo
Límite líquido:	30% máximo
Índice plástico:	12% máximo
C.B.R.:	8% mínimo (a la densidad y humedad de campo)

La granulometría presentará una curva suave y continua de buena graduación.

El material estará limpio de materia orgánica y libre de exceso de humedad.

Las capas se podrán compactar en espesores de 20 centímetros a la densidad máxima de acuerdo a la norma AASHTO T-180.

- 2) Las capas que se encuentren a una profundidad ente 100 y 200 centímetros de la superficie de sub-rasante deberán responder a los siguientes requerimientos:

Tamaño máximo nominal de agregado:	20 centímetros
Porcentaje pasa tamiz # 10:	40% máximo
Porcentaje pasa tamiz # 200:	20% máximo
Límite líquido:	35% máximo
Índice plástico:	15% máximo

- 3) Las capas que se ubiquen entre 200 centímetros y la superficie de la sub-rasante deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

Tamaño máximo nominal del agregado:	30 centímetros
Porcentaje pasa tamiz # 200:	25% máximo

- 4) El constructor deberá cuidar de no dañar las estructuras que se presenten a lo largo del alineamiento, como los estribos de los puentes, estructuras de drenaje, etc.

CAPITULO II
DESCRIPCION DE LA DENSIDAD DE CAMPO
POR EL METODO AASHTO T-191

2. DESCRIPCION DE LA DENSIDAD DE CAMPO POR EL METODO AASHTO T-191

2.1. EQUIPO

- Cono de metal con válvula, conocido en el medio como "picnómetro" cuando está con su frasco.

- 2 frascos grandes de vidrio adaptables al cono de metal (uno de repuesto).

- Bandeja de metal con un agujero circular (del mismo diámetro de la base del cono) en el centro.

- Cuchara

- Tarros de un galón de capacidad.

- Cincel.

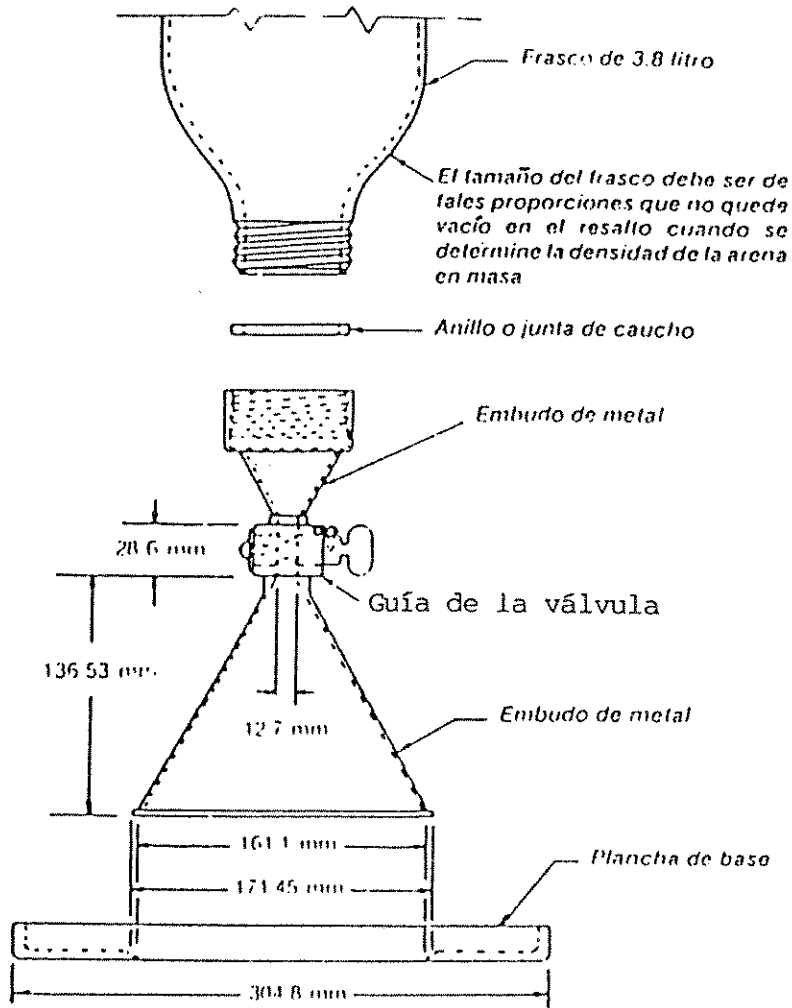
- Martillo

- Arena calibrada (pasa tamiz # 16, retenida por el tamiz # 30)

- Balanza de 11 kilogramos de capacidad, con aproximación de 1 gramo.

- Enseres varios (brocas, barreno, punzón, clavos, etc.)

- Equipo para secar (método del carburo, o estufas portátiles, palanganas, etc.)



Reimpreso con permiso de ASTM D 1556, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.

2.2. METODOLOGIA DE TRABAJO:

- a) En un área rectangular de unos 50 centímetros cuadrados, se elimina todo el material suelto y luego se compacta ligeramente con la propia bandeja; después se nivela y se llenan las partes bajas si fuera necesario para acomodar la bandeja en posición firme.
- b) Se obtiene el peso del recipiente de vidrio con el cono de metal, lleno con la arena calibrada que se va a usar, se llamará a ese peso P1.



Figura 2.2. Ilustración de la colocación del picnómetro

- c) Se procede a la colocación de la bandeja de metal en el sitio de ensayo, se fija bien su posición y se coloca el picnómetro lleno de arena sobre la misma; se abre la llave hasta que deja de pasar la arena, luego se retira y se pesa de nuevo el picnómetro, se llamará a ese peso P2, se recoge la arena y se limpia bien el área.

- d) Con el cincel y el martillo se excava un agujero del mismo diámetro del orificio central de la bandeja de metal, de unos 10 centímetros para tipo A y 15 centímetros para tipo B. El material que se extrae se deposita en un tarro, el cual se tapa con el propósito de no perder humedad. Se pesa el tarro junto con el material extraído.

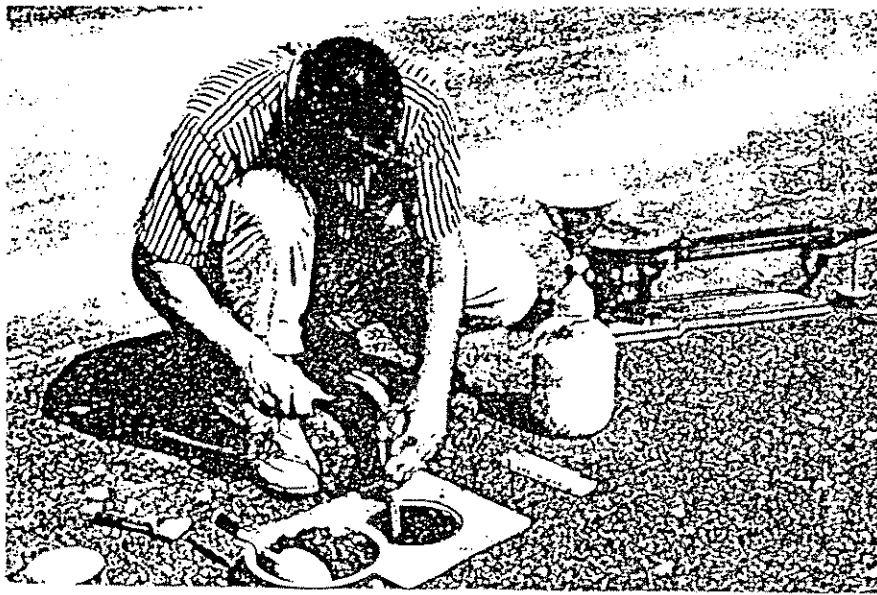


Figura 2.3. Operador realizando el ensayo por el método del picnómetro AASHTO T-191

- e) Se coloca, de nuevo, el picnómetro sobre el orificio central de la bandeja de metal, se abre la válvula y se deja salir la arena hasta que no caiga más, se cierra la válvula del cono, se pesa de nuevo el picnómetro con la arena que quede. Se llamará a este peso P3.

- f) Se recoge la arena contenida en el agujero y sus alrededores, tratando de no recoger ninguna impureza.

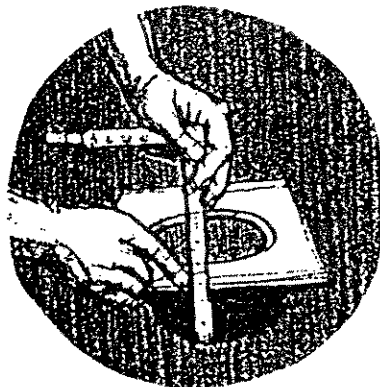


Figura 2.4. Ilustración de la medición de la profundidad del agujero utilizado por el método AASHTO T- 191

- g) Para poder determinar el peso seco por unidad de volumen, se obtiene el contenido de humedad del suelo que se estudia, para lo cual se puede secar todo el material extraído o sólo una muestra.
- h) El volumen del agujero se calcula por medio del cociente del peso de la arena en el agujero entre el peso por unidad de volumen de la arena utilizada en el ensayo.

El peso de la arena en el agujero se obtiene así:

- 1) Se calcula el peso de la arena en el cono como la diferencia entre el peso inicial del picnómetro (P1) y el peso del picnómetro después de haberse colocado y abierto la válvula antes de excavar el agujero (P2), se llamará a este peso (PC).

$$PC = P1 - P2$$

- 2) Se determina el peso de la arena en el cono y en el agujero como la diferencia entre el segundo peso (P2) y el peso obtenido después de vaciar el picnómetro, ya estando abierto el agujero (P3), se llamará a este peso (PCA).

$$PCA = P2 - P3$$

- 3) Para finalizar, el peso de la arena en el agujero se calcula como la diferencia entre el peso de la arena en el cono (PC) y el peso de la arena en el cono y el agujero (PCA), se llamará a este peso (PA).

$$PA = (PCA) - (PC) = (P2 - P3) - (P1 - P2)$$

- i) El peso húmedo por unidad de volumen se calcula como el cociente del peso de la muestra húmeda entre el volumen del agujero.
- j) El peso seco por unidad de volumen se calcula como el cociente del peso húmedo por unidad de volumen entre cien más el contenido de humedad en porcentaje y luego multiplicando este cociente por cien.
- k) El porcentaje de compactación se calcula como el cociente del peso seco por unidad de volumen obtenido en el campo entre el peso seco por unidad de volumen máximo obtenido en el laboratorio y luego multiplicando este cociente por cien.

2.3. Informes

A continuación se presenta la tabulación de los resultados obtenidos en el chequeo del peso seco por unidad de volumen, por medio del método AASHTO T-191, en una estación en el Proyecto Chimaltenango-San Martín Jilotepeque.

DENSIDAD-HUMEDAD

ESTACION:	1	1	1	1					
Distancia de L.C.	2 m.	2 m.	2 m.	2 m.					
COTA	66.15 m.	66.30 m.	66.45 m.	66.60 m.					
No. de Chequeo	1	1	1	1					
No. de Capa	1	2	3	4					
Espesor	15 cm.	15 cm.	15 cm.	15 cm.					
Prof. Hoyo	15 cm.	15 cm.	15 cm.	15 cm.					
Peso Mat. Húmedo	2.31	2.25	2.08	2.16					
Peso Picnómetro 1	9.96	9.95	9.94	9.9					
Peso Picnómetro 2	9.11	9.01	8.97	8.95					
Peso embudo	8.5	9.4	6.97	6.95					
Peso Picnómetro 2	9.11	9.01	8.97	8.95					
Peso Picnómetro 3	6.52	6.34	6.41	6.26					
Peso Arena Total	2.59	2.67	2.56	2.69					
Peso embudo	0.85	0.94	0.97	0.95					
Arena hoyo	1.74	1.73	1.59	1.74					
Volumen hoyo	0.0201	0.0203	0.0187	0.0204					
P.H.U.	112.84	110.5							
P.B.H.	252.5	256.8							
P.U.S.	232.4	235	SPEED						
Diferencia	20.1	21.8							
TARA	151	151							
P.N.S.	81.4	84							
% Hum. de Campo	24.6	26.0	29.2	29					
P.U.S. campo	85.1	84.9	83.5	84					
% Hum. Lab.	36	36	36	36					
P.U.S. Lab.	84.7	84.7	84.7	84.7					
% Comp. campo	100	100.2	98.5	99.1					
% Comp. Esp.	100	100	100	100					

Tabla 2.1. Resultados obtenidos con la aplicación del método AASHTO T-191

CAPITULO III

**DESCRIPCION DE LA DENSIDAD DE CAMPO
POR EL METODO RADIOACTIVO
(ASTM D 2950)**

3. DESCRIPCION DE LA DENSIDAD DE CAMPO POR EL METODO RADIOACTIVO (ASTM D-2950)

3.1. EQUIPO:

- **CALIBRADOR:** instrumento que contiene todos los módulos electrónicos, paquete de baterías recargables y fuentes radioactivas (Figura 3.1).

- **STANDARD DE REFERENCIA:** Este block sirve para dos propósitos.
PRIMERO: Es usado para establecer los conteos standards contra los cuales se proporciona toda medida.
SEGUNDO: Sirve como una referencia conocida repetible para verificar estabilidad a largo plazo.

- **BARRA BARRENO:** Usada con un martillo para hacer el agujero requerido para efectuar medidas de transmisión directa.

- **HERRAMIENTA PARA REMOCION DE LA BARRA BARRENO:** Usada para remover la barra barreno del agujero.

- **PLATO RASCADOR:** Funciona como una guía para la barra barreno y también ayuda a suavizar el punto de prueba.

- **CARGADOR DE BATERIAS PARA CORRIENTE ALTERNA:** Un cargador para corriente alterna que puede operar de 115 a 230 voltios, a 50 a 60 Hertz de frecuencia.

- **CARGADOR DE BATERIAS DE CORRIENTE DIRECTA:** Este cargador operará al ser conectado al receptáculo del encendedor de cigarrillos de 12 voltios, de campo negativo, del sistema de vehículo.

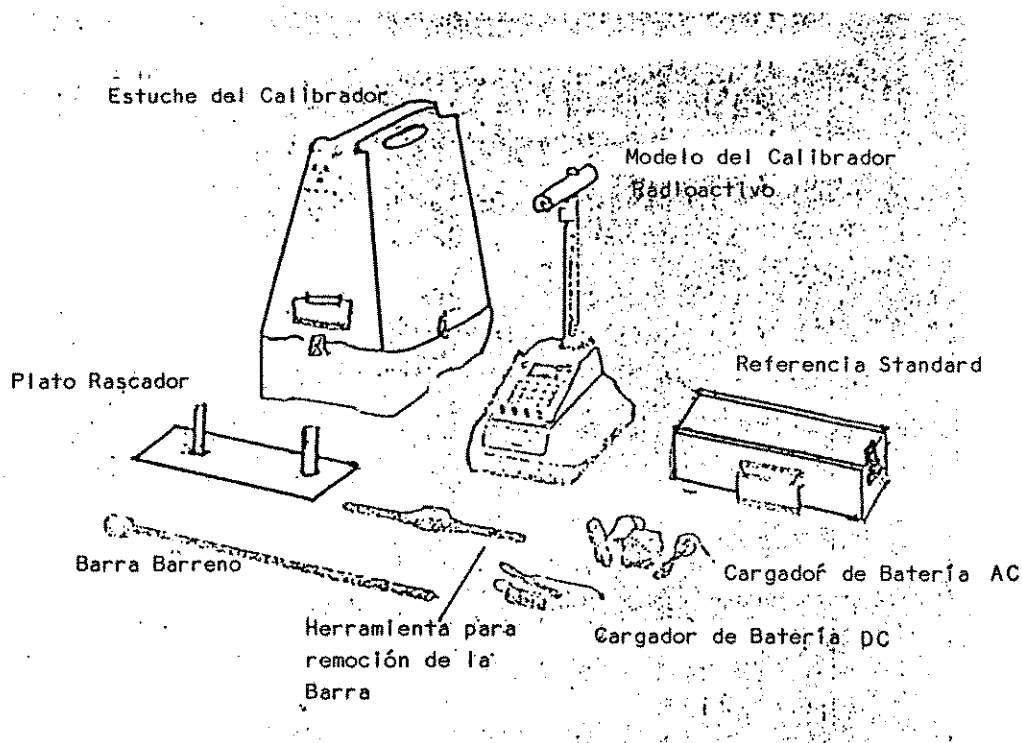


Figura 3.1. Ilustración del equipo utilizado en la aplicación del método ASTM D-2950

3.2. METODOLOGIA DE TRABAJO:

- 1) Encender el calibrador por 10 minutos para permitir a los reguladores y detectores estabilizarse.
- 2) Tomar los controles standards.

- a) Colocar el "standard" sobre una superficie sólida, con peso por unidad de volumen de 1600 kg/m^3 (100 Libras / pié cúbico) o mayor, tal como un suelo compactado, concreto asfáltico o concreto de cemento. El calibrador deberá estar al menos a 3 metros o 10 pies de cualquier objeto grande, como una pared, algún vehículo, etc. No podrá haber otro calibrador en 10 metros o 30 pies de radio.

- b) Colocar el calibrador sobre el standard, con el lado de la escala contra la plancha de metal entre las orillas levantadas. Asegurarse que el calibrador está debidamente sentado en la superficie encajuelada del standard.

- c) Remover el candado que asegura la barra fuente en la posición de "seguro", dejando la barra fuente en la ranura superior.

- d) Colocar el switch Power/Time (Encendido/Tiempo) en slow (lento), posición de 4 minutos. Presionar las teclas SHIFT y STANDARD sobre el panel de teclas simultáneamente. En la ventana de muestra, se verá el conteo del calibrador y ERR en la esquina izquierda superior.

- e) Transcurridos 4 minutos el conteo se detendrá, ambos conteos son almacenados en la memoria de la computadora del calibrador. Presionar la tecla DS para grabar el conteo standard de densidad, presionar la tecla MS para grabar el conteo standard de contenido de humedad.

- f) Devolver el block standard a su estuche.

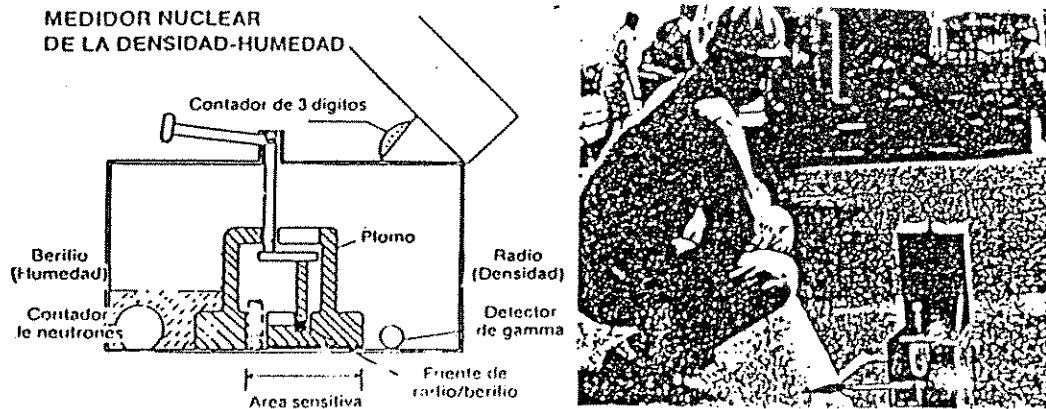


Figura 3.2. Ilustración de la realización de las pruebas de campo con el método ASTM D- 2950

- 3) Efectuar las pruebas de densidad y humedad en el campo (Figura 3.2.)
- a) Si la superficie no es relativamente pareja, usar el plato rascador para suavizar la superficie.
 - b) Usar la barra barreno y la guía de la barra barreno, para hacer un agujero de al menos 50 milímetros (2 pulgadas) más profundo que la profundidad deseada para la prueba. Con la herramienta de extracción remover la barra barreno rotándola y halando hacia arriba. Nunca aflojar la barra barreno golpeándola de lado a lado con el martillo. La barra barreno girará y saldrá fácilmente si es girada después de unas pulgadas de penetración al ser golpeada con el martillo.

- c) Colocar la barra fuente en el agujero perforado por la barra barreno a la profundidad deseada.
- d) Empujar o halar el calibrador para que la barra fuente esté en contacto firme con el lado del agujero que se encuentra hacia enfrente del calibrador.
- e) Encender el indicador de profundidad a la profundidad deseada (cada numeral representa 25 milímetros ó 1 pulgada).
- f) Colocar el switch POWER/TIME a "Normal" (Posición de 1 minuto).
- g) Colocar los switches de corrección de contenido de humedad en "00" o en el valor previamente determinado del factor de corrección.

En los suelos que no han sido previamente chequeados por un calibrador de densidad radioactivo, se deberá obtener una muestra de humedad en el punto de la prueba para determinar, si es necesario, un factor de corrección. Este factor de corrección para un suelo dado, necesita únicamente ser determinado una sola vez. Este puede ser re-usado en futuras pruebas.

- h) Presionar la tecla MEASURE (medida), en la pantalla se verá el conteo del calibrador y ERR en la esquina superior izquierda. Transcurrido 1 minuto el conteo se detendrá.
- i) Presionar la tecla WD para grabar el peso húmedo por unidad de volumen (Kg/m³ o libras/pié cúbico).

- j) Presionar la tecla M para grabar el contenido de humedad (Kg/m^3 o libras/pié cúbico).
- k) Presionar la tecla DD para grabar el peso seco por unidad de volumen (Kg/m^3 o libras/pié cúbico).
- l) Presionar la tecla %M para grabar el contenido de humedad en porcentaje.

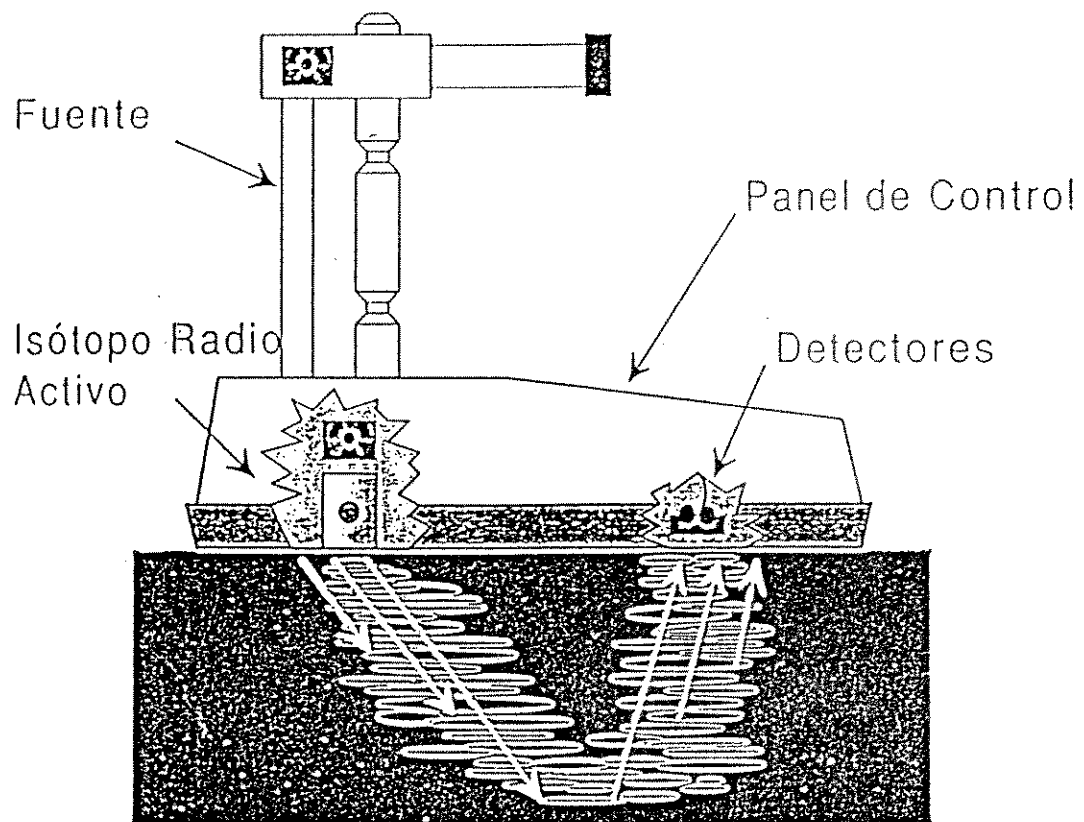


Figura 3.3. Esquema de un calibrador de densidad radioactivo

3.3. INFORMES:

A continuación se presenta la tabulación de los resultados obtenidos en el chequeo del peso seco por unidad de volumen, por medio del Método del Calibrador de Densidad Radioactivo, en una estación en el proyecto Chimaltenango-San Martín Jilotepeque.

Estación	1	1	1	1
Cota	66.15 m.	66.30 m.	66.45 m.	66.60 m.
No. de Chequeo	1	1	1	1
No. de Capa	1	2	3	4
Espesor	15 cm.	15 cm.	15 cm.	15 cm.
P.U.S. campo	76.60	78.2	81.0	82.3
P.U.S. laboratorio	84.7	84.7	84.7	84.7
% compactación campo	90.4	92.3	95.6	97.2
% compactación especificado	100	100	100	100

Tabla 3.1. Resultados obtenidos con la aplicación del método ASTM D-2950

CAPITULO IV

**COMPARACION DE LOS METODOS AASHTO T-191 Y
DEL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO**

4. COMPARACION DE LOS METODOS AASHTO T-191 Y DEL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO

4.1. Error

A continuación se presenta la tabulación de los errores (en porcentaje) obtenidos de los informes para los Métodos AASHTO T-191 y del Calibrador de Densidad Radioactivo; tomando como referencia el Método AASHTO T-191, en una estación en el proyecto Chimaltenango-San Martín Jilotepeque.

Estación	1	1	1	1
Cota	66.15 m.	66.30 m.	66.45 m.	66.60 m.
No. de Chequeo	1	1	1	1
No. de Capa	1	2	3	4
Espesor	15 cm.	15 cm.	15 cm.	15 cm
% Error P.U.S. campo	9.6%	7.88%	2.94%	1.92%

Tabla 4.1. Errores obtenidos en la comparación de los métodos AASHTO T-191 y ASTM D-2950

4.2. Tiempo

En la comparación de los tiempos, para la obtención de resultados finales, en la comprobación del peso seco por unidad de volumen en el campo (determinación de la densidad del suelo), utilizando los Métodos del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) y el método (del picnómetro) AASHTO T-191, se encontró, que el método más eficiente, por su simplicidad y rapidez, resulta ser el del calibrador de densidad radioactivo (ASTM D-2950), tomando entre 5 a 7 minutos obtener los resultados finales de la evaluación del peso seco por unidad de volumen en el campo, mientras que el método (del picnómetro) AASHTO T-191 toma entre 20 a 30 minutos completar la evaluación del peso seco por unidad de volumen en el campo por cada prueba; logrando con el método del calibrador de densidad radioactivo (ASTM D-2950) la reducción de los tiempos entre un 16% a un 23% del utilizado con el método (del picnómetro) AASHTO T-191.

4.3. Costo

En un principio, el costo del Método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), resulta ser el doble del costo que el costo inicial para el Método (del picnómetro) AASHTO T-191, sin embargo, esto queda compensado a mediano plazo, por la eficiencia y versatilidad durante la operación de ensayo en la determinación del peso seco por unidad de volumen en el campo, que ofrece el método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D.2950), lo que permite un mayor avance físico en obra y a la larga pudiera llegar a producir rendimientos.

4.4. Avance

Con base en la experimentación, se logra comprobar que un laboratorista de campo utilizando el método (del picnómetro) AASHTO T-191 será capaz de realizar un máximo de 20 determinaciones del peso seco por unidad de volumen en distintos puntos de la construcción, en una jornada normal de ocho horas de trabajo, este mismo trabajo es capaz de efectuarlo un laboratorista de campo utilizando el método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) en tan sólo dos horas. Por lo tanto se puede apreciar que el avance físico durante la compactación de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc., es 10 veces mayor utilizando el método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) que utilizando el método (del picnómetro) AASHTO T-191.

CONCLUSIONES

1. El método para la evaluación del peso seco por unidad de volumen (determinación de la densidad del suelo) en el campo, con menor costo de tiempo en su operación, resulta ser el Método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), al efectuar la comparación, con el método (del picnómetro) AASHTO T-191. La rapidez en la determinación del peso seco por unidad de volumen utilizando el método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) se hace notar en la práctica por su versatilidad y sencillez en el manejo del aparato en el instante en que se efectúa el ensayo, lo cual conduce a la obtención rápida de resultados finales.
2. El Método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), resulta ser más exacto, en las capas superiores, con un porcentaje de error respecto al método (del picnómetro) AASHTO T-191 cercano a un 2% en la rasante y aumentando hasta cerca de un 10% en capas más profundas, debido a que el ensayo para la obtención del peso seco por unidad de volumen, por medio del método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), se ve afectado en la obtención de resultados finales, por el porcentaje de humedad contenido en el aire de los alrededores del aparato radioactivo en el instante en que se efectúa la evaluación.

3. El Método del Calibrador de Densidad Radiactivo (ASTM D-2950), es preciso a nivel de rasante en la obtención del peso seco por unidad de volumen en el campo y los resultados de la prueba son obtenidos en minutos, además de la precisión y rapidez antes mencionadas, posee la ventaja que el suelo, al cual se le efectúa la prueba, no se perturba durante, ni después de efectuada la misma, en comparación con el método (del picnómetro) AASHTO T-191, con el cual, después de efectuada la prueba, el terreno necesita una reparación de parchamiento para recobrar las condiciones iniciales antes de efectuado el ensayo, incurriendo en más pérdida de tiempo en cada determinación del peso seco por unidad de volumen efectuada.

4. Con esta información el lector tendrá un mejor panorama de lo que son los principales métodos para la evaluación del peso seco por unidad de volumen (determinación de la densidad del suelo) en el campo, así como de las diferentes pruebas para la determinación de la compactación del suelo y los factores que influyen en la selección de equipo para el chequeo de la compactación del suelo y estará mejor preparado, para recomendar el método más adecuado, para cada caso en particular, cuando se efectúan esta clase de trabajos en el campo.

5. Las actuales regulaciones de radicación limitan la exposición de radiación de un individuo utilizando una fuente de radiación en el trabajo a 1250 millirems en 3 meses para un máximo de 5000 millirems en un año.

Bajo condiciones normales, un trabajador, que utiliza el Calibrador de Densidad Radioactivo, durante 40 horas a la semana, puede esperar recibir más o menos 4 millirems por semana o un máximo de 50 millirems en 3 meses, esta cantidad de radiación (recibida por un operador), es tan sólo un 4% del total permitido de 1250 millirems en 3 meses según las actuales regulaciones de radiación.

Utilizando adecuadamente el aparato Calibrador de Densidad Radioactivo, un trabajador en condiciones normales, no pone en riesgo su salud.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización del método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) en sustitución del método (del picnómetro) AASHTO T-191 para la determinación del peso seco por unidad de volumen en el campo, por su rapidez, versatilidad y sencillez en el manejo del aparato en el instante en que se efectúa el ensayo y la rápida obtención de resultados finales en este tipo de evaluaciones. Además, la utilización del método del Calibrador de Densidad Radioactivo en sustitución del método (del picnómetro) AASHTO T-191 permite el ahorro de esfuerzo físico en el laboratorista de campo, lo que resulta en un mayor avance físico de la obra, menos desgaste del equipo y por lo tanto una mayor productividad en el proceso constructivo de carreteras, terraplenes, cimentaciones, etc.
2. Se recomienda no utilizar, el Método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) en sustitución del método (del picnómetro) AASHTO T-191, en capas de suelo demasiado profundas, debido a que el ensayo para la determinación del peso seco por unidad de volumen (determinación de la densidad del suelo) en el campo, con el método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), se ve afectado en la obtención de resultados finales, por el porcentaje de humedad contenido en el aire de los alrededores, del aparato radioactivo, en el instante en que se efectúa el ensayo.

3. Se recomienda la utilización del método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950) en sustitución del método (del picnómetro) AASHTO T-191 en la evaluación del peso seco por unidad de volumen (determinación de la densidad del suelo) en el campo, al nivel de rasante, debido a que el aparato radioactivo, no es afectado en los resultados finales, por el porcentaje contenido de humedad en el aire a este nivel, además, porque al utilizar el método del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), el constructor no se ve afectado, por tener que realizar posteriormente reparaciones de parchamiento en la superficie del terreno como ocurre con la utilización del método (del picnómetro) AASHTO T-191 en este tipo de trabajos.

4. Se recomienda al lector, en caso de necesitar información adicional sobre el tema, consultar la bibliografía pertinente, así como a expertos en la materia. Además, se aconseja tomar muy en cuenta los factores que puedan influir en la selección adecuada de equipo para la determinación del peso seco por unidad de volumen (densidad del suelo) para cada caso en particular, al momento de efectuar esta clase de trabajos, así como también informarse, sobre las especificaciones técnicas, para la operación del equipo, indicadas por el fabricante del mismo.

5. Se recomienda la utilización del Calibrador de Densidad Radioactivo (ASTM D-2950), en sustitución del método (del picnómetro) AASHTO T-191, durante no más de 40 horas a la semana por un mismo operador, debido a las actuales regulaciones de exposición a la radiación, que limitan a un máximo de 1250 millirems de radiación por individuo en un tiempo de 3 meses, para evitar riesgos de salud por la exposición prolongada a las radiaciones emanadas de la fuente radioactiva del aparato. Si el método del Calibrador de Densidad

Radioactivo (ASTM D-2950) es utilizado como se recomienda, el operador no corre riesgos de salud posteriores, porque la cantidad de radiación a que se expone, queda limitada a 50 millirems en 3 meses, que equivale a un 4% del total permitido por las actuales regulaciones de exposición a la radiación por un individuo.

BIBLIOGRAFIA

- Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES. Guatemala, C.A. 1975

- Secretaría Permanente del Tratado General de Integración Económica Centroamericana. MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS, ALCANTARILLAS Y PUENTES. Imprenta Color. Guatemala, C.A. 1974

- Anckermann Alvarez, Enrique. MANUAL PARA LABORATORISTAS DE SUELOS EN CONSTRUCCION DE CARRETERAS. Tesis de Graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1969.

- Crespo Villalaz, Carlos. MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES. Editorial LIMUSA. Cuarta Edición. México, D.F. 1994.

- Wacker Corporation. MANUAL DE ASFALTO. N92 W15000, Anthony Ave. Menomonee Falls, WI 53052, 1994.

- Wacker Corporation. COMPACTACION DE SUELO Y MAQUINAS PARA COMPACTAR EN AREAS DE TAMAÑO LIMITADO. N92 W15000, Anthony Ave. Menomonee Falls, WI 53052. Diciembre 1996.

- Dirección General de Caminos. DIVERSOS DOCUMENTOS DE ARCHIVO. Guatemala, C.A.

- Dirección General de Caminos. MANUAL DEL OPERADOR PARA EL CALIBRADOR DE DENSIDAD RADIOACTIVO. Serie 3400. Guatemala, C.A. 1992.

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central