



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL GRADO DE COMPACTACIÓN PARA LA
CAPA DE BASE DE UN PAVIMENTO ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL
Y LA UTILIZACIÓN DEL MARTILLO DE IMPACTO PARA SUELOS ”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
MANUEL CALDERÓN GUZMÁN**

**ASESOR:
ING. ALEJANDRO PERALTA ARNAUD**

MORELIA, MICHOCÁN, JUNIO DEL 2006.





UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE
INGENIERÍA CIVIL
03/04-05

SE ACEPTA
TEMA DE TESIS

Morelia, Mich., a 07 de Septiembre de 2005

C. P.I.C. MANUEL CALDERÓN GUZMÁN
P R E S E N T E.-

En contestación a su atenta solicitud de fecha 07 de septiembre de 2005, respecto a la propuesta de tesis para sustentar examen profesional de **Ingeniero Civil**, me es grato comunicarle que se acepta el tema:

"Estudio comparativo del grado de compactación para la capa de base de un pavimento, entre el método tradicional y la utilización del martillo de impacto para suelos" el cual deberá desarrollar con el índice siguiente:

1. Introducción.
2. Pruebas de laboratorio.
3. Pruebas de compactación de campo.
 - 3.1 Método tradicional (Método de la arena)
 - 3.2 Método del martillo de impacto para suelos.
4. Obtención de resultados.
5. Análisis comparativo de resultados.
6. Conclusiones.

Bibliografía.

De igual manera se le comunica que el **C. Ing. Alejandro Peralta Arnaud**, ha sido designado asesor de su tesis.

Sírvase tomar en cuenta que, en cumplimiento a lo especificado por la Ley de profesiones, deberá prestar su servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar examen recepcional.

ATENTAMENTE


Ing. Felipe Sánchez Ramos
Director de la Facultad de Ingeniería Civil

FACULTAD
DE INGENIERIA
CIVIL
U.M.S.N.H.

FSR*JCM*delc





INDICE.

CAPITULO 1 INTRODUCCION

- 1.1 Sistemas de calidad
- 1.2 Normas
- 1.3 Certificación

CAPITULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO

- 2.1 Determinación de los límites de plasticidad y la contracción lineal
 - 2.1.1 Límite líquido de un suelo por el método estándar
 - 2.1.2 Límite líquido de un suelo por el método simplificado
 - 2.1.3 Límite plástico
 - 2.1.4 Índice plástico
 - 2.1.5 Contracción lineal
- 2.2 Determinación de la composición granulométrica mediante el uso de mallas
 - 2.2.1 Análisis granulométrico simplificado
- 2.3 Valor relativo de soporte estándar
- 2.4 Determinación del equivalente de arena
- 2.5 Desgaste de los Ángeles
- 2.6 Pruebas de compactación
- 2.7 Prueba aastho estándar y modificada
- 2.8 Determinación de la forma de la partícula





CAPITULO 3

PRUEBAS DE COMPACTACION DE CAMPO

- 3.1 Determinación del grado de compactación
 - 3.1.1 Generalidades
 - 3.1.2 Fundamentos de la compactación
 - 3.1.3 Beneficios de la compactación
 - 3.1.4 Determinación de la humedad o contenido de agua de los suelos en campo
- 3.2 Método tradicional (método de la arena)
 - 3.2.1 Determinación del peso específico en el lugar por el método del cono y la arena
- 3.3 Método del martillo de impacto para suelos
 - 3.3.1 Manual de instrucciones del compactómetro electrónico
 - 3.3.2 Prueba funcional del compactómetro
 - 3.3.3 Uso del compactómetro
 - 3.3.4 Resultados de prueba
 - 3.3.5 Prueba de campo
 - 3.3.6 Valores de impacto
 - 3.3.7 Correlación con los valores y el c.b.r
 - 3.3.8 Cuidado del compactómetro
 - 3.3.9 Detalles de especificaciones

CAPITULO 4

OBTENCION DE RESULTADOS

- 4.1 Requisitos de granulometría de los materiales para bases
- 4.2 Resultados de la calidad de la base
- 4.3 Resultados de la compactación por el método tradicional
- 4.4 Valores obtenidos con el martillo de impacto





CAPITULO 5

ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

5.1 Resultados obtenidos con grados de compactación inferiores al 100%

5.1.1 Observaciones a los resultados obtenidos inferior al 95%

5.2 Resultados obtenidos con grados de compactación cercanos al 100%

5.2.1 Observaciones a los resultados obtenidos cercanos al 100%

5.3 Resultados gráficos

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

6.1 Ventajas

6.2 Desventajas

6.3 Conclusiones

6.4 Conclusión final

BIBLIOGRAFIA





CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Día con día el ingeniero civil, con el propósito de servir mejor a la sociedad. Aplica sus conocimientos técnicos, con la convicción no solo de proyectar y construir, sino que al hacerlo, se tenga la firme certeza que las obras se construyan adecuadamente, sirviendo al máximo para el beneficio de la sociedad.

Para que todas la obras se desarrollen con los coeficientes de seguridad, sin hacerla antieconómica por construirla con exceso de materiales, pero tampoco con riesgo de falla parcial o total por quedar escasa de materiales o con calidad deficiente en los mismos, es necesario apoyarse en un buen proyecto pero también y como complemento primordial es necesario implementar en las obras un proceso de control de calidad, el cual nos permite conocer la calidad de los materiales que serán empleados en las obras y también será el encargado de revisar el proceso para que estos materiales se apliquen adecuadamente.

El control de calidad, en la actualidad es imprescindible en cualquier rama de la producción. O de prestación de servicios; con mayor razón en la construcción de obras de servicio duradero, tanto de orden particular o de infraestructuras necesarias para el progreso de un país.

Con los acontecimientos de los sismos de septiembre de 1985, sobretudo en la CD. de México, df., se tuvieron una gran cantidad de obras que sufrieron daño estructural parcial y en otros casos el colapso. y se observo que algunas

Eran obras de reciente creación construidas no hacia mucho tiempo, y no reunían la calidad en los materiales que se habían contratado para su construcción y en algunos casos ni siquiera existían tales materiales, por ejemplo, si un elemento tenia que llevar cuatro varillas resulta que tenia 2 o menos, el concreto era fácilmente desmoronable lo que indicaba poca resistencia estructural.

Lo anterior ocasiono que estas obras se colapsaran total o parcialmente, donde lamentablemente con ello hubo muchas perdidas humanas, es entonces cuando las dependencias gubernamentales comienzan a dar mas importancia a la vigilancia y





supervisión de las obras en cuanto a los procesos de construcción y a la calidad de los materiales que se utilizarán en las obras, dando paso así, a que el control de calidad se volviera necesario primero en obras grandes y posteriormente haciendo hábito hacia los particulares para que en la actualidad ya esta práctica sea más común entre la gente dedicada a la construcción.

La función principal es la de servir en el aseguramiento de la calidad de la obra, desde el estudio de los materiales existentes sobre lo que se construirá dicha obra. El estudio de los materiales que intervendrán en la construcción de las diferentes etapas que constituyen una estructura, para en caso de ser necesario modificar las calidades de los materiales o su sustitución total, por aquellos que si cumplan con las normas o especificaciones que aseguren un buen funcionamiento, resistencia, estabilidad y una mayor durabilidad, a través de un menor costo.

Posteriormente el laboratorio de control de calidad, verificará que se cumpla con el empleo de los materiales propuestos en el proyecto, el tratamiento a que se deberán someter previamente al proceso constructivo dentro de la estructura propuesta.

Para que un buen laboratorio de control de calidad cumpla con los objetivos previstos, es necesario que tenga la información necesaria para tal fin, algunos son de suma importancia, que en caso de no contar con ellos no se cumplirá con los objetivos deseados dentro de algunos de los más importantes son los siguientes:

- + Conocer el proyecto ejecutivo de la obra.
- + Conocer los procesos constructivos del proyecto.
- + Tener un perfecto conocimiento de las pruebas a realizar.
- + Contar con un personal capacitado.
- + Contar con el equipo necesario, para la realización de las pruebas.

Para que un laboratorio de control de calidad funcione adecuadamente y sus pruebas y datos que proporcionen tengan credibilidad, es necesario que las pruebas se realicen dentro del marco de las normas oficiales establecidas por las diferentes dependencias nacionales o extranjeras, además de tener un buen conocimiento de los objetivos a desarrollar, del equipo, procedimientos de prueba y métodos de informe.

Uno de los aspectos más importantes dentro del buen funcionamiento del laboratorio, es el de tener un conocimiento previo de las normas o especificaciones de los





materiales que se utilizaran en la obra que supervise o verifique, para detectar oportunamente la variación de la calidad de los materiales o de los procedimientos constructivos y reportarlos con toda oportunidad, corregir las anomalías para que no sea afectada la calidad de la obra.

1.1 Sistemas de control de calidad.

El control interno de calidad, es el control ejercido por el laboratorio, con el fin de obtener resultados uniformes que cumplan con las normas establecidas y con cualquier requisito adicional especificado que haya sido acordado en la obra.

La esencia del control de calidad, es la utilización de los resultados de pruebas realizadas a las materias primas, para tercerías, pavimentos, concreto fresco, acero, entre otros, con el objeto de mantener y regular la calidad de la producción de acuerdo con los requisitos especificados.

- ✚ Muestreo y pruebas al azar en los materiales que integran la construcción, para determinar en forma continua la resistencia de los mismos de acuerdo a las pruebas de laboratorio.
- ✚ Análisis sistemático de los resultados de las pruebas de campo para evaluar la calidad continuamente.
- ✚ Revisión de las proporciones reveladas por el análisis para mantener la calidad al nivel requerido.

El principal propósito del control de calidad es asegurar que la resistencia especificada sea alcanzada con este fin, los materiales utilizados en la obra deben elegirse de tal manera que la resistencia promedio exceda la resistencia especificada por un margen apropiado.





Este margen lo determinan los dos siguientes factores:

- ✚ las especificaciones de los porcentajes de falla permitidos.
- ✚ el método de control de calidad, incluyendo la frecuencia de pruebas y el proceso de análisis de los resultados.

Con la verificación de la operación y equipo, la certificación de instalaciones y los sistemas de control de calidad, el productor puede mas fácilmente asegurar el cumplimiento de las especificaciones de la operación para satisfacción de “nuestro máximo inspector: el cliente”.

1.2 Normas.

Como en cualquier control de calidad, se deben de reproducir las normas mexicanas a las que voluntariamente son sometidos los materiales o conjunto de materiales.

En esta nueva era con la construcción de obras de alta calidad, creemos que es indispensable la constante actualización de nuestra normatividad. Para precisamente actualizar estas normas a la tecnología moderna de nuestros materiales.

1.3 Certificación.

La actual implementación de los programas de aseguramiento de calidad en todas las industrias obliga a la certificación de las operaciones, el personal, los productos, el diseño, los servicios, etc. La industria de la construcción siempre ha sido pionera de la normalización y ahora nuevamente lo demuestra la industria del cemento y otras afines han sido las primeras en desarrollar y aplicar normas en la industria de la construcción en nuestro país y el extranjero.

Esta certificación no ha quedado distante de la ingeniería civil, como por ejemplo los laboratorios de control de calidad están implementando en sus procesos esta certificación, siendo las empresas de este tipo las mas interesadas y preocupadas en entrar a este sistema, tienen actualmente en México algún buen numero de laboratorios acreditados ante las dependencias u organismos regidores de estos procesos.





Así también, en el presente trabajo nace la inquietud, de buscar métodos más rápidos y efectivos para facilitar el trabajo de la gente de campo o laboratoristas, para determinar más fácilmente los grados de compactación en una capa de base que forma parte de la estructura de un camino.

En la actualidad la mayoría de los laboratorios de control de calidad, utilizan el método tradicional para obtener los grados de compactación en las capas de un pavimento, siendo este método, un proceso lento, rudimentario y agotador para la gente que lo realiza, para ello se tratara en este trabajo determinar, que tan efectivo es la utilización del martillo de impacto o clegg para este mismo fin, ya que si se llega a demostrar que es confiable el resultado, los tiempos y el esfuerzo de los técnicos que realizan estas pruebas, se puede optimizar y con ello se lograra un avance mas hacia el lado tecnológico, donde también la ingeniería civil tiene que ir caminando día con día.





CAPITULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO

En este capitulo mencionaremos únicamente las pruebas de laboratorio que intervienen y determinar la calidad de una base hidráulica. Es necesario precisar que se analiza particularmente esta capa debido a que es la parte de la estructura del pavimento donde esta enfatizado el presente trabajo.

Capa de base:

Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la sub-base, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que esta le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a las capas inferiores, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea.





Para determinar la calidad de una base se realizaran las siguientes pruebas, siendo estas un factor fundamental como son:

-  **limites de consistencia**
 - Limite líquido**
 - Limite plástico**
 - Índice plástico**
 - Contracción lineal**
-  **granulometría**
-  **valor relativo de soporte**
-  **desgaste de los Ángeles**
-  **equivalente de arena**
-  **prueba aashto estándar**
-  **prueba aashto modificada**
-  **prueba estática (porter)**
-  **determinación de la forma de la partícula**

2.1 Determinación de los limites de plasticidad y de la contracción lineal.

Los métodos de prueba a que se refiere, tienen por objeto conocer las características de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla núm. 0.425, cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos.

La plasticidad es la propiedad de algunos suelos que les permite, bajo ciertas condiciones de humedad, mantener la deformación producida por un esfuerzo que les ha sido aplicado en forma rápida, sin agrietarse, desmoronarse o sufrir cambios volumétricos apreciables. Esta propiedad es originada por fenómenos electroquímicos, que propician la formación de una capa de agua absorbida de consistencia viscosa, alrededor de las partículas, cuyo efecto en la interacción de dichas partículas determina el comportamiento plástico del suelo.

De acuerdo con su contenido de agua, los suelos pueden estar en alguno de los siguientes 5 estados de consistencia.





- ✚ **Estado líquido**, es el que presentan los suelos cuando manifiestan las propiedades de una suspensión.
- ✚ **Estado semilíquido**, cuando los suelos tienen el comportamiento de un fluido viscoso.
- ✚ **Estado plástico**, en el cual los suelos presentan las propiedades de plasticidad señaladas en el párrafo a) de este inciso.
- ✚ **Estado semisólido**, en el que la apariencia de los suelos es la de un sólido; sin embargo, al secarse disminuyen de volumen.
- ✚ **Estado sólido**, en el que el volumen de los suelos no varían aún cuando se les someta a secado.

Las fronteras entre los estados de consistencia mencionados en el párrafo b) de este inciso, fueron establecidos por atterberg bajo el nombre general de límites de consistencia, los cuales se indican a continuación:

- ✚ **Límite líquido**, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semilíquido y plástico.
- ✚ **Límite plástico**, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados plásticos y semisólido.
- ✚ **Límite de contracción**, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semisólido y sólido.

A la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico, se le denomina **índice plástico**.

La contracción lineal de un suelo es la reducción del volumen del mismo, mediante en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido o hasta la del límite de contracción.

Para definir las características de plasticidad de los suelos se utilizan el límite líquido, el índice plástico y la contracción lineal.





2.1.1 Para la determinación del limite liquido de un suelo por el método estándar, se emplea el procedimiento de casagrande, según el cual se define como limite liquido el contenido de agua de la fracción del suelo que pasa la malla num. 0.425, cuando al ser colocada en la copa de casagrande y efectuar en ella una ranura trapecial de dimensiones especificadas, los bordes inferiores de la misma se ponen en contacto en una longitud de trece punto cero (13.0) milímetros, después de golpear la copa veinticinco (25) veces, dejándola caer contra una superficie dura de características especiales, desde una altura de un (1) centímetro, a la velocidad de dos (2) golpes por segundo. En el método estándar el límite líquido se determina gráficamente mediante la curva de fluidez, la que se obtiene uniendo los puntos que representan los contenidos de agua correspondientes a diversos números de golpes, para los cuales la ranura se cierra en la longitud especificada.

El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

- ✚ cápsula de porcelana de doce (12) centímetros de diámetro.
- ✚ espátula de hoja de acero flexible de siete punto cinco (7.5) centímetros de longitud y dos (2) centímetros de ancho, con punta redonda.
- ✚ cuentagotas.
- ✚ copa de casagrande calibrada para la altura de caída de un (1) centímetro, prevista de ranura dobles, uno plano y otro curvo, con las características que se indican en la figura no.1
- ✚ vidrios de reloj.
- ✚ balanza de doscientos (200) gramos de capacidad y cero punto cero un (0.01) gramo de aproximación.
- ✚ horno con termostato que mantenga una temperatura constante de ciento cinco más menos cinco grados centígrados (105 ± 5 °C).
- ✚ desecador de cristal conteniendo cloruro de calcio anhidro.
- ✚ vaso con capacidad de cero punto cinco (0.5) litros.





Figura no. 1 copa de casagrande con ranurador plano y curvo





Figura no. 2 equipo completo para la prueba de límites de consistencia

En la preparación de la muestra para determinar los límites de plasticidad y la contracción lineal, se emplean doscientos cincuenta (250) gramos de material previamente cribado por la malla núm. 0.425, los cuales se toman de una porción representativa de la muestra se coloca en un recipiente apropiado, se le agrega agua en la cantidad necesaria para que tome el aspecto de material saturado y se deja en reposo durante veinticuatro (24) horas aproximadamente, en un lugar fresco, cubriendo el recipiente con un paño que se mantendrá húmedo a fin de reducir al mínimo la pérdida de agua por evaporación.





La prueba se efectuará en la forma siguiente:

1. Se toma una muestra de ciento cincuenta (150) gramos, aproximadamente, del material preparado de acuerdo con lo indicado en el párrafo b) de este inciso, se coloca la cápsula de porcelana y se procede a homogenizar la humedad con la espátula.
2. Logrado lo anterior se coloca en la copa de casagrande, previamente calibrada, una cantidad suficiente de material para que una vez extendido por medio de la espátula se tenga un espesor de ocho (8) a diez (10) milímetros en la parte central de la muestra colocada. Para extender el material se procede del centro hacia los lados, sin aplicarle una presión excesiva y con el mínimo de pasadas de la espátula para obtener un espesor mínimo de 1.0 cm. Como se muestra en la figura no. 3



Figura no. 3 tendido del material en la copa.





3. Se efectúa una ranura en la parte central del material que contiene la copa, siguiendo uno de sus diámetros, con una pasada firme del ranurador, manteniéndolo siempre normal a la superficie interior de la copa como se indica en la figura no. 4.



Figura no. 4 ranurador perpendicular a la superficie de la copa.





La localización, forma y dimensiones que debe tener la ranura en su parte central con el ranurador de dimensiones de 11 mm, en la parte superior y 2.00 mm en la parte inferior, como se ilustran en la figura no. 5.



Figura no 5 material ranurado en la copa de casagrande





Si el material se desliza sobre la copa cuando use el ranurador curvo, podrá darse hasta seis (6) pasadas profundizando paulatinamente la ranura, de manera que solamente en la última pasada el ranurador toque el fondo de la copa.

4. Se acciona la manivela del aparato para hacer caer la copa, a razón de dos (2) golpes por segundo y se registra el numero de golpes necesario para lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de trece (13) milímetros.
5. Una vez logrado lo anterior se toma con la espátula aproximadamente diez (10) gramos de material de la porción cerrada de la ranura y se colocan en un vidrio de reloj, para proceder de inmediato a determinar su contenido de agua.
6. A continuación y una vez que se ha tomado la muestra para la determinación de la humedad, se regresa a la cápsula de mezclado el material que contiene la copa, se lavan y secan tanto la copa como el ranurador.
7. En seguida se agrega agua con el cuenta gotas al material contenido en la cápsula, se homogeneiza con la espátula y se realizan las etapas descritas en los subpárrafos 2) a 6) de este párrafo, para obtener cuatro (4) series de valores, incrementando siempre el contenido de agua para cada proceso.





8. La cantidad de agua que se adiciona al material deberá ser en tal forma que las cuatro (4) determinaciones efectuadas, queden comprendidas entre diez (10) y treinta y cinco (35) golpes, siendo necesario obtener dos (2) valores arriba y dos (2) abajo de veinticinco (25) golpes. Para consistencias menores de diez (10) golpes es difícil identificar el momento de cierre de la ranura en la longitud especificada; por otra parte y para más de treinta y cinco (35) golpes, se dificulta la ejecución de la prueba.

Se dibujan los puntos correspondientes a cada determinación en un papel semilogarítmico cuyas abscisas representen en escala logarítmica, el numero de golpes y en las ordenas, en escala aritmética, los respectivos contenidos de agua. A continuación se traza la línea recta que pase lo más cerca posible de cuando menos tres (3) de los puntos obtenidos; la línea así trazada se denomina curva de fluidez, cuya ordenada correspondiente a veinticinco (25) golpes, se reporta como el límite líquido del suelo, expresado como contenido de agua en por ciento y redondeado al numero entero más cercano. En la figura no. 6 se ilustra un ejemplo de la tabla y grafica para determinar el límite líquido y limite plástico.





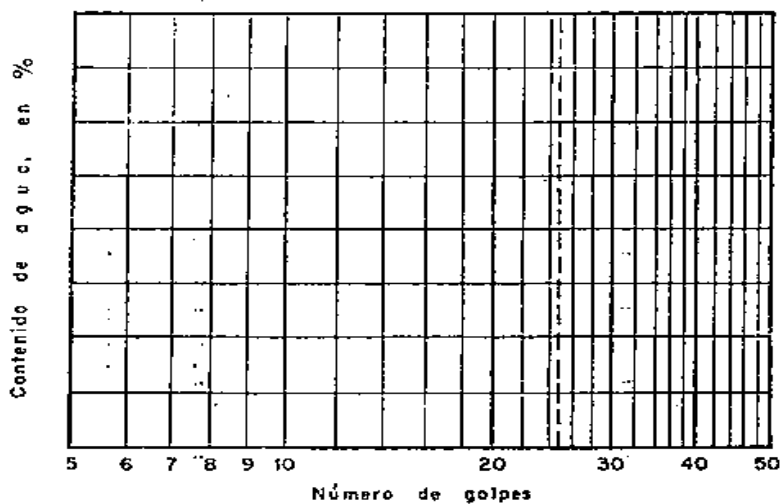
Limites de plasticidad y humedad natural

LIMITE LIQUIDO

Prueba Nº	Cápsula Nº	Número de Golpes			Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua (W) %
					gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	

LIMITE PLASTICO

HUMEDAD NATURAL



$$W = \text{_____} \%$$

$$LL = \text{_____} \%$$

$$LP = \text{_____} \%$$

$$Ip = \text{_____} \%$$

$$C_u = \frac{LL - W}{Ip} = \text{_____}$$

$$F_c = \text{_____} \%$$

$$Tw = \frac{Ip}{F_w} = \text{_____}$$

$$\text{Clasif. SUCS : } \text{_____}$$

Figura no. 6 tabla y grafica para la determinar el límite líquido y limite plástico





Las causas de error más frecuentes son las siguientes:

1. Que al efectuar la prueba la ranura se cierra debido al deslizamiento del suelo sobre la copa y no al flujo provocado por los golpes.
2. Desajuste en el aparato de casagrande. Se debe verificar antes de cada prueba que la altura de la caída de la copa sea de un (1) centímetro, utilizando para ello el mango calibrado del ranurador que tiene precisamente esa dimensión. Si la altura de caída es diferente de la especificada, debe corregirse el aparato ajustando los tornillos de que esta previsto para tal fin. Así mismo, se debe verificar que las dimensiones del ranurador sean las especificadas.
3. Desgaste de la base del aparato, achatamiento de la copa o fallas atribuibles a defectos del aparato. Cuando estos defectos son de cierta consideración se debe verificar la precisión del aparato haciendo pruebas comparativas con otras copas de casagrande en buenas condiciones.
4. Pérdida de agua por evaporación en la muestra, debido a que la prueba no se realice en lugares frescos y exentos de corriente de aire.
5. Que la cantidad de material colocado en la copa sea insuficiente para tener un espesor mínimo de ocho (8) milímetros en el centro de la ranura. Para evitar lo anterior es conveniente poner material en cantidad ligeramente excedida y eliminar el sobrante al enrasarlo con la espátula.
6. La presencia de burbujas de aire entre el material y la copa, originadas por una mala colocación de aquel, que hace que fluya con mayor facilidad, traduciéndose en un límite líquido menor que el real.
7. Que la caída de la copa no se efectúe a una velocidad uniforme de dos (2) golpes por segundo.
8. Que la forma, dimensiones y ubicación de la ranura sean diferentes de las especificadas, lo cual puede deberse a defectos del ranurador o al manejo inadecuado de este al practicar la ranura con una posición incorrecta.
9. Que la copa y el ranurador no estén limpios antes de cada determinación.
10. Que se incorpore material seco para reducir la humedad de la muestra de prueba, o bien que no se efectúe un amasado correcto de ésta.





2.1.2 El límite líquido de un suelo por el método simplificado se determina conociendo un solo punto de su curva de fluidez. Este método es más sencillo que el estándar, pero puede ser menos preciso, por lo cual cuando se juzgue necesario se recomienda verificar sus resultados con el método estándar.

El equipo requerido es el mismo al del método estándar.

La prueba se desarrolla de la misma forma que en el método estándar, excepto que se efectúa una sola determinación, verificando con dos (2) cierres la ranura y aplicando un número de golpes que este comprendido entre veinte (20) y treinta (30), tomando la muestra correspondiente para la obtención de su contenido de agua.

El límite líquido se obtiene empleando cualquiera de los dos (2) procedimientos que se indican a continuación:

Aplicando la siguiente fórmula:

$$LI = w_n (n/25)^{0.12}$$

En donde:

- LI es el límite líquido del suelo, expresado como contenido de agua, en por ciento
- W_n es el contenido de agua de la muestra respectiva, a la cual le fue aplicando un número n de golpes en la prueba, en por ciento.
- N es el número de golpes necesario para lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una longitud de trece (13) milímetros.





En la siguiente tabla se dan los valores del factor $(n/25)^{0.12}$ para distintos valores de n.

N	$(n/25)^{0.12}$
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Tabla no. 1

1. Utilizando la grafica de la tabla no. 1, para lo cual se ubicaran en los ejes respectivos, los correspondientes a la humedad w_n y al numero de golpes n obtenidos y por ellos se traza una recta; la intersección de esta recta con el eje vertical definirá el limite líquido del suelo.
2. Se reporta como limite liquido el valor obtenido mediante la aplicación de cualquiera de los dos (2) procedimientos descritos, redondeándolo al número entero más cercano.

Las causas de error más frecuentes en la ejecución de esta prueba son las mismas que se indican en el método estándar.





2.1.3 El **limite plástico** de un suelo se considera que existe una división entre la consistencia plástica y semisólida, con un contenido mínimo de agua, para que se pueda formar con ella cilindros de tres (3) milímetros, cuando estos empiecen a agrietarse.

Equipo y materiales necesarios son los siguientes:

Cápsula de porcelana de doce (12) centímetros de diámetro.

Espátula de hoja de acero flexible de siete punto cinco (7.5) centímetros de longitud y dos (2) centímetros de ancho, con punta redonda.

Placa de vidrio con dimensiones mínimas aproximadas de cuarenta (40) centímetros de lado y cero punto seis (0.6) centímetros de espesor.

Balanza de doscientos (200) gramos de capacidad y cero punto cero un (0.01) gramo de aproximación.

Alambre de acero, de tres (3) milímetros de diámetro y diez (10) centímetros de longitud.

Vidrios de reloj.

Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de ciento cinco más o menos cinco grados centígrados (105 ± 5 °C)

Desecador de cristal conteniendo cloruro de calcio anhidrido.

La prueba se desarrolla en la forma siguiente:

Se toma una muestra del material preparado que tenga una humedad tal que permítale el moldeo, que se le de la forma de una pequeña esfera de aproximadamente doce (12) milímetros de diámetro, que deberá moldearse con los dedos para que pierda la humedad y se forme un cilindro manipulándola sobre la palma de la mano, aplicando con los dedos la presión necesaria para tal objeto.

A continuación se rola el cilindro con los dedos de la mano sobre una placa de vidrio, dándole la presión requerida para reducir su diámetro hasta que este sea uniforme en toda su longitud y ligeramente mayor de tres (3) milímetros, figura no. 7 la velocidad de rolado debe ser de sesenta (60) a ochenta (80) ciclo por minuto, entendiéndose por ciclo un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás, hasta volver a la posición de partida.





Figura no. 7 cilindros de 3 mm de espesor al momento de agrietarse

Si al alcanzar dicho diámetro el cilindro no se agrieta en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior a la del límite plástico. En este caso se debe juntarse todo el material, se forma nuevamente una pequeña esfera, manipulándola con dedos para facilitar la pérdida de agua y lograr una distribución uniforme de la misma.

Se repiten las operaciones descritas en los párrafos del 1 al 3, hasta que el cilindro se agriete en varios segmentos precisamente en el momento de alcanzar el diámetro de tres (3) milímetros, dicho diámetro se verificara comparándolo con el alambre de referencia.

En seguida se colocan en un vidrio de reloj todos los fragmentos agrietados y se efectúa la determinación de humedad correspondiente.

Para mayor seguridad en los resultados de la prueba, se debe llevar acabo por lo menos tres (3) determinaciones sucesivas del límite plástico, en cada muestra.

Los suelos con los que no es posible formar cilindros del diámetro especificado, con ningún contenido de agua, se considera como no plástico.





Se reporta como limite plástico del suelo, el promedio de las humedades que concuerdan entre si dicho promedio se redondea al numero entero más cercano.

Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

1. Imprecisión en las operaciones de pesado. Como la cantidad de muestra que se toma para determinar el contenido de agua es muy pequeña, cualquier error en este sentido se amplificara notablemente, por lo que deberán extremarse las precauciones durante la preparación de la misma.
2. Agregar material seco para reducir el contenido de agua de la muestra. La reducción de agua deberá lograrse manipulando la muestra en la forma indicada.
3. Que el cilindro de suelo se rompa antes de alcanzar el diámetro de tres (3) milímetros, ya que en este caso su humedad sería menor que la del limite plástico.
4. Que la placa de vidrio no se encuentre limpia antes de cada determinación, ya que esto dificulta o impide la formación del cilindro.
5. Que al alcanzar el cilindro el diámetro de tres (3) milímetros, el operador lo rompa en forma deliberada, modificando la presión, la velocidad de rolado o ambas cosas.
6. Que para la determinación de la humedad no se tomen todos los fragmentos en que se dividió el cilindro al alcanzar el límite plástico.

2.1.4 El **índice plástico** de un suelo mide el intervalo de variación de la humedad dentro del cual el suelo presenta una consistencia plástica, los límites líquidos y plásticos corresponden a las fronteras superior e inferior de dicha consistencia, respectivamente.

El índice plástico, definido como la diferencia aritmética entre los limites líquidos y plástico, se calcula mediante la formula siguiente:

$$I_p = LI - Lp$$

En donde:

- I_p es el índice plástico del suelo, en por ciento.
- LI es el limite liquido del suelo, en por ciento.
- Lp es el limite plástico del suelo, en por ciento.





Se reporta como índice plástico la diferencia calculada entre el límite líquido y el límite plástico, exceptuándose los siguientes casos:

1. Cuando el suelo sea muy arenoso y no pueda determinarse el límite plástico, se reportan el límite plástico y el índice plástico como np (no plástico).
2. Cuando el límite plástico sea igual o mayor que el límite líquido, se reporta el índice plástico como np.

2.1.5 La **contracción lineal** se define como la reducción del volumen del mismo, en la mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelo que pasa la malla núm. 0.425, cuando su humedad disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción, expresada como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen.

El equipo y materiales necesarios para la prueba son los siguientes:

- + cápsula de porcelana de doce (12) centímetros de diámetro.
- + espátula de hoja de acero flexible de siete punto cinco (7.5) centímetros de longitud y dos (2) centímetros de ancho.
- + molde de lamina galvanizada del núm. 16, con sección de dos (2) por dos (2) centímetros y de diez (10) centímetros de longitud.
- + calibrador con vernier del tipo máuser.
- + horno con termostato que mantenga una temperatura constante de ciento cinco más menos grados centígrados (105 ± 5 °C).
- + grasa grafitada.

Para esta determinación se utilizara una muestra del material que sobro del límite líquido.





La prueba se efectúa de la forma siguiente:

Con el material (mezcla de suelo y agua en las condiciones indicadas), se mezcla hasta lograr que la humedad sea correspondiente a la del límite líquido, lo cual se verifica empleando la copa de Casagrande y cumpliendo con la condición de que la ranura se cierre en una longitud de trece (13) milímetros precisamente a los veinticinco (25) golpes.

Con el material preparado en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba, figura no. 8, al cual se le habrá aplicado previamente una capa delgada de grasa en su interior para evitar que el material se adhiera a sus paredes. El llenado del molde se efectúa en tres (3) capas, utilizando la espátula y golpeándolo después de la colocación de cada capa contra una superficie dura; para esto último, deberá tomarse el molde por sus extremos.



Figura no. 8 molde para determinar la contracción lineal





Procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, lo cual se logra conservando paralelismo entre dicha base y la superficie sobre la cual se golpea. En cada caso las operaciones de golpeo deberán prolongarse lo suficiente para lograr la expulsión del aire contenido en la muestra colocada, lo que se pone de manifiesto cuando ya no aparecen burbujas en su superficie.



Figura no. 9 molde con la muestra para determinar la contracción lineal

A continuación se enrasa el material en el molde utilizando la espátula y se deja orear a la sombra hasta que cambie ligeramente su color, después de lo cual se pone a secar en el horno por un periodo de dieciocho (18) horas, aproximadamente, a una temperatura de ciento cinco más menos grados 5° c centígrados ($105 \pm 5^{\circ} \text{C}$),

Se extrae del horno el molde con el espécimen, se deja enfriar a la temperatura ambiente y a continuación se saca del molde la barra.

Finalmente se mide con el calibrador la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde, figura, con aproximación de cero punto cero un (0.01) centímetro.





La contracción lineal se calcula de acuerdo con la siguiente formula:

$$CI = \frac{li - lf}{L_i} \times 100$$

En donde:

CI es la contracción lineal aproximada al décimo más cercano, en por ciento.

L_i es la longitud inicial de la barra de suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde, en centímetros.

L_f es la longitud media de la barra de suelo seco en centímetros.

Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes:

1. Engrasado deficiente del interior del molde, lo que ocasiona que el espécimen se rompa al contraerse.
2. La forma incorrecta de golpear el molde, lo que puede ocasionar deficiencias de acomodo en el material, como la que ocurriría si al golpear el molde se sujeta solo por un uno de sus extremos, originando concentraciones de material en alguno de estos.
3. No dar el numero necesario de golpes a la barra para eliminar el aire contenido en el material.
4. Exponer el espécimen al sol o introducirlo en el horno inmediatamente después de elaborado, originando con ello que se agriete o se deforme, principalmente cuando se trata de materiales plásticos.
5. Medir incorrectamente la longitud final de la barra, sobre todo cuando se rompa o arquee excesivamente.





2.2 Determinación de la composición granulométrica mediante el uso de mallas.

Esta prueba consiste en separar por tamaños las partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

La sucesión de tamaños obtenida mediante el empleo de mallas, da una idea de la composición granulométrica únicamente en dos dimensiones, por lo que las curvas resultantes solo serán representativas de materiales constituidos por partículas de forma equidimensional, si las partículas de un material tienen forma laminar o acicular, es de lascas o agujas, respectivamente, los resultados que se obtengan no serán representativos de los tamaños reales del material y, en consecuencia, de su comportamiento. Así mismo la curva granulométrica no dará una idea correcta de la sucesión de tamaños en los materiales con partículas de pesos específicos muy diferentes, en cuyo caso será necesario efectuar la corrección correspondiente, para transformar los porcentajes obtenidos en función de pesos, a porcentajes en función de volúmenes.

Las características granulométricas de un suelo influyen en la mayor o menor facilidad para lograr una compactación adecuada y tienen importancia en su comportamiento mecánico, principalmente en los suelos gruesos. Generalmente, la mayor estabilidad de un suelo se alcanza cuando la cantidad de vacíos es mínima y para que esta condición pueda lograrse, se requiere que el material tenga una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas menores y que a su vez, los huecos que dejen estas últimas sean ocupados por partículas más finas y así sucesivamente.

La prueba tiene dos (2) variantes, el análisis granulométrico estándar y el análisis granulométrico simplificado.

El análisis granulométrico estándar consiste esencialmente en separar y clasificar por tamaños las partículas que constituyen el suelo, utilizando el procedimiento de cribado, es decir, haciendo pasar el material a través de un juego de mallas de aberturas cuadradas que comprende de la núm. 75.0 a la núm. 0.075, como se indica adelante.





El equipo y materiales necesarios son los siguientes:

- + balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y un (1) gramo de aproximación.
- + balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y cero punto uno (0.1) gramos de aproximación.
- + charolas de lámina.
- + cucharón de lámina.
- + horno con termostato para mantener una temperatura constante de ciento cinco más menos cinco grados centígrados (105 ± 5 °C).
- + cepillo de cerdas.
- + cepillo de alambre delgado.
- + desecador de cristal.
- + juego de mallas de las siguientes designaciones: núm. 75.0, núm. 50.0, núm. 37.5, núm. 250, núm. 19.0, núm. 12.5, núm. 9.5, núm. 2.00, núm. 0.850, núm. 0.425, núm. 0.250, núm. 0.150 y núm. 0.075.
- + tapa y fondo para el juego de mallas.
- + vaso de aluminio de un (1) litro.
- + cloruro de calcio anhidro.





Figura no. 10 juego de mallas para determinar la granulometría

La preparación de la muestra deberá hacerse como sigue:

De cada muestra de material obtenido, se obtiene por cuarteo una porción representativa con peso aproximado de quince (15) kilogramos, el cual se determina y se anota como w_m , con aproximación de un (1) gramo.

Cuando se requiera conocer con mayor exactitud el por ciento del material que pasa por la malla núm. 0.075 o bien, en el caso de estudios especiales, la muestra seca y disgregada, se someterá a un lavado previo, colocándola en un recipiente provisto de vertedero y aplicándole una corriente de agua en forma continua y de tal manera que derrame sobre la malla núm. 0.075 convenientemente colocada; durante este proceso la muestra se removerá en forma adecuada para propiciar el arrastre de la fracción fina, suspendiendo el lavado cuando el agua que salga del vertedero este clara; se dejara escurrir la muestra y a continuación se seca en el horno a peso constante, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ($105 \pm 5^\circ \text{C}$); posteriormente se saca del horno, se deja enfriar a la temperatura ambiente y se determina su peso registrándolo como w_m , y w'_m es el peso de la fracción que pasa por la malla núm. 0.075.





Una vez preparada la muestra como se indico en los subpárrafos 1) ó 2) de este párrafo se criba el material por la malla núm. 4.75, para separarlo en dos (2) fracciones; se determina el peso de ellas, se anota como w_{m1} el peso de la fracción retenida en la malla núm. 4.75 y como w_{m2} al de la fracción que pasa esta malla, ambos con aproximación de un (1) gramo.

Cuando al preparar la muestra no se le haya sometido a un proceso de lavado como se indico en el inciso no. 2, se corrige el peso de la fracción que pasa la malla núm. 4.75, determinando su contenido de humedad y se anota la humedad obtenida como w_2 . Generalmente no es necesario determinar la humedad w_1 de la fracción retenida en la malla núm. 4.75, secada al sol, debido a que este valor es relativamente pequeño y puede despreciarse sin introducir errores de importancia.

La prueba se desarrollara como sigue:

Se criba en forma manual el material retenido en la malla núm. 4.75, a través de las mallas núm. 75.0, núm. 50.0, núm. 37.5, núm. 25.0, núm. 19.0, núm. 12.5, núm. 9.5 y núm. 4.75, comenzando por la de mayor abertura y siguiendo el orden en que se indicaron. Para efectuar esta operación deberá imprimirse a las mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal, para mantener al material en constante movimiento y permitir que los tamaños menores pasen a través de las aberturas correspondientes. El volumen de material que se coloque en cada malla, deberá ser menor que la capacidad de la misma, con el fin de evitar pérdidas y facilitar el cribado, el paso de las partículas a través de las aberturas de las mallas deberá efectuarse libremente. El cribado en una malla deberá suspenderse cuando se estime que el peso del material que pasa dicha malla durante un (1) minuto no es mayor de un (1) gramo. Se verifica si las partículas que queden retenidas y que tengan forma de laja o forma de aguja pueden pasar a través de cada malla, sin forzarlas, acomodándolas con la mano según su dimensión menor, y las que queden atoradas en las tramas, deberán adicionarse a la porción retenida en la malla correspondiente.





Figura no. 11 juego de mallas con su porción de materiales retenido

Se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan los pesos respectivos como w_1 , en gramos.





Figura no. 12 pesado de material en una balanza con aproximación a 0.1 de gramo

De la fracción que pasa por la malla núm. 4.75 se cuartea para obtener un peso aproximado de doscientos (200) gramos de material seco; dicha cantidad se determinara previamente, aplicando la siguiente formula:

$$W_h = 200 (1 + w_2)$$

En donde:

W_h es el peso de la muestra húmeda equivalente a doscientos (200) gramos de material seco.

W_2 es el contenido de agua del material que pasa por la malla núm. 4.75, expresado en forma decimal.

Se coloca esta muestra en el vaso metálico y se agregan quinientos (500) centímetros cúbicos de agua, aproximadamente, dejándose en reposo durante doce (12) horas, como mínimo.

Transcurriendo este lapso, se lava la muestra a través de la malla núm. 0.075. El lavado se hará agitando el contenido del vaso con la varilla durante quince (15) segundos, moviéndola en forma de ocho (8) y dejando reposar dicho contenido durante treinta (30) segundos. Inmediatamente después se decanta la suspensión sobre la malla núm. 0.075, para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, deberá aplicarse sobre ésta un chorro de agua a baja presión.





Figura no. 13 granulometría por lavado con agua a baja presión

Se repite la operación de lavado, hasta que el agua decantada salga limpia.

A continuación se regresa al vaso metálico el material que se haya retenido en la malla núm. 0.075, utilizando un poco de agua, la que se decantará del vaso al final de la operación, cuidando que no haya arrastre de partículas.

Una vez lavado el material se coloca en un vaso metálico, dejándolo en el horno un lapso no menor de diez y seis (16) horas, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados (105 ± 5 °C), hasta peso constante; a continuación, se saca del horno y se deja enfriar en el desecador de cristal hasta que la muestra tenga una temperatura cercana a la ambiente.

Se colocan las mallas a partir de la charola de fondo en el siguiente orden, núm. 0.075, núm. 0.250, num. 0.425, núm. 0.850 y núm. 2.0. Se vierte el material sobre la malla superior, se coloca la tapa, y se efectúa la operación de cribado, imprimiendo al juego de mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal, durante cinco (5) minutos; en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico.





Se quita la tapa, se separa la malla núm. 2.0 y se agita sobre una charola, hasta que se estime que el peso del material que pasa por dicha malla durante un minuto, no sea mayor de un gramo. Se vierte sobre la malla núm. 0.850 el material que pasó la malla núm. 2.0 y se deposita en la charola. Se repite este procedimiento de cribado adicional con cada una de las mallas restantes. Las partículas que hayan quedado atoradas deberán regresarse a las porciones retenidas correspondientes, cepillando las mallas por el revés. A continuación se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan los pesos respectivos como w_1 .

La composición granulométrica se calcula como se indica a continuación:

Los pesos w_1 de las porciones retenidas en cada una de las mallas núm. 50.0, núm. 37.5, núm. 25.0, núm. 19.0, núm. 12.5, núm. 9.5 y núm. 4.75, se expresarán en por ciento del peso de la muestra seca w_d , anotándolos como retenidos parciales y designándolos como "i". El peso de la muestra seca se determinará por medio de la siguiente fórmula:

$$W_d = w_{d1} + w_{d2} = w_{m1} + \frac{W_{m2}}{1 + w_2}$$

En donde:

W_d es el peso de la porción representativa del material seco en gramos.

W_{d1} es el peso de la fracción retenida en la malla núm. 4.75 de la muestra seca, en gramos, o sea la suma de los pesos w_i ; en el caso de que no se lave la muestra, w_{d1} se considera igual a w_{m1} , en virtud de no haberse tomado en cuenta la humedad de la fracción gruesa.

W_{d2} es el peso de la fracción que pasa por la malla núm. 4.75, de la muestra seca, en gramos.





W_{m1} es el peso de la fracción retenida en la malla núm. 4.75, de la muestra seca, cuando no se efectúa la operación de lavado, en gramos.

W_{m2} es el peso de la fracción que pasa la malla núm. 4.75, de la muestra húmeda, en gramos.

W_2 es la humedad de la porción que pasa por la malla núm. 4.75, expresada en fracción decimal.

Los valores de los retenidos parciales “I” en por ciento, se registran la muestra que haya sido previamente lavado, la suma de los pesos $w_i + w_{d2}$ más el peso considerándolos hasta la primera decimal. La suma de los pesos w_i más el de la fracción w_{d2} será igual a w_d y la suma de estos pesos, expresados en por ciento, será de cien (100), aproximadamente. En el caso de que el material que pasa por la malla núm. 0.075, $w_m - w'_m$ deberá ser igual a w_d y la suma de estos pesos expresados en por ciento con relación a w_d deberá ser aproximadamente igual a cien (100); cuando este último valor en ambos casos no se obtenga, podrán efectuarse ajustes en forma proporcional para lograrlo.

El retenido parcial en por ciento correspondiente a la malla núm. 50.0, deberá restarse de cien (100); para calcular el porcentaje de partículas que pasan por dicha malla.

Después deberán hacerse sustracciones sucesivas, restando del valor inmediato anterior obtenido, el por ciento parcial retenido en la malla que le sigue en abertura inferior, con lo cual se irán calculando los porcentajes que pasan por cada una de las mallas, hasta llegar a la malla núm. 4.75.

A continuación deberán dividirse los pesos w_j , en gramos, retenidos en cada una de las mallas núm. 2.0, núm. 0.850, núm. 0.425, núm. 0.250, núm. 0.150 y núm. 0.075, entre el peso de doscientos (200) gramos de la muestra seca previamente lavada, después de lo cual deberán multiplicarse los cocientes anteriores por el por ciento que pasa la malla núm. 4.75, para obtener los porcentajes retenidos parciales “j”, aproximándolos hasta la primera decimal. La suma de los pesos w_j , restada de doscientos (200) gramos, dará el peso del material que pasa por la malla núm. 0.075, el que deberá expresarse también en por ciento respecto al peso total w_d de la muestra seca. Estos porcentajes se calcularán empleando la fórmula siguiente:





$$J = \frac{W_j}{200} \left(100 \frac{w_{d2}}{w_d} \right) = \frac{w_{d2}}{2w_d} w_j$$

En donde:

J es el retenido parcial en cada malla desde la núm. 2.0 a la 0.075 y el que Pasa por la malla núm. 0.075, en por ciento del peso de la muestra.

W_j es el peso del material seco retenido parcialmente en cada malla y el de la fracción que pasa por la malla núm. 0.075 del material seco en gramos.

200 es el peso en gramos de la muestra seca, obtenida del material que pasa por la malla núm. 4.75.

w_{d2} es la fracción que pasa por la malla núm. 4.75, en por ciento.

$100 W_d w_{d2}$ es el peso de la fracción que pasa la malla núm. 4.75 de la muestra seca, en gramos.

W_d es el peso de la porción representativa del material seco en gramos.

Se calculan en forma independiente los valores correspondientes a los porcentajes que pasan las mallas núm. 2.0, núm. 0.850, núm. 0.425, núm. 0.250, núm. 0.150 y núm. 0.075, y se traza la grafica correspondiente

Para fines de clasificación del suelo deberán calcularse los coeficientes de uniformidad cu, y de curvatura cc, que se emplean para juzgar la graduación del material, por medio de las formulas siguientes:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

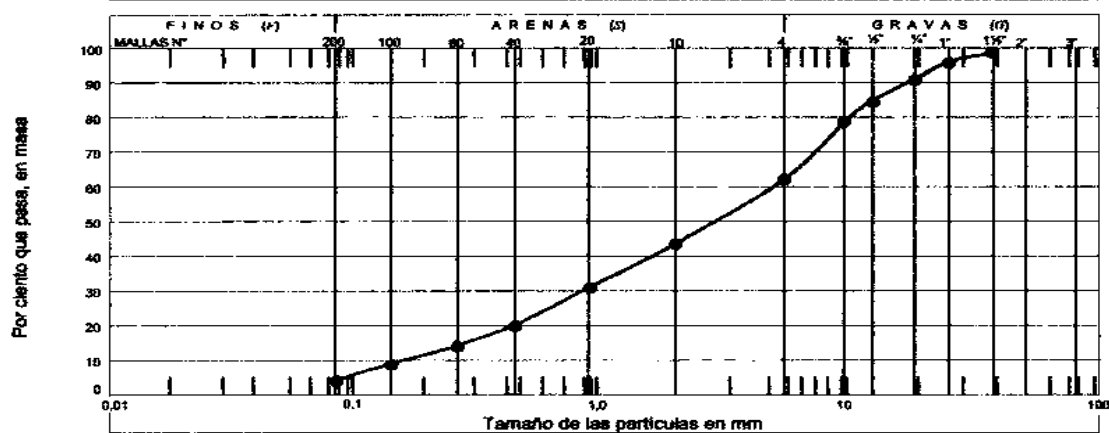
$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$





ANÁLISIS GRANULOMETRICO

MALLA	MASA RETENIDA Nº (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	MATERIAL QUE PASA (%)	MALLA	MASA RETENIDA Nº (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	MATERIAL QUE PASA (%)
3"				Nº10	94,0	16,2	44,0
2"				Nº20	39,0	11,7	32,3
1½"	187	1,1	98,9	Nº40	40,4	12,2	20,1
1"	890	2,7	96,2	Nº60	17,8	5,4	14,7
¾"	863	3,8	92,4	Nº100	19,9	8,9	8,9
½"	1179	8,0	84,4	Nº200	13,7	4,1	4,7
¼"	646	4,4	80,0	Pasa	18,6	4,7	
Nº4	8980	19,8	60,2	S U M A	200,0	60,2	
Pasa	8604	60,2					
S U M A	14714	100					



$$D_{10} = 0,17 \quad C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4,75}{0,17} = 28,0$$

$$D_{30} = 0,80 \quad \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{0,64}{0,81} = 0,79$$

$$D_{60} = 4,75 \quad \text{Retenido en malla de 75} = 0,0 \%$$

$$G = 39,8 \%$$

$$S = 39,8 \%$$

$$F = 4,7 \%$$

$$\text{Pasa N}^\circ 40 = 20,1 \%$$

CLASIFICACIÓN SCT Y DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: ARENA MAL GRADUADA (SP)

Figura no 14

En donde:

Cu es el coeficiente de uniformidad del material.

Cc es el coeficiente de curvatura del material.

D10, D30 y D60 representan los tamaños de las partículas de suelo en milímetros, que en la grafica de la composición granulométrica corresponde al diez (10) por ciento, treinta (30) por ciento y sesenta (60) por ciento que pasa, respectivamente. Es decir, d₁₀, d₃₀ y d₆₀ son las abscisas, de la grafica de la composición granulométrica, correspondientes alas ordenadas de diez (10), treinta (30) y sesenta (60) por ciento, respectivamente





Las causas más frecuentes de error al efectuar esta prueba son las siguientes:

1. Que se produzcan pérdidas de materiales por manipulaciones descuidadas durante las operaciones de cribado, lavado, secado y pesado.
2. Que se usan mallas con aberturas diferentes de las especificadas, debido a construcción defectuosa, desgaste y deformaciones o ruptura de los alambres de las tramas.
3. Que permanezcan partículas de material atoradas en las tramas de las mallas y no se consideren en el peso del material retenido.

2.2.1 El análisis granulométrico simplificado consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que componen un suelo empleando un numero reducido de mallas y sirve para juzgar su calidad, relacionando su cantidad de finos con las características de plasticidad. Mediante este análisis se define también el tamaño del material.

El equipo necesario es el siguiente:

- + balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y un (1) gramo de aproximación.
- + balanza de dos (2) kilogramos de capacidad y cero punto un (0.1) gramos de aproximación.
- + charola de lamina.
- + cucharón de lamina.
- + horno con termostato que mantenga una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados (105 ± 5 °C).
- + cepillo de cerdas.
- + cepillo de alambre delgado.





- + juego de mallas de las siguientes designaciones núm. 75.0, núm. 50.0, núm. 37.5, núm. 25.0, núm. 19.0, núm. 12.5, núm. 9.5, núm. 4.75, núm. 0.425 y núm. 0.075.
- + tapa y fondo para el juego de mallas.
- + vaso de aluminio de un (1) litro.
- + agitador de varilla metálica de seis (6) milímetros de diámetro y veinte (20) centímetros de longitud.

La preparación de la muestra es igual al método estándar indicado anteriormente.

En términos generales, la prueba se llevara a cabo de acuerdo con lo indicado en los párrafos anteriores, excepto que el material se cribará únicamente por las mallas indicadas. El cribado del material por una o varias de las mallas núm. 75.0 a la núm. 9.5 es solamente para determinar su tamaño máximo.

El cálculo de la composición granulométrica se hará de la misma forma que para el análisis granulométrico estándar; sin embargo, en este caso no es necesario dibujar la curva correspondiente y no se determinan los coeficientes de curvatura y uniformidad del material, concretándose a reportar los siguientes resultados:

Tamaño máximo del material, de acuerdo con la denominación de la malla correspondiente.

Fracción que pasa por la malla núm. 75.0 y se retiene en la malla núm. 4.75, esta fracción representa el contenido de grava en por ciento, con relación al peso de la muestra seca.

Fracción que pasa la malla núm. 4.75 y se retiene en la malla núm. 0.075, en por ciento con relación al peso de la muestra seca; esta fracción representa el contenido de arena.

Fracción que pasa la malla núm. 0.425, en por ciento, con relación al peso de la muestra seca.

Fracción que pasa la malla núm. 0.075, en por ciento, con relación al peso de la muestra seca; esta fracción representa el contenido de finos.





2.3. Determinación del valor relativo de soporte estándar (vrs)

La determinación del valor relativo de soporte mediante la prueba porter estándar se lleva a cabo sobre la fracción del suelo que pasa por la malla núm. 25.0, elaborando un espécimen con la humedad óptima del material a estudiar, de acuerdo con el procedimiento de compactación por carga estática, dicho espécimen se somete a un periodo de saturación antes de efectuar la determinación del valor relativo de soporte, y se obtiene como dato adicional la expansión originada por su saturación:

El equipo y materiales necesarios para efectuar esta prueba son los que se indicados a continuación :

- Maquina de compresión con capacidad mínima de tres (3) toneladas y aproximación de diez (10) kilogramos, provista de un (1) pistón de penetración, de acero, con diámetro de cuatro punto noventa y cinco (4.95) centímetros y sección de diecinueve punto treinta y cinco (19.35) centímetros cuadrados.
- Tanque de saturación con altura mínima de treinta (30) centímetros.
Placa metálica circular de quince punto cuatro (15.4) centímetros de diámetro, con perforaciones y un (1) vástago al centro para apoyar el extensómetro.
- Dos (2) placas circulares de carga con diámetro de quince punto cuatro (15.4) centímetros, teniendo un orificio central de cinco punto cuatro (5.4) centímetros de diámetro y un peso de tres (3) kilogramos, cada una.
- Extensómetros con carrera de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) centímetros y aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetros, provisto de una (1) abrazadera para acoplarlo al cilindro de penetración.
- Calibrador con vernier tipo máuser con aproximación de cero punto un (0.1) milímetros.
- Trípode metálico para sostener el extensómetro.
- Malla núm. 4.75.
- Hojas de papel filtro con diámetro de quince punto cuatro (15.4) centímetros.





La preparación de la muestra se efectúa en la forma siguiente:

De una muestra obtenida respectivamente, teniendo cuidado de secar el material únicamente lo necesario para facilitar su disgregación, se toma por cuarteo una porción suficiente para obtener aproximadamente dieciséis (16) kilogramos de material que pase por la malla núm. 25.0 y se pesa dicha porción con aproximación de cinco (5) gramos.

A continuación se criba por la malla núm. 25.0, se pesa material retenido con aproximación de diez (10) gramos y se determina el por ciento de éste con respecto al total de la porción.

Si dicho por ciento excede de quince (15), se incorpora a la porción que pasa por la malla mencionada, una cantidad con peso igual a la del citado retenido, utilizando material de la fracción que pasa por la malla núm. 25.0 y se retiene en la núm. 4.75, tomando este ultimo de otra muestra obtenida y preparada.

Se elimina el retenido en la malla núm. 25.0 y se forman las muestras de prueba, dividiendo la porción obtenida en partes de cuatro (4) kilogramos, aproximadamente mediante cuarteo.

La prueba se efectúa en la forma siguiente:

Utilizando la muestra de prueba preparada como se describe en el inciso de pruebas de compactación estática (porter estándar) y siguiendo el procedimiento correspondiente, se elabora un espécimen con la humedad optima del material y se le determina su altura h_e en milímetros, con aproximación de un (1) milímetro.

Se colocan en la parte superior del espécimen, en el orden en que se indica, una (1) o dos (2) hojas de papel filtro, la placa perforada y las dos (2) placas de carga; en seguida, se introduce al tanque de saturación el molde conteniendo el espécimen, procurando que este ultimo quede totalmente cubierto por el agua, con un tirante aproximado de dos (2) centímetros sobre el borde superior del molde.





Inmediatamente después, con el objeto de determinar la expansión del espécimen por saturación, se monta el trípode sobre los bordes del molde y se le instala el extensómetro apoyándolo sobre el vástago de la placa perforada, se toma la lectura inicial del extensómetro, anotándola como l_i , en milímetros, con aproximación de cero punto cero un (0.01) milímetro; se verifica cada veinticuatro (24) horas la lectura del extensómetro y cuando en dos (2) lecturas, sucesivas se observe que no hay diferencias, se anota su valor como lectura final del extensómetro l_f , en milímetros, con aproximación de cero punto un (0.01) milímetro y se retiran del tanque de saturación el trípode con el extensómetro y el molde con el espécimen. El periodo de saturación generalmente varía de tres (3) a cinco (5) días, dependiendo del tipo de material.



Figura no. 15 moldes en agua para determinar la expansión del material

Cuando no se requiera mucha aproximación en la determinación de la expansión, se podrán hacer las mediciones del incremento de altura que experimente el espécimen, utilizando un calibrador de vernier, con aproximación de cero punto un (0.1) milímetro, debiendo hacerse las lecturas en diferentes puntos para promediar el valor obtenido.





A continuación se coloca el molde que contiene el espécimen y las placas en posición horizontal y se deja así durante tres (3) minutos, a sombra, para que escurra el agua. Inmediatamente después se retiran las placas y el papel filtro, y se vuelven a colocar únicamente las dos (2) placas de carga.



Figura no. 16 material en reposo para expulsar el agua sobrante

Se instalan en la prensa el extensómetro y el molde con el espécimen y las placas de carga, introduciendo el cilindro de penetración, montado en el vástago de la prensa, a través de los orificios de las placas, hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial no mayor de diez (10) kilogramos e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro para registrar el desplazamiento vertical del cilindro de penetración.





Se aplica carga para que el pistón penetre en el espécimen con una velocidad uniforme de uno punto veintisiete (1.27) milímetros por minuto, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones indicadas en el siguiente cuadro, con aproximación de diez (10) kilogramos:



Figura no. 17 penetraciones del material de base





Lectura	Penetraciones		Carga Registrada
	En mm	En pulgadas	
1ª	1.27	0.05	-
2ª	2.54	0.10	-
3ª	3.81	0.15	-
4ª	5.08	0.20	-
5ª	7.62	0.30	-
6ª	10.16	0.40	-
7ª	12.70	0.50	-

Inmediatamente después de efectuada la penetración, se obtiene una muestra de la parte superior del espécimen, hasta dos punto cinco (2.5) centímetros de profundidad y se determina el contenido de agua.





Se representan gráficamente los valores determinados, como sigue:

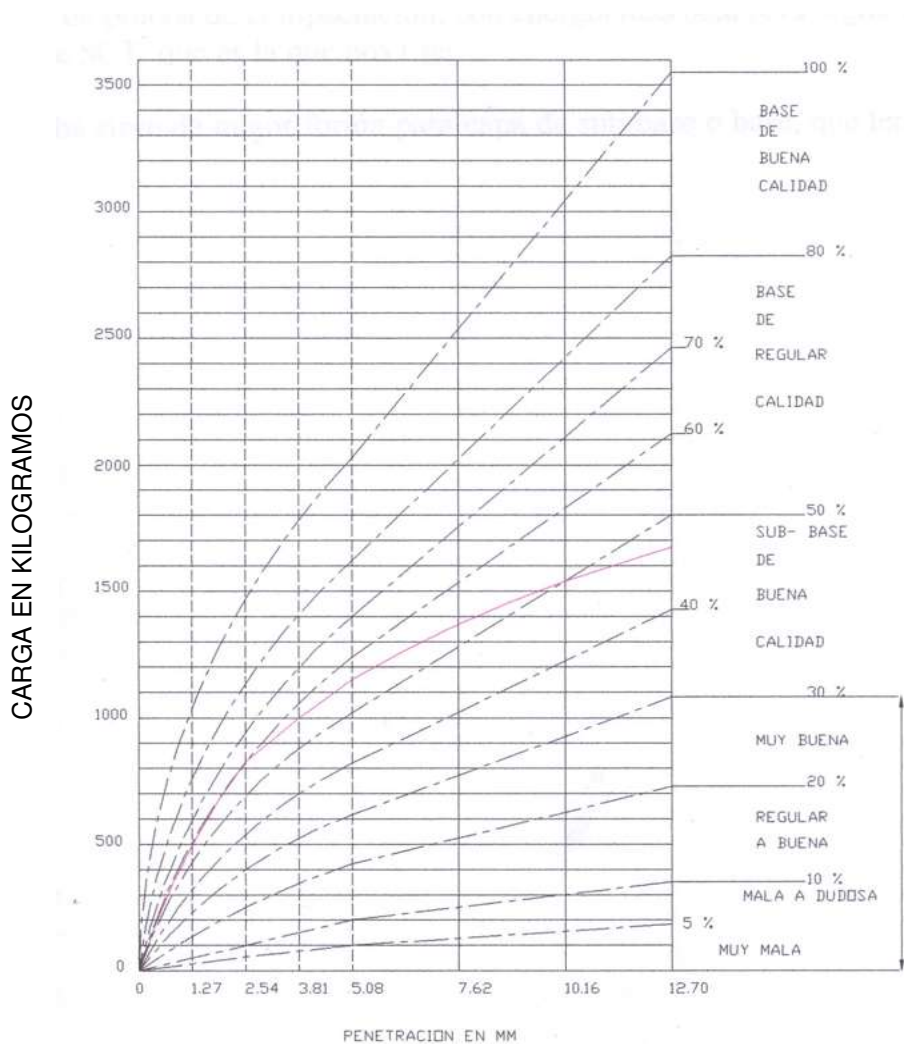


Figura no. 18 grafica de penetración





En un sistema de ejes coordenados se marcan los puntos correspondientes a las penetraciones y cargas antes mencionadas, las primeras del eje de las abscisas y las segundas en el eje de las ordenadas, y uniéndolos dichos puntos se dibuja la curva correspondiente, la cual no deberá presentar cambios bruscos de pendientes. Si la curva es defectuosa, la prueba no estuvo bien efectuada y deberá repetirse con una porción nueva de material.

En los casos en que la curva dibujada presente en su iniciación concavidad hacia arriba, se efectúa la corrección correspondiente trazando un tangente en el punto de máxima pendiente, llamado punto a hasta cortar el eje de las abscisas en el punto que se designa como b, el cual se tomara como nuevo origen y a partir de él se marca el punto c, correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros; la ordenada cc' representa la carga corregida para dicha penetración, en kilogramos.

Se registra la carga correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, $C_{2.54}$, con aproximación de diez (10) kilogramos.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

El valor relativo de soporte de la muestra, con la siguiente formula:

$$Vrs = \frac{C_{2.54}}{1360} \times 100$$

En donde:

Vrs es el valor relativo de soporte de la muestra, referido ala carga estándar de Penetración de mil trescientos sesenta (1360) kilogramos, en por ciento.

$C_{2.54}$ es la carga correspondiente a la penetración de dos punto cincuenta y cuatro (2.54) milímetros, en kilogramos.





La expansión de la muestra, por medio de la formula siguiente:

$$E = \frac{L_i - L_f}{H_e} \times 100$$

En donde:

E es la expansión de la muestra, en por ciento.

L_f es la lectura del extensómetro al finalizar la saturación, en milímetros.

L_i es la lectura del extensómetro al iniciarse la saturación, en milímetros.

H_e es la altura inicial de espécimen, en milímetros.

Las causa frecuentes de error en esta aprueba son las siguientes:

1. Que no sustituya adecuadamente en la muestra el material retenido en la malla núm. 25.0
2. Que se exceda el tiempo de escurrimiento del agua en el espécimen saturado.
3. Que la aplicación de la carga de penetración no se efectúe a la velocidad especificada.





2.4 Determinación del equivalente de arena

El objetivo de esta prueba es para determinar el porcentaje de finos (arcilla) indeseables. Los cuales provienen generalmente de naturaleza plástica y susceptibles de cambios volumétricos.

Para esta prueba se necesita preparar un recipiente con solución madre, de la siguiente manera:

Se pesan 454 grs. de cloruro de calcio se coloca en un recipiente que contiene 1890 ml de agua posteriormente se agregan 47 grs. de solución volumétrica al 40% de formaldehído r.a. Y 250 grs. de glicerina usp, se mezcla y se agrega agua destilada hasta completar 3785 ml. Ya que se haya completado dicha cantidad se debe agitar toda la solución para homogenizarla.

Para realizar esta prueba necesitaremos además de la solución, material cribado por la malla no. 4 (4.75 mm). Se llenan dos capsulas con este material golpeándolas en la base contra la mesa para lograr un buen reacomodo de las partículas.

Procedimiento para realizar la prueba.

Se coloca en las probetas 4 pulgadas de solución, inmediatamente después se vierte el material dentro de las probetas y dejamos reposar durante 10 minutos transcurrido este tiempo se coloca un tapón y agitamos dando 90 ciclos o movimientos en 30 segundos.

Después se introduce el irrigador para remover las partículas finas y lavar las paredes de la probetas, procurando que los movimientos sean rotatorios y alternados, esto se hará además para alcanzar una altura de 15 pulgadas de solución, se deja reposar el material hasta que quede estable.





Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Arcilla 5.00	Arcilla 5.1	Arcilla 5.25
Arena 2.15	Arena 2.1	Arena 2.05

Una vez que el material este estable se efectúa la lectura de la arcilla en la escala de la probeta, posteriormente se introduce lentamente el pison procurando no perturbar los finos en suspensión hasta apoyarlo en el material grueso y se efectúa la lectura que nos indica el marcador del piso, siendo esta la lectura de la arena.

Para poder conocer el equivalente de arena, se emplea la siguiente expresión.

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

2.5 Determinación del desgaste de los Ángeles

El objetivo de la prueba es para determinar el desgaste que sufre el material pétreo, que estiman el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, formas de las partículas, etc.

La prueba consiste en someter las muestras de material pétreo seco de determinada granulometría a un proceso de abrasión que se efectúa en la maquina los Ángeles, en la que se introduce la muestra de material junto con las esferas metálicas y mediante una rotación de dicha maquina se origina entre las esferas y el material cargas abrasivas y de impacto, que hacen que el material se desgaste.





Procedimiento para realizar la prueba

Tomando en cuenta la granulometría obtenida, determinamos los tamaños predominantes en mayor porcentaje. Para este caso serán los materiales retenidos en la malla de 1" (24.40mm), $\frac{3}{4}$ " (19.05mm), $\frac{1}{2}$ " (12.70mm) y $\frac{3}{8}$ " (9.520mm), por lo cual el material se clasifica en el tipo A de la tabla 1. En la cual se da la información de las cantidades de material requerido y los tamaños respectivos que deben utilizarse para la prueba, así como la carga abrasiva y el número de revoluciones que debe darse a la máquina.

Después de conocer los tamaños de material a utilizar, se toman las muestras de 1250 grs. De material pétreo tal como se indica en la tabla 2

Tipo de muestra	Granulometría		Peso la muestra en gramos	Carga abrasiva		Número de revoluciones
	Pasa malla no.	Retiene malla no.		No. De esferas	Peso total en gramos	
A	1 $\frac{1}{2}$ "	1"	1250+/-25	12	500+/-25	500
	1"	$\frac{3}{4}$ "	1250+/-25			
	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	1250+/-10			
	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	1250+/-10			

Tabla no. 2

De la muestra seleccionada se pesa y se registra como (w_i), se coloca en la máquina de los Ángeles conjuntamente con las esferas señaladas las cuales deben ser 12. Determinadas de acuerdo a la granulometría y a la tabla 2 se pone a girar la máquina hasta alcanzar el número de revoluciones especificado (500) esta operación se deja durante 15 o 20 minutos.

Una vez concluida esta operación se procede a cribar este material por la malla no. 10 (2.00mm) se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra este peso como (w_f) en gramos.





El porcentaje de desgaste del agregado pétreo se obtendrá de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D = \frac{W_i - w_f}{W_i}$$

En donde

D desgaste del material pétreo, en por ciento.

W_i peso inicial de la muestra de prueba, en gramos.

W_f peso final de la muestra (material retenido en la malla no. 10), en gramos.

2.6 pruebas de compactación

Se entiende por compactación la aplicación mecánica de cierta energía, o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión del aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso específico o volumétrico.

Si a un suelo cuya humedad es baja se le van dando ciertos incrementos a su contenido de agua y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando, propiciado por la acción lubricante del agua, hasta que llega un momento en que el peso volumétrico del material seco, calculado a partir del peso volumétrico del material húmedo y de la humedad, alcanza un valor máximo .al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de las partículas y el mayor peso específico o volumétrico del material seco, para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima y al peso volumétrico correspondiente se el designa como peso específico o volumétrico seco máximo.





Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso específico seco máximo se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocuparían el lugar de algunas partículas del suelo, obteniéndose en consecuencia pesos específicos secos que van siendo menores a medida que el agua aumenta. Si en un sistema de ejes coordenados se sitúan los puntos correspondientes a cada peso específico seco con su respectiva humedad y se unen con una curva, quedara representada la variación del peso específico o volumétrico de un material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación; en esta curva adopta próximamente la forma de una parábola, siendo más pronunciada su curvatura en el caso de suelos arenosos que en el de suelos arcillosos.

El contenido de agua óptimo y el peso específico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando esta se aumenta, se obtienen mayores pesos específicos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso específico seco máximo son función del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación tienen en general mayores pesos específicos y menores contenidos de agua que los suelos finos.

Otro parámetro de importancia en la compactación es la llamada “curva de saturación teórica”; esta curva representa para cada peso específico la humedad necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí partículas sólidas estén llenos de agua, el peso específico del suelo seco γ_c correspondiente a la curva de saturación teórica, para una humedad dada, se calcula con la siguiente fórmula.

$$\gamma_c = \frac{S_s \gamma_w}{1 + W S_s}$$

En donde:

γ_c es el valor del peso específico del material seco, para construir la curva de saturación teórica, en kilogramos por metro cúbico.

S_s es el peso específico relativo de la fase sólida del suelo de que se trate, Determinado según corresponda a su tamaño,

γ_w es el peso específico del agua, considerado de mil (1000) kilogramos por Metro cúbico.

W es el contenido de agua elegido en cada caso para calcular el peso específico γ_c , expresado en forma decimal.





Dado que en la practica es imposible llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas de suelos compactado, la curva peso especifico del material seco-humedad no debe de cruzar a la curva de saturación teórica respectiva.

El por ciento de huecos que quedaron llenos de aire para una determinada condición de peso especifico seco y humedad de un suelo, se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$V_a = 100 \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_c} \right)$$

En donde:

V_a es el volumen de huecos que quedan llenos de aire entre las partículas de suelo, en por ciento.

γ_d es el peso especifico del suelo compactado, correspondiente a la humedad w , kilogramos por metro cúbico.

γ_c es el peso especifico del suelo seco obtenido de la curva de saturación Teórica, correspondiente a la misma humedad w , en kilogramos por metro Cúbico.

Para un suelo relativamente bien graduado, de fácil acomodo, no estimado en general como ligero, el por ciento de huecos que quedan llenos de aire cuando al alcanzar el cien por ciento (100%) de compactación con la humedad optima, es del orden de seis punto cinco por ciento (6.5%). Si al compactar este material en la obra con su humedad optima, el por ciento de vacíos llenos de aire es menor que el valor antes indicado, puede ser un indicio de que el material no ha alcanzado el cien por ciento (100%) de compactación o bien, que sin variar su peso especifico puede adquirir mayor humedad.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretenda dar, se han establecido procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los suelos en el laboratorio, con objeto de referencia y evaluar la compactación que se alcanza con los procedimientos aplicados en el campo, para determinar el grado de compactación del material. Tomando en cuenta la forma de aplicar la energía al material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean son de los siguientes tipos:

Por impactos, como son las pruebas de compactación dinámica aashto estándar, aashto modificada tres (3) y cinco (5) capas por carga estática, como es la prueba de compactación porter.



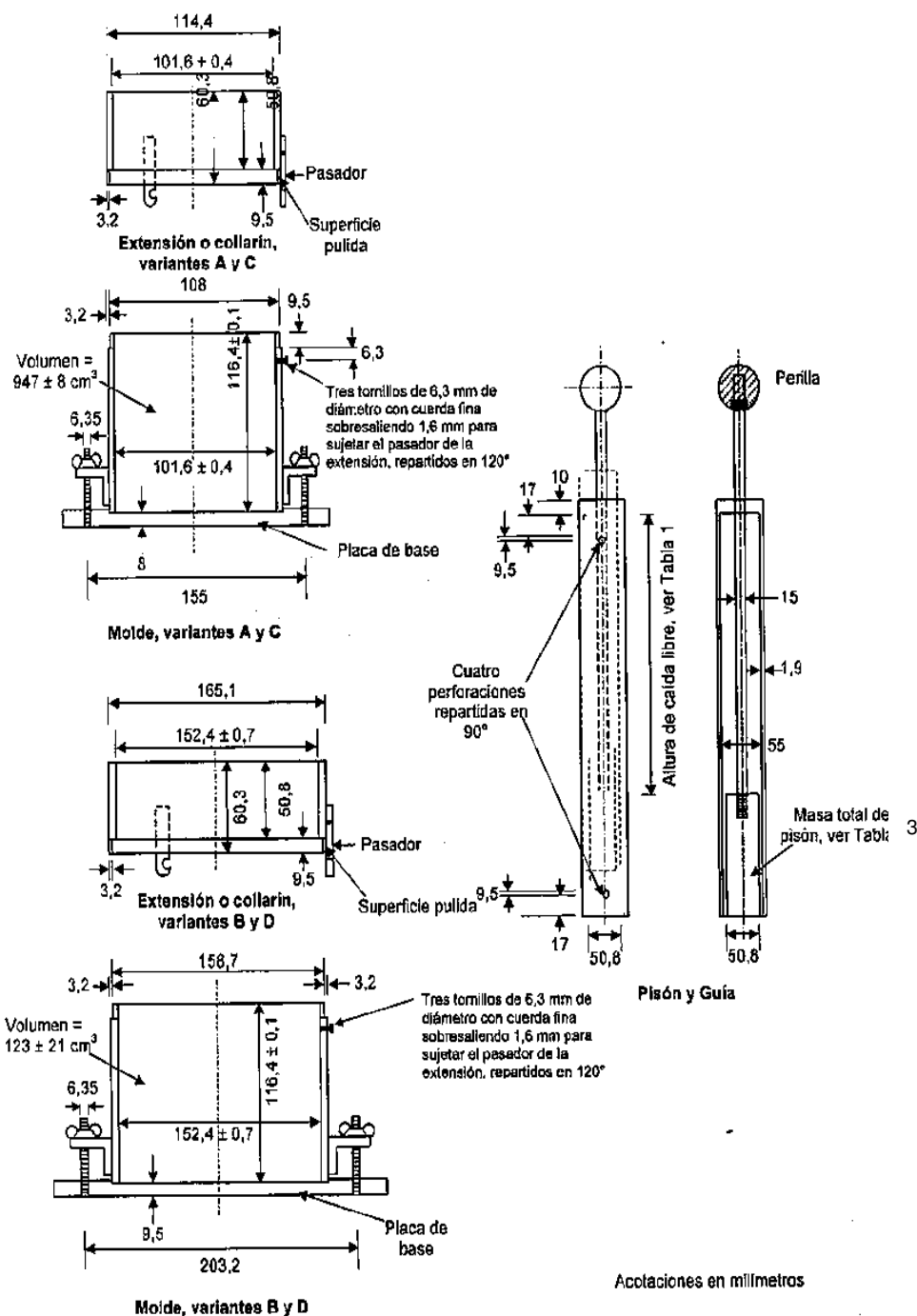


FIGURA 19 Moldes cilíndricos y pisones para las pruebas de compactación AASHTO



2.7 prueba aashto estandar y modificada.

En este capítulo se describe los procedimientos de prueba aashto estándar y aashto modificada, para determinar mediante la curva de compactación, la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo de los materiales para tercerías.

Las pruebas permiten determinar la curva de compactación de los materiales para tercerías y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. Consisten en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y, graficando los puntos correspondientes a cada determinación, trazar la curva de compactación del material.

Equipo y materiales

- ✚ el equipo para la ejecución de las pruebas estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad.
- ✚ moldes metálicos de forma cilíndrica, de volúmenes V_v y masas W_t conocidos, provistos de una placa de base metálica a la cual se asegura el cilindro y una extensión o collarín removible con diámetro interior igual al del cilindro, con la forma y dimensiones indicadas en la figura 19, dependiendo de la variante de prueba, según lo indicado en la tabla 1
- ✚ pisones metálicos, con cara inferior de apisonado circular, de 50,8 mm de diámetro, acoplados a una guía metálica tubular, como el mostrado en la figura 19 y con las características indicadas en la tabla 3, de acuerdo con el tipo de prueba de que se trate.
- ✚ regla metálica, de arista cortante, de aproximadamente 25 cm. de largo.
- ✚ balanzas una con capacidad mínima de 15 Kg. y aproximación de 5 g; otra con capacidad mínima de 2 Kg. y aproximación de 0,1 g
- ✚ horno eléctrico o de gas, con capacidad suficiente para contener el material de prueba, con termostato capaz de mantener una temperatura de 105°C y aproximación de $\pm 5^\circ\text{C}$.





- + base cúbica de concreto o de otro material de rigidez similar con dimensiones mínimas de 40 cm. por lado.
- + probetas una con capacidad de 500 cm³ y graduaciones a cada 10 cm³; otra con capacidad de 1 000 cm³ y graduaciones a cada 10 cm³.
- + mallas ¾" y no. 4 fabricadas con alambres de bronce o de acero inoxidable, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura nominal de 19 y 4,75 mm respectivamente,
- + cápsulas metálicas, con tapa.
- + charolas de lámina galvanizada, de forma rectangular de 40 x 70 x 10 cm.
- + cucharón de 20 cm. de largo, 11 cm. de ancho y 10 cm. de altura, formando un paralelepípedo rectangular con sólo cuatro caras, cuya cara menor lleva acoplado un mango metálico de sección circular de 13 cm. de largo.
- + aceite para lubricar las paredes de los moldes.

Variantes de pruebas

Las pruebas se pueden realizar con una de las siguientes cuatro variantes, según se muestra en la tabla 3.

Tipo de prueba	Estándar		Modificada	
Masa del pisón, Kg.	2,5 ±0,01		4,54 ±0,01	
Diámetro del pisón, mm	50,8		50,8	
Altura de caída del pisón, cm.	30,5 ±0,1		45,7 ±0,1	
Número de capas	3		5	
Variantes	A y c	B y d	A y c	B y d
Tamaño máximo del material, Mm	4,75 (no. 4)	19,0 (¾")	4,75 (no. 4)	19,0 (¾")
Diámetro int. Del molde, mm	101,6±0,4	152,4 ± 0,7	101,6 ±0,4	152,4 ±0,7
Número de golpes por capa	25	56	25	56
Tamaño de la muestra de Prueba, Kg.	4,0	7,5	4,0	7,5

Tabla no 3.





La variante de la prueba debe aplicarse para el material que esta siendo utilizado es la obtenida mediante la prueba aashto modificada, salvo que el proyecto indique otra cosa.

- + variante a, que se aplica a materiales que pasan la malla no.4 (4,75 mm) y se compactan en el molde de 101,6 mm de diámetro interior.
- + variante b, que se aplica a materiales que pasan la malla no. 4 (4,75 mm) y se compactan en el molde de 152,4 mm de diámetro interior.
- + variante c, que se aplica a materiales que pasan la malla $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y se compactan en el molde de 101,6 mm de diámetro interior.
- + variante d, que se aplica a materiales que pasan la malla $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y se compactan en molde 152,4 mm de diámetro interior.

Preparación de la muestra

La muestras, se separa por cuarteos una porción representativa de aproximadamente 4 Kg. para las variantes a y c, y de aproximadamente 7,5 Kg., para las variantes b y d.

En el caso de las variantes a y b, el material se criba a través de la malla no.4 (4,75 mm), mientras que para las variantes c y d el material se criba a través de la malla $\frac{3}{4}$ " (19 mm); en ambos casos se efectúa el cribado en forma manual, colocando la fracción que pasa en una charola y desechando el retenido.

Se homogeniza perfectamente el material que constituye la porción de prueba.

Procedimiento de las pruebas

A la porción preparada, se le agrega la cantidad de agua necesaria para que una vez homogeneizada, tenga un contenido de agua inferior en 4 a 6 respecto al óptimo estimado.

En el caso de que se hayan formado grumos durante la incorporación del agua, se revuelve el material hasta disgregarlo totalmente. Se mezcla cuidadosamente la porción para homogenizarla y se divide en tres fracciones aproximadamente iguales, en el caso de la prueba estándar y en cinco porciones para la prueba modificada.





Se coloca una de las fracciones de material en el molde de prueba seleccionado de acuerdo con la variante de que se trate, con su respectiva extensión, el cual se apoya sobre el bloque de concreto para compactar el material con el pisón que corresponda, aplicando 25 golpes para el caso de las variantes a y c ó 56 golpes para las variantes b y d, repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa, como se muestra en la figura 17 de este capítulo para el caso de la prueba estándar se utiliza el pisón de 2,5 Kg., con una altura de caída libre de 30,5 cm. y para el caso de la prueba modificada, la masa del pisón y la caída libre serán de 4,54 Kg. y 45,7 cm., respectivamente. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las capas subsecuentes.

Terminada la compactación de todas las capas, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1,5 cm. como máximo; de lo contrario la prueba se repetirá utilizando de preferencia una nueva porción de prueba con masa ligeramente menor que la inicial. En el caso de que no exceda dicho espesor, se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica.

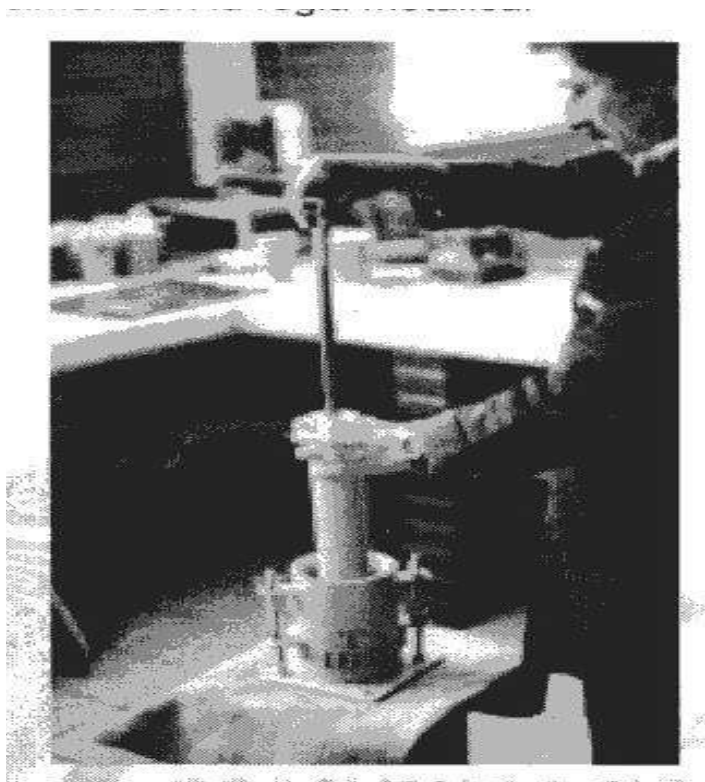


Figura no. 20 elaboración del espécimen





A continuación, se determina la masa del cilindro con el material de prueba y se registra como w_i , en grs., anotándola en una hoja de registro.

Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa para determinar su contenido de agua (w), de acuerdo con el procedimiento indicado, se registran los datos correspondientes a esta determinación en la misma hoja de registro como la mostrada la figura 17

Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, en su caso, se disgregan los grumos, se agrega aproximadamente 2% de agua con respecto a la masa inicial de la porción de prueba y se repiten los pasos descritos en este capítulo.

Con la misma porción de prueba se repite, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que dicho contenido sea tal que el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su masa con respecto al anterior. Para definir convenientemente la variación de la masa volumétrica de los especímenes elaborados respecto a sus contenidos de agua, se requiere compactar cuatro o cinco especímenes, que en la segunda determinación la masa del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que en la primera y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última.

En materiales degradables es conveniente preparar muestras de prueba diferentes para cada determinación.

Espécimen número		1	2	3	4	5
Cápsula número		2	6	3	9	1
Masa cápsula + suelo húmedo, (g)		193.8	204.2	198.1	172,4	187,9
Masa cápsula + suelo seco, (g)		169.0	177,0	171.0	143,8	156.8
Masa del agua, (g)		24.8	27,2	27,1	28.6	31.1
Masa cápsula, (g)		38,0	47,2	52,3	28.9	41,5
Masa suelo seco w_s , (a)		131,0	129,8	118,7	114,9	115.3
Contenido de agua w , (%)		18,9	21,0	22,9	24.9	27.0
Masa del molde + suelo húmedo w_h , (g)		6449	6 619	6711	6741	6 743
Masa del molde w_s , (g)		2 750	2 750	2 750	2 750	2 750
Masa suelo húmedo w_m , (g)		3699	3 869	3 961	3991	3 993
Volumen del molde v , (CMS)		2133	2 133	2 133	2 133	2 133
Masa volumétrica húmeda T_M , (Kg./m ³)		1 734	1 814	1 857	1 871	1 872
Masa volumétrica seca y_{ci} , (Kg./m ³)		1 458	1 499	1 511	1 498	1 474



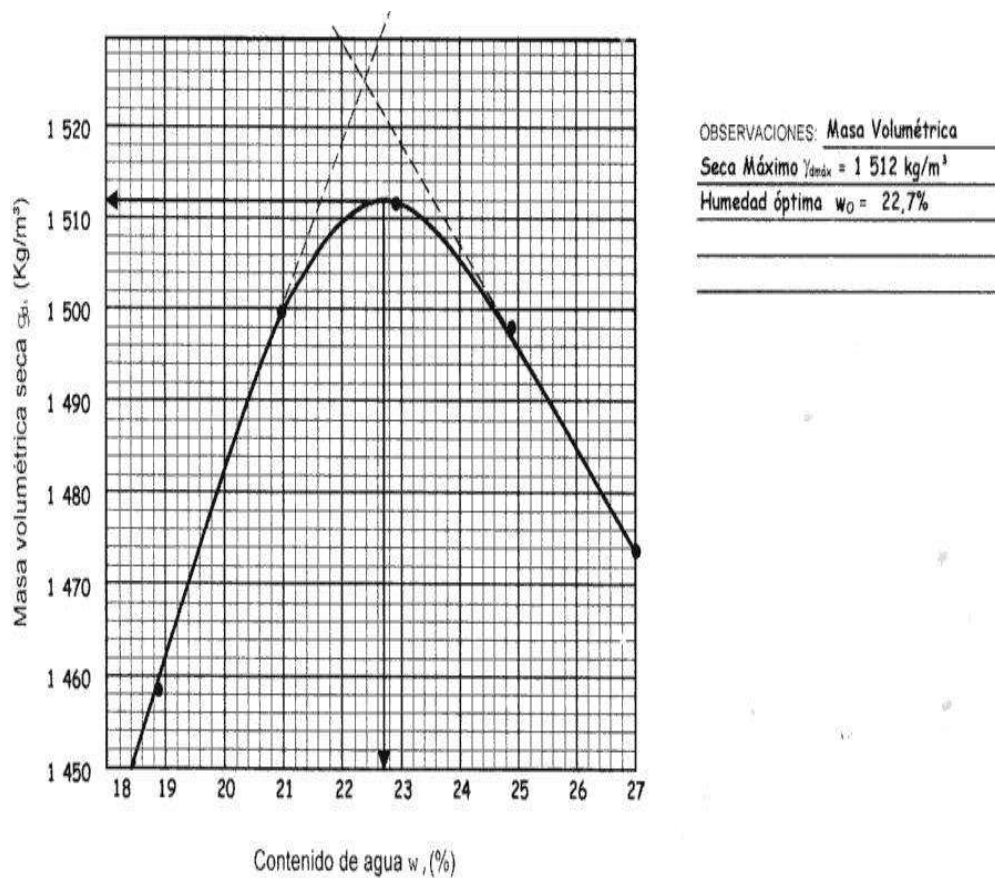


FIGURA 21 · Hoja de registro y curva de compactación para prueba dinámica AASHTO

Cálculos y resultados

En la hoja de registro, se anota la masa volumétrica del material húmedo de cada espécimen; para calcularla se emplea la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \frac{w_i - w_t}{V} \times 100$$

Donde:

γ_m = masa volumétrica del material húmedo, (Kg./m³)

W_i = masa del cilindro con el material húmedo compactado, (g)

W_t = masa del cilindro, (g)

V = volumen del cilindro, (cm³)





Se calcula la masa volumétrica seca de cada espécimen, empleando la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100 + w} \times 100$$

Donde:

γ_d = masa volumétrica seca del espécimen, (Kg./m³)
 γ_m = masa volumétrica de) material húmedo, (Kg./m³)
 w = contenido de agua del espécimen, (%)

En una gráfica como la incluida en la hoja de registro que se muestra en la figura 21, en la que en el eje de las ordenadas se indican las masas volumétricas secas (γ_d) y en el de las abscisas los contenidos de agua (w), se dibujan los puntos correspondientes a cada espécimen, los que se unen con una línea continua de forma aproximadamente parabólica denominada curva de compactación, la que determina la variación de la masa volumétrica seca del material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación,

Se determinan y reportan la masa volumétrica máxima seca del material, γ_{dmax} , en Kg./m³ y su contenido de agua óptimo, w_{o1} en %, que se obtienen en forma gráfica de la curva de compactación: la ordenada en el punto más alto de dicha curva representa la masa volumétrica seca máxima γ_{dmax} y la abscisa de ese punto, el contenido de agua óptimo, w_{o1}

En caso necesario, se determina la curva de saturación teórica del material, para lo que se calculan los contenidos de agua para las masas volumétricas secas, γ_d , con los que el material compactado quedaría saturado, γ_{dsat} este cálculo se realiza para 4 masas volumétricas secas diferentes, utilizando la siguiente expresión:

$$w_{sat} = \left[\frac{\gamma_w}{\gamma_d} \cdot \frac{1}{S_s} \right] \times 100$$





Donde:

w_{sat} = contenido de agua para el cual el material, en las condiciones de compactación, estaría saturado, (%)

γ_d = masa volumétrica seca del material compactado, (Kg./m³)

S_s = densidad relativa de sólidos del material, determinada según corresponda al tamaño de sus partículas.

γ_w = masa volumétrica del agua destilada a 4 °C, (Kg./m³), considerada en la práctica como 1 000 Kg./m³

En la misma gráfica que contiene la curva de compactación, se dibujan y unen con una línea continua, los puntos correspondientes a las masas volumétricas secas del material y los contenidos de agua para los cuales estaría teóricamente saturado, calculados como se indica en la fracción anterior, obteniéndose la curva de saturación teórica; se verifica que la curva de compactación no corte la curva de saturación teórica. En la figura 18, se muestran las curvas de 100 % de saturación teórica típicas correspondientes a materiales cuyas densidades relativas varían de 2,4 a 2,8. Es usual trazar también las curvas correspondientes a grados de saturación teórica de 90 y 95 % , las que si pueden ser cortadas por la curva de compactación. Para simplificar los cálculos que definen la curva de 100 % de saturación teórica, dependiendo de la densidad de sólidos del material, los datos pueden tomarse de la figura 22.



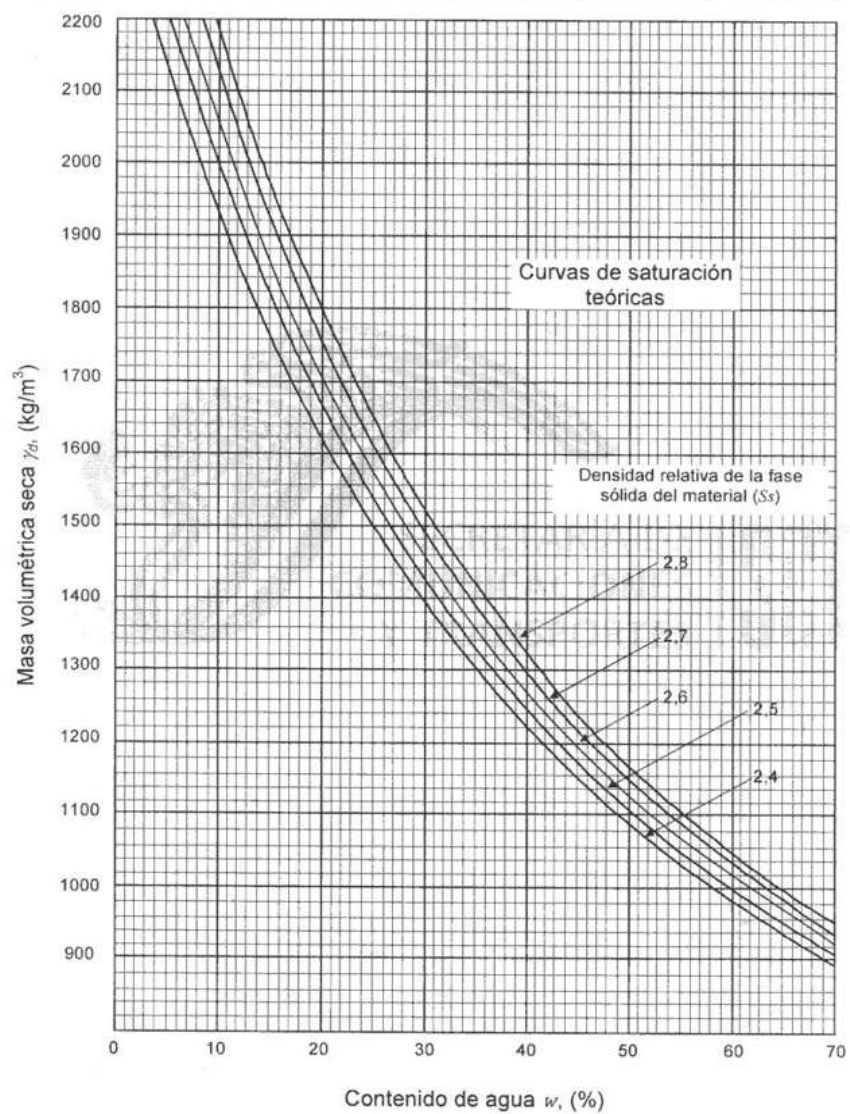


FIGURA 22 Curvas típicas de saturación teórica

7. Todos los cálculos correspondientes a la curva de compactación a que se refiere esta Cláusula, se reportan en el formato mostrado en la Figura 3 de este Manual.





Precauciones:

Para evitar errores durante la ejecución de las pruebas, se observan las siguientes precauciones:

1. Que las pruebas se realicen en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de material.
2. Que la muestra utilizada para la prueba de compactación, se seque solamente lo necesario para poder disgregarla.
3. Que durante la compactación, los golpes del pisón se reparten uniformemente en toda la superficie del espécimen, aplicando los golpes sucesivos en puntos diametralmente opuestos, manteniendo la guía en posición vertical, cuidando que la caída del pisón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.
4. Que la curva de compactación se obtenga siempre con contenidos de agua crecientes y no secando la muestra durante la ejecución de la prueba.
5. Que el contenido de agua del primer espécimen sea inferior al óptimo y que cada una de las ramas de la curva mencionada se defina como mínimo con dos puntos.

2.8 Determinación de la forma de la partícula

El objetivo principal de esta prueba es el determinar la relación entre dimensiones de las partículas del material pétreo, a fin de clasificarlas con respecto a su forma alargada o de laja y conocer el porcentaje de partículas que contiene la muestra utilizada para la mezcla de la base.

Esta prueba se realiza a partículas de material pétreo que pasa la malla $\frac{1}{4}$ " y dichas partículas deberán tener una relación entre su espesor y su ancho no menor a 0.60 veces.





Procedimiento de prueba

De una muestra representativa de material pétreo se toma por cuarteo una porción suficiente para obtener como mínimo 200 partículas retenidas en la malla ¼" se pesa el material retenido por dicha malla y se registra como (wi)

Se toma de una en una las partículas que forman las porciones clasificadas de la muestra y se verifica si pasa por las ranuras correspondientes del calibrador de espesores buscando la posición mas adecuada de cada partícula para esta prueba.

De todas las partículas que pasaron por las ranuras del calibrador, se obtiene su peso y este se registra como (wp).

Para saber el contenido de partículas en forma de laja se emplea la siguiente formula:

$$Cp = \frac{wp}{Wi} \times 100$$

En donde:

Cp = contenido de partículas en forma de laja (%)

Wp = peso que pasan las ranuras del calibrador (grs.)

Wi = peso del material retenido en la malla ¼ " (630 mm) (grs.)

No. De ranura	(wp) peso pasa La ranura (grs.)	Contenido de Partículas en Forma de lajas
30	70.2	5
40	114.5	8
50	262.0	19
70	226.5	16
80	372.0	26
90	220.7	16
100	136.5	10
Suma	1420.5	100





Para saber el contenido de partículas en forma de alargadas de la muestra se emplea la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{w_a}{W_i} \times 100$$

En donde:

C_p = contenido de partículas en forma alargada (%)

W_a = peso de las partículas que no pasan los clavos del calibrador (grs.)

W_i = peso

Para determinar las partículas en forma alargada, que son las que tienen una relación entre su largo y su ancho mayor de 1.8 veces, se utilizara la porción retenida en la malla $\frac{1}{4}$ " (6.30 mm).

Se toma una muestra representativa tal como se hizo para la prueba anterior, en esta prueba se utilizara el calibrador de longitudes haciendo pasar de una en una las partículas de tal manera que su mayor dimensión sea paralela al eje longitudinal de calibrador.





CAPITULO 3

PRUEBAS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO

3.1 Determinación del grado de compactación

3.1.1. Generalidades

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar mas en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

Los métodos empleados para la compactación de suelos dependen del tipo de materiales con que se trabaje en cada caso; en los materiales puramente friccionantes como la arena, los métodos vibratorios son los más eficientes, en tanto que en suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el mas ventajoso. En la práctica, estas características se reflejan en el equipo disponible para el trabajo, tales como: plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o patas de cabra.

3.1.2. Fundamentos de la compactación

Los fundamentos de la compactación no están perfectamente explicados, sin embargo, se reconoce que el agua juega un papel importante, especialmente en suelos finos. Es así como existe un contenido de humedad óptima (wop) para suelos finos, para el cual el proceso de compactación dará un peso máximo de suelo por unidad de volumen, es decir, un peso específico seco máximo γ_{dmax} .

El procedimiento que se describe en esta cláusula tiene por objeto determinar el grado de acomodo que las partículas de un suelo en su estado natural o bien, de las de un material pétreo que forma parte de una estructura, ya sea que esta se encuentre en construcción o terminada; fundamentalmente consiste en relacionar el peso volumétrico seco en el lugar, con el respectivo peso volumétrico seco máximo, expresándose el





resultado en por ciento, ambas determinaciones se efectúan con porciones del suelo o material, correspondientes a un mismo tamaño máximo, el cual queda limitado de acuerdo con la fracción de suelo que se utilice en la prueba de compactación de laboratorio considerada. El grado de compactación se determinara en la forma siguiente:

- A) Se obtiene el peso específico seco máximo $\gamma_{d\text{máx}}$ del material.
- B) Se obtiene el peso volumétrico seco en el lugar, del material o fracción del mismo γ_d , excepto que para medir el volumen del sondeo una vez extraído todo el material, las partículas mayores al tamaño máximo con que se realiza la prueba de compactación en el laboratorio, serán separadas mediante cribado y devueltas al sondeo después de iniciarse el vaciado de arena para no considerar el peso y volumen de aquellas, ni tomarlas en cuenta para la determinación del contenido de agua; dichas partículas deberán colocarse cuidadosamente en la excavación, interrumpiendo el vaciado de la arena, de tal manera que al depositarlas no se altere al acomodo de esta, la que deberá cubrir a cada una de las partículas individualmente, en tal forma que al completar el vaciado de la arena, esta las envuelva totalmente sin dejar huecos.
- C) Se calcula el grado de compactación del material aplicando la siguiente formula:

$$G_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d\text{máx.}}} \times 100$$

En donde:

- G_c es el grado de compactación del material, en por ciento.
- γ_d es el peso específico o volumétrico del material en estado seco, en el lugar en kilogramos por metro cúbico.
- $\gamma_{d\text{máx.}}$ Es el peso específico o volumétrico seco máximo del materia en kilogramos por metro cúbico.

Para bajos contenidos de humedad, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo, lo cual tiende a la formación de grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación.



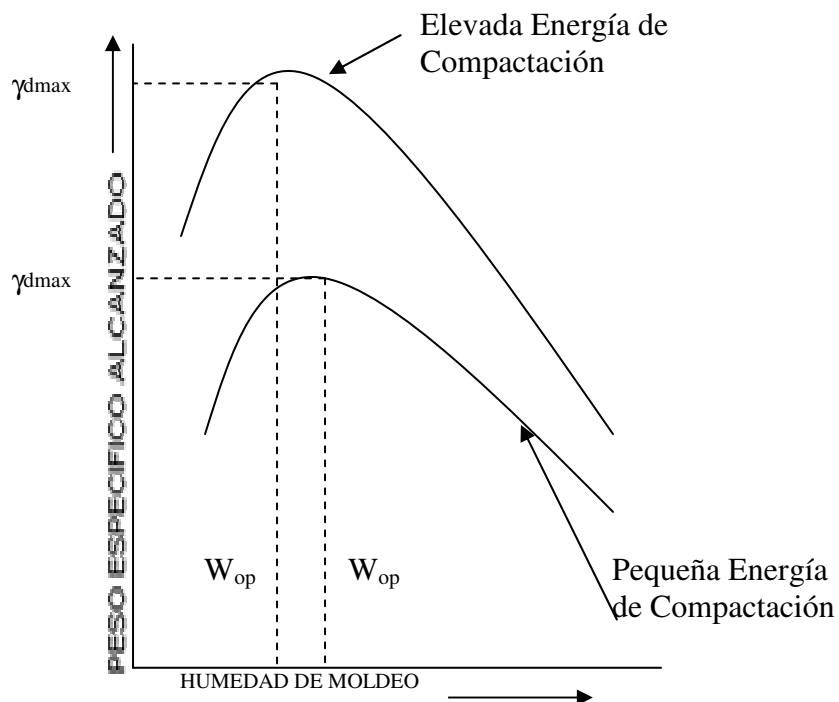


Fig. 23 curva de compactación

El aumento del contenido de humedad hace disminuir esta tensión capilar en el agua, haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados. Si el agua es tal que se tienen parte importante de los vacíos llenos de agua, esta dificulta el desplazamiento de las partículas de suelo produciendo una disminución en la eficiencia de la compactación. Por esta razón se habla de una humedad óptima para suelos finos, para el cual el proceso de compactación dará un peso máximo de suelo por unidad de volumen $\gamma_{dmáx}$





La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan en laboratorio la compactación que se puede obtener in situ con el equipo disponible. De entre todos los factores que influyen en la compactación, podría decirse que dos son los más importantes: el contenido de agua del suelo, antes de iniciarse el proceso de compactación y la energía específica, empleada en dicho proceso.

La secuencia práctica para definir las características del proceso que resultará en una compactación óptima, es la siguiente: cuando se va a realizar una obra en la que el suelo vaya a ser compactado, se obtienen muestras de suelo que se van a emplear, sometiéndolas en laboratorio a distintas condiciones de compactación hasta encontrar alguna que garantice un proyecto seguro y que a la vez pueda lograrse económicamente, con la maquinaria existente. En terreno se producen las condiciones de laboratorio adoptadas para el proyecto y finalmente una vez iniciada la construcción se verifica la compactación lograda en terreno con muestras elegidas al azar para comprobar si se están satisfaciendo los requerimientos del proyecto.

En resumen, el propósito de un ensayo de compactación de laboratorio, es determinar la correcta cantidad de agua de amasado a usar cuando se compacte el suelo en terreno, y el grado de compacidad que puede esperarse al compactarse el suelo en este grado de humedad óptimo. Para cumplir este propósito, un ensayo de laboratorio debe considerar una compactación comparable a la obtenida por el método que se utilizará en terreno.

3.1.3.- Beneficios de la compactación

1. Aumenta la capacidad para soportar cargas:
Los vacíos producen debilidad del suelo e incapacidad para soportar cargas pesadas. Estando apretadas todas las partículas, el suelo puede soportar cargas mayores debido a que las partículas mismas se soportan mejor.
2. Reduce el escurrimiento del agua:
Un suelo compactado reduce la penetración de agua. El agua fluye y el drenaje puede entonces regularse.





3. Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo:
Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos. El resultado sería el esponjamiento del suelo durante la estación de lluvias y la contracción del mismo, durante la estación seca.
4. Impide los daños de las heladas:
El agua se expande y aumenta el volumen al congelarse. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche, y a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten. La compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo.

3.1.4.- Determinación de la humedad o contenido de agua de los suelos en campo.

La prueba rápida para la determinación de la humedad o contenido del agua se lleva a cabo en el campo cuando se necesita conocer la humedad en un lapso breve, para lo cual se eleva la temperatura de la muestra colocada en su recipiente, utilizando una fuente de calor de flama abierta. Con este procedimiento las muestras se llegan a calentar a un grado tal que puede originarse la pérdida del agua de hidratación o de composición.

Equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

- + balanza con aproximación de un centésimo (0.01) de gramo, para muestras que pesen hasta cien (100) gramos, balanza con aproximación de un décimo (0.1) de gramo, para muestras que pesen entre cien y mil (100-1000) gramos o bien, balanza con aproximación de un (1) gramo, para muestras que pesen más de mil (1000) gramos.
- + lámpara de gasolina o cualquier otra fuente de calor de flama abierta.
- + recipientes apropiados, de material resistente a la corrosión y que no sufran variaciones en su peso o se deterioren con los cambios de temperatura.
- + vidrios de reloj.
- + pinzas para el manejo de recipientes.
- + cuchara de albañil chica.





Para efectuar la prueba deberá seguirse el procedimiento que a continuación se indica:

1. Se pesa un recipiente limpio y seco y se registra este peso como w_1 , en gramos.
2. Se coloca la muestra de suelo húmedo en el recipiente e inmediatamente después se determina su peso, incluyendo el del recipiente, anotando este peso como w_1 , en gramos.
3. A continuación se coloca en la fuente de calor el recipiente que contienen la muestra, permitiendo la libre evaporación del agua durante el tiempo necesario para que se seque, lo cual se comprueba haciendo pasar repetidamente un vidrio de reloj sobre la muestra; mientras esta contenga agua, se formará una condensación de vapor en la superficie del vidrio. Con el fin de lograr un secado más rápido y uniforme, se recomienda remover moderadamente la muestra dentro del recipiente durante este proceso, evitando pérdidas de material.
4. Una vez que se ha secado la muestra, se retira el recipiente de la flama con las pinzas y se deja enfriar hasta que se pueda pesar la muestra seca con su recipiente, anotándose este peso como w_2 , en gramos.
- 5.- se calcular la humedad expresándola en por ciento, por medio de la formula siguiente:

$$W = \frac{W_1 - w_2}{W_2 - w} \times 100 = \frac{w_w \times 100}{w_s}$$

En donde:

W es el contenido de agua, en por ciento.

W_1 es el peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente, en gramos.

W_2 es el peso de la muestra seca más el peso del recipiente, en gramos.

W es el peso del recipiente, en gramos.

$W_w = w_1 - w_2$, es el peso del agua que contiene el suelo, en gramos

$W_s = w_2 - w$ es el peso de la muestra seca, en gramos.





3.2 Método tradicional (método de la arena)

3.2.1 Determinación del peso específico en el lugar por el método del cono y arena

La determinación del peso específico o volumétrico en el lugar por el método del cono y arena, se aplica principalmente a suelos que pasan la malla núm. 19.0, tanto en su estado natural como en estado compactado; sirve para obtener los coeficientes de variación volumétrico y los grados de compactación de los materiales que forman las tercerías.

El equipo y los materiales necesarios para efectuar esta prueba, son los siguientes :

- recipiente de calibración con diámetro interior de dieciocho (18) centímetros y altura de diez (10) centímetros
- dispositivo para colocar la arena en el sondeo, un aparato para medir volúmenes con arena, consistente en una sección desmontable constituida por dos (2) conos metálicos unidos entre sí por una válvula cilíndrica que tiene un orificio de trece (13) milímetros. Uno de los conos esta provisto de rosca para acoplarlo a la boca del recipiente y el otro tiene libre el extremo de mayor diámetro, para colocarlo sobre una base metálica de forma cuadrada o sobre una lona con perforación en el centro, provista de un anillo metálico.

Se determina el peso de la arena necesaria para llenar el cono de mayor tamaño, que se denomina cono de arena, siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

1. Se vierte arena en el frasco del dispositivo en una cantidad suficiente para llenar el cono de arena, se montan los conos en la boca del frasco y se cierra la válvula.
2. Se pesa el dispositivo conteniendo la arena, anotando su peso como w_{fs} , en gramos.
3. Se pone la base sobre una superficie limpia, a nivel y sensiblemente plana.
4. Se invierte el dispositivo y se coloca sobre la base.





5. Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que se detenga el flujo de arena, es decir, hasta que se haya llenado el cono de mayor tamaño.
6. Se cierra perfectamente la válvula, se pesa el dispositivo con la arena permanente y se anota este peso como w_{sr} , en gramos.
7. Se determina el peso del cono de arena mediante la formula siguiente:

$$W_{sc} = w_{fs} - w_{sr}$$

En donde:

W_{sc} es el peso del cono con arena, en gramos.

W_{fs} es el peso inicial del dispositivo conteniendo arena, en gramos

W_{sr} es el peso del dispositivo con la arena remanente, en gramos

El peso específico o volumétrico de la arena se determina siguiendo el procedimiento que se indica a continuación:

8. Se llena el frasco del dispositivo con la arena limpia y seca, se instalan los conos en la boca del frasco y se cierra la válvula.
9. Se pesa el dispositivo conteniendo la arena y se anota dicho peso como w_{fs} en gramos.
10. Se coloca el recipiente de calibración sobre una superficie sensiblemente horizontal y firme en posición para ser llenado.
11. Se instala sobre el recipiente de calibración la base metálica del aparato sujetándola adecuadamente para evitar fugas de arena y se monta en ésta el dispositivo conteniendo la arena.
12. Se abre la válvula y se mantiene en estas condiciones hasta que detenga el flujo de arena, quedando en esta forma llenos el recipiente de calibración y el cono de arena.





13. Se cierra perfectamente la válvula, se pesa el dispositivo con la arena remanente y se anota este peso como w_{fsr} , en gramos.
14. Se determina el peso específico o volumétrico de la arena γ_{sd} , empleando la siguiente formula:

$$\gamma_{sd} = \frac{W_{sd}}{V_r} \times 1000 = \frac{(w_{fs} - w_{fsr}) - w_{sc}}{V_r} \times 1000$$

En donde:

- γ_{sd} es el peso específico o volumétrico de la arena seca, en Kilogramo por metro cúbico.
- W_{sd} es el peso de la arena seca empleada para llenar el recipiente de calibración en gramos.
- W_{sc} es el peso del cono de arena, en gramos.
- V_r es el volumen del recipiente de calibración, en centímetros cúbicos.
- W_{fs} es el peso del dispositivo con el frasco lleno de arena, en gramos.
- W_{fsr} es el peso del dispositivo con la arena remanente, en gramos.

El procedimiento para determinar el peso específico o volumétrico de un suelo, en el lugar, por este método, es el siguiente:

15. Una vez seleccionado el sitio en que se efectuará la prueba se prepara la superficie de tal manera que se tenga una porción plana de aproximadamente cincuenta (50) por cincuenta (50) centímetros, libre de partículas sueltas.
16. Se coloca la base sobre la superficie preparada, se marca en ésta el borde interior de dicha base para delimitar el sondeo y a continuación se efectúa éste a la profundidad requerida; se coloca en un recipiente el material extraído de dicho sondeo, se le determina su peso, y se toma la muestra para la prueba de humedad.





17. Se llena con arena el frasco del dispositivo, se montan los conos en la boca y se cierra la válvula.
18. Se pesa el dispositivo conteniendo la arena y se anota su peso como w_{fs} , en gramos.
19. Se invierte e instala el dispositivo sobre la base metálica previamente colocada en el sondeo, se abre la válvula y una vez que el flujo de arena se haya suspendido, por haberse llenado el sondeo y el cono de mayor tamaño, se cierra completamente la válvula.
20. Se pesa el dispositivo con la arena remanente en el frasco y se registra dicho peso como w_{fsr} , en gramos.

En esta prueba deberá calcularse y reportarse lo siguiente:

21. Se calcula el volumen del sondeo de prueba empleando la siguiente formula:

$$V_m = \frac{(w_{fs} - w_{fsr}) - w_{sc}}{\gamma_{sd}} \times 1000$$

En donde:

- V_m es el volumen del sondeo, en centímetros cúbicos.
- γ_{sd} es el peso específico o volumétrico de la arena seca, en Kilogramo por metro cúbico.
- w_{sc} es el peso del cono de arena, en gramos.
- w_{fs} es el peso del dispositivo con el frasco lleno de arena, en gramos.
- w_{fsr} es el peso del dispositivo con la arena remanente, en gramos.





Equipo:

- + barreta de acero con un extremo terminado en punta y el otro terminado en bisel.
- + tela delgada en plástico resistente o de látex sin rotura ni perforaciones, sensiblemente cuadrada, de tres punto cincuenta (3.5) metros por lado, aproximadamente.
- + lona ahulada, preferentemente de forma cuadrada, con dimensiones mínimas de dos (2) metros por lado.

La prueba se efectúa en la forma siguiente:

1. Se limpia y se despalma el sitio de prueba, dejando una superficie de forma sensiblemente cuadrada y de un (1) metro por lado, como mínimo, prácticamente plana y horizontal lo que se comprobaba con el nivel de burbuja.
2. Se efectúa en el sitio de prueba, sin abarcar toda la superficie preparada, un sondeo de forma sensiblemente cúbica o cilíndrica cuyo volumen aproximado sea de cien (100) decímetros cúbicos o más, evitando alterar el acomodo del material en las paredes y fondo del sondeo. Se coloca sobre la lona el material que se vaya obteniendo de la excavación, sin que se produzcan pérdidas del mismo y se cubre con una lona húmeda para evitar en lo posible que pierda humedad.
3. Inmediatamente después se pesa el material extraído del sondeo y se registra su peso total w_m , en kilogramos.
4. Se mezcla el material hasta homogenizarlo convenientemente, se toma una muestra representativa cuyo peso este de acuerdo con el tamaño máximo del material, pero no menor de tres (3) kilogramos si el material contiene fragmentos de roca; se determina su contenido de agua y se anota dicho contenido como w , en por ciento.





5. Cuando la excavación del sondeo se dificulta, haciendo lenta la extracción del material, se efectúa el sondeo en dos (2) ó más partes y al finalizar cada una (1) de ella, se pesa el material correspondiente, se registra el peso parcial w_{mp} , en kilogramos y se determina su contenido de agua, de acuerdo con lo que se indica en el subpárrafo 4) de este párrafo, anotándolo como w_{mp} , en por ciento; lo indicado también se efectuara cuando se observen variaciones importantes en las características del material o en su compactación, para lo cual el sondeo se divide de acuerdo con dichos cambios.

Los cálculos y reportes de esta prueba son los siguientes:

6. Cuando el sondeo se haga en partes, se calcula el peso de todo el material húmedo extraído, sumando los pesos parciales w_{mp} , y registrando dicho peso como w_m , en kilogramos; también se calcula la humedad media w del material extraído, aplicando la siguiente formula:

$$W = \frac{W_{mpl} \times w_{mpl} + W_{mp2} \times w_{mp2} + \dots W_{mpn} \times w_{mpn}}{W_m}$$

En donde:

W es la humedad media del material extraído del sondeo, en por ciento.

$W_{mpl} \times w_{mpl} + W_{mp2} \times w_{mp2} + \dots W_{mpn} \times w_{mpn}$,

Es la suma de los productos del peso del material húmedo extraído de cada parte del sondeo, w_{mp} , en kilogramos, por su contenido de agua correspondiente, w_{mp} expresado en por ciento.

W_m es el peso de todo el material húmedo extraído del sondeo, en kilogramos.

7. Se calcula y se reporta el peso especifico o volumétrico húmedo del material en el lugar empleando la siguiente formula:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \times 1000$$





En donde:

γ_m es el peso específico o volumétrico del material seco en el lugar, en kilogramos por metro cúbico.

W_m es el peso del material seco extraído del sondeo, en kilogramos.

V_m es el volumen del sondeo, en centímetros cúbicos.

8. Se calcula y se reporta el peso específico o volumétrico seco del material en el lugar empleando la siguiente formula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{100+w} \times 100$$

En donde:

γ_d es el peso específico o volumétrico del material seco en el lugar, en kilogramos por metro cúbico

γ_m es el peso específico o volumétrico del material húmedo en el lugar, en kilogramos por metro cúbico

V_m es el volumen del sondeo, en decímetros cúbicos.

9. Se calcula el grado de compactación con la siguiente formula:

$$G_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_d \text{ max.}} \times 100$$





3.3 Método del martillo de impacto para suelos.

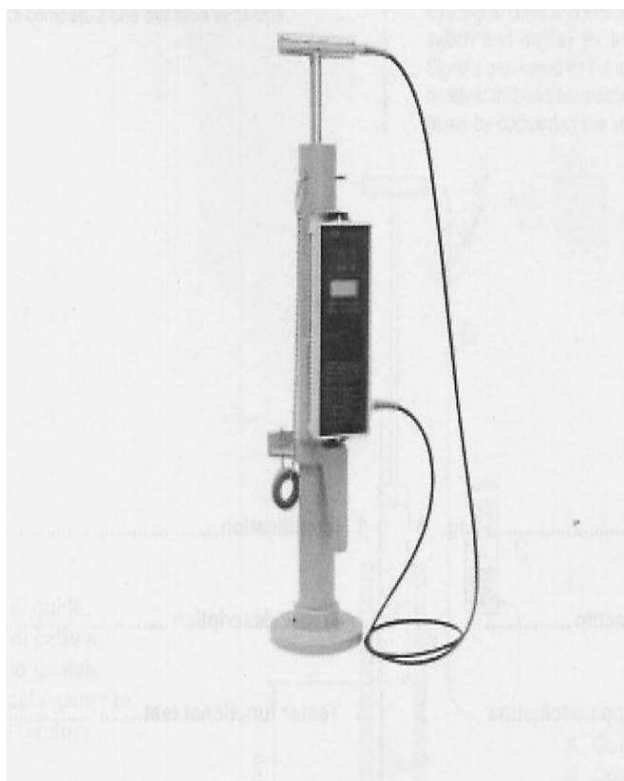


Fig. No 24 martillo de impacto ò martillo de impacto clegg





El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material en algunos aspectos.

- + aumentar la resistencia al corte, y por consiguiente, mejorar la estabilidad, de terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- + disminuir la compresibilidad y por consiguiente reducir los asentamientos.
- + disminuir la relación de vacíos y por consiguiente reducir la permeabilidad
- + reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

3.3.1 Manual de instrucciones compactometro electrónico.

La identificación, numero de código, numero de serie, especificaciones eléctricas y otras informaciones están marcadas en una placa fija a la base libre.

El compacto metro es de construcción simple y consta de tres secciones como sigue:

- + **Carcasa de guía:** que tiene un pin de seguridad para la manija de transporte y una cadena para el martillo de compactación así como un lugar para la unidad receptora.
- + **Martillo de compactación:** pesa 4.5 Kg. y tiene integrado un sensor de impacto, una manija de elevación y caída y un conector para cable de la unidad receptora de señal.
- + **Unidad receptora:** con una pantalla digital de cristal liquido, un interruptor de prueba tipo membrana y una conexión para el cable de señal.

El propósito de la carcasa de guía es proporcionar el control de área de caída (impacto) de martillo de compactación sobre la superficie que va a ser medida.





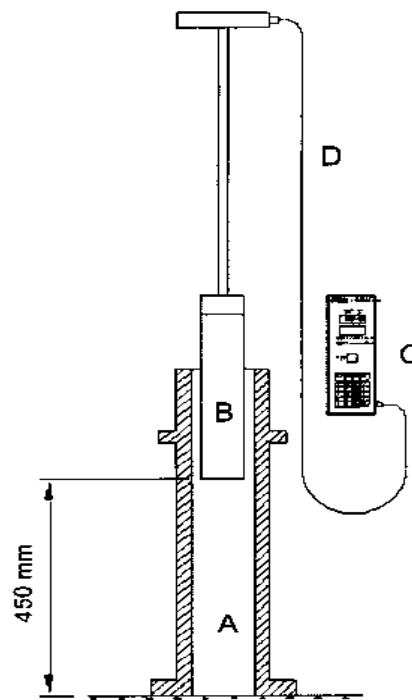
El martillo de compactación comprende dos partes: un peso de 4.5kg con un sensor de impacto integrado y una manija de elevación y caída con una conexión de cable de sensor.

El anillo de hule de prueba calibrado, se suministra para los chequeos periódicos del compactómetro.

La unidad receptora esta conectada al martillo de compactación por un cable de señal y acciona un panel de membrana con un interruptor de prueba y una pantalla para indicar el valor del impacto y el número de caída (golpe).

Las señales generadas por el sensor de impacto son recibidas por la unidad receptora y procesadas automáticamente para proporcionar el resultado de prueba de la compactación de los valores del impacto.

- A. Carcasa guía
- B. Martillo de compactación
- C. Unidad receptora
- D. Cable de señal
- E. Anillo de prueba





Unidad receptora

La unidad receptora es un robusto receptáculo portátil incorporado a una fuente de suministro de potencia con batería de 9 volts (2xpp3 baterías) un circuito de monitoreo y un panel con la membrana de control y la carátula digital. Incorporado al panel de la membrana esta en una carátula de cristal liquido (lcd) para indicar el valor del impacto y el número de caída (golpe) y un botón de encendido (power on) para interrumpir o conectar el suministro de la batería de 9 volts al circuito de monitoreo.

El panel esta ilustrado gráficamente para mostrar los requerimientos de las pruebas y las funciones de la carátula, los valores del impacto que no cumplen con los requerimientos de la prueba son monitoreados por el circuito y se muestran en la carátula de cristal liquido (lcd) como * ee * (fuera de limites) ó * help * (auxilio) fuera de rango.

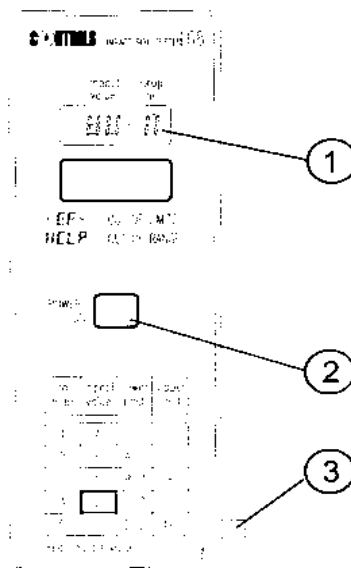
Una lectura típica * ee * será mostrada en la carátula cuando cualquiera de los valores de los cuatro primeros impactos fue menor que el valor previo por el factor de 2 o si el quinto valor grabado fue también mucho mayor que el cuarto valor por el factor 2.

- help * (auxilio) será normalmente mostrado si el valor grabado de impacto fue excesivamente alto indicando la presencia de rocas o piedras en superficie de prueba.

Help * (auxilio) también será mostrado si el martillo fue dejado caer sobre cualquier superficie sólida o dura y esto dañara el sensor de impacto localizando el martillo.

1. Carátula de cristal liquido (lcd)
2. Botón de presión de encendido
3. Conector de cable de señal (bnc)





Receptáculo para reposición de las baterías

Dos baterías alcalinas de 9 volts pp3 (duracell mn 1604 6ir61 o equivalente) se localizan en un sujetador de espuma dentro del receptáculo. Cuando las baterías requieran ser cambiadas aparecerá un indicador de la batería baja en la carátula quite la cubierta trasera del receptáculo aflojando los seis tornillos deslice la cubierta cuidadosamente a un lado y cuide no forzar el * **lead** * (indicador electrónico) de la terminal de la tabla del circuito y del conector bnc. Saque y desconecte las baterías del sujetador teniendo cuidado de no molestar las conexiones del bloque de terminales de la tabla de circuito.

Conecte las baterías de reemplazo y colóquelas firmemente en el sujetador. Coloque y asegure la tapa trasera con los seis tornillos teniendo cuidado de no morder el lead (indicador electrónico) del conector bnc.

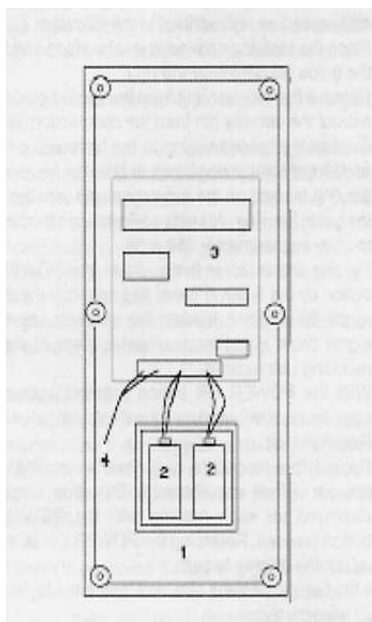




Precaución:

No toque o intervenga con ninguno de los componentes electrónicos de la tabla de circuitos cuando quite y reponga las baterías.

1. Sujetador de las baterías
2. Baterías
3. Tabla de circuitos
4. Lead (indicador electrónico) al conectar bnc (sobre la tapa posterior)





3.3.2 Prueba funcional del compactometro.

El compactómetro debe ser verificado regularmente para establecer que los valores del impacto están siendo recibidos y procesados correctamente, las verificaciones dependerán de la frecuencia del uso del compactometro pero normalmente no debe pasar más de un mes entre cada verificación.

Las pruebas se efectuarán en una superficie firmemente sólida con el anillo de hule de la prueba (marcado con un valor de impacto) y localizado en la carcasa guía nunca deben efectuarse pruebas de funcionamiento sobre piso o superficie donde se camine o sobre la tierra alrededor de esta superficies.

Precaución:

El martillo de compactación nunca debe dejarse caer sobre una superficie sólida o dura sin el anillo en su lugar ya que eso ocasiona daños permanentes al sensor de impacto localizado dentro del martillo, use el anillo de prueba siempre sobre superficies sólidas o duras.

El procedimiento de pruebas se describe como sigue:

1. Coloque el anillo de prueba sobre una superficie sólida nivelada y coloque la carcasa guía sobre el anillo.
2. Quite la unidad receptora de la carcasa de guía y saque el pin de seguridad del martillo de compactación.
3. Sostenga la carcasa guía por la base con un pie eleve el martillo de compactación de la carcasa hasta que el anillo marcado sobre el martillo se alinie con la parte superior de la carcasa guía (esta posición permite al martillo caer aproximadamente 450mm.).
4. Sujete el receptor firmemente, presione el botón de encendido * power * en el panel del receptor y vea que en la carátula se lea 00-0 cuando sujete el receptor asegúrese que el cable de señal no este atrapado y este libre de cualquier obstrucción alrededor.
5. Con el botón de encendido presionado * power * libere el martillo positivamente y anote el valor desplegado de la carátula de la unidad receptora.
6. Repita este procedimiento hasta que obtenga veinte lecturas (cuatro grupos de cinco).





El número de caída (golpe) se marca para cada lectura con el botón de encendido (power on) presionado, soltar el botón de encendido (power on) regresara la lectura de la carátula a cero.

De las veinte lecturas obtenidas ignore el valor del impacto más elevado y el más bajo, compare los diez y ocho valores sobrantes con el valor marcado en el anillo de hule en un rango de ± 3 . A este respecto la distribución de los diez y ocho se comparan de igual manera contra el valor del anillo.

Si este no fuera el caso entonces el compactometro puede que necesite ser inspeccionado por mal funcionamiento del sensor, circuitos procesamiento o conexiones del cable de señal.

La excepción de esta situación puede ser que la repetición de los valores de impacto difiere al valor del anillo de prueba. Esto también puede ser confirmado comparando los valores obtenidos con otro compactometro midiendo la misma superficie.

En este caso el valor de impacto confirmado puede ser sustituido para el valor del anillo y entonces el anillo de prueba marcarse con el nuevo valor de impacto.

De cualquier manera, el valor original del anillo deberá ser conservado y usado cuando se ejecuten pruebas funcionales en otros lugares, independientemente del lugar en cuestión.

Las pruebas funcionales ejecutadas en sitio (carreteras, etc.) Fuera de cualquier localización específica, siempre deben ser ejecutadas a la mitad del ancho de la carretera en la carpeta, o sobre la superficie de la carretera de la carretera en la carpeta o cuando menos a 500mm. Alejado de cualquier orilla o junta.

3.3.3 Uso del compactometro

El valor del impacto para una superficie se determina grabando cinco valores de impacto consecutivos (a-b-c-d-e) con el botón de encendido presionado (power on) en la unidad receptora durante todo el periodo de prueba. Soltar el botón de encendido en cualquier momento limpiara la carátula a cero provocando que la prueba sea repetida. La carátula en la unidad receptora mostrara tres dígitos los dos primeros representan el valor del impacto y el tercer dígito representa el número de caída (golpe) correspondiente, durante la prueba las caídas (golpes) del martillo compactan la parte superior de la superficie y proporcionan bajos valores de impacto, las caídas (golpes) posteriores compactaran firmemente el suelo y producirán un incremento en los valores de impacto con una pequeña diferencia (si hay) entre los valores. El valor real del impacto (d) se usa para determinar la condición final del suelo.





El procedimiento de prueba se describe como sigue:

1. Prepare el área de prueba limpiando cualquier tierra suelta, piedras, etc. Y vea que el nivel del área este relativamente plano para soportar la carcasa de guía, tenga cuidado de cualquier superficie que pueda tener grandes piedras o rocas aisladas.
2. Coloque la carcasa de guía sobre la superficie del área de prueba asegurándose de que la base se posesiona firme y verticalmente.
3. Quite la unidad receptora de la carcasa guía y quite el pin de seguridad del martillo de compactación.
4. Sostenga la base de la carcasa guía con un pie y levante el martillo de compactación hasta que se alinie con la parte superior de la carcasa (esta posición permite que el martillo caiga aproximadamente 450mm sobre la superficie).
5. Sujete el receptor firmemente, presione el botón de encendido (power on) en el panel de recepción y vea que la carátula marque 00-0 cuando sujete el receptor asegúrese de que el cable de señal no esta atrapado y que esta libre de cualquier obstrucción alrededor.
6. Con el botón de encendido (power on) presionado, suelte el martillo positivamente y vea el valor mostrado en la carátula de la unidad receptora.
7. Repita el procedimiento anterior hasta que obtenga cinco valores (a-b-c-d-e) el número de caída (golpe) se muestra para cada valor de impacto con el botón de encendido (power on) presionado. Soltar el botón de encendido regresara la carátula a cero .
8. No suelte el botón de encendido (power on) hasta que la carátula muestre el resultado de la prueba, este será el valor de la caída número cuatro (valor real de impacto) o el símbolo - ee - que indica que la caída número cuatro estuvo fuera de los límites de prueba.
9. Baje el martillo dentro de la carcasa guía, y vuelva a colocar el pin de seguridad.
10. Regrese el receptor a su localización en la carcasa guía asegurándose de que el cable de señal no quede atrapado, torcido ó jalado.





Precaución:

Bajo ninguna circunstancia levante el martillo de compactación de la carcasa guía jalando del cable de señal. Tal acción puede causar un daño permanentemente al cable o sus conectores a la manija del martillo o la unidad receptora siempre proteja el cable durante la prueba y cuando se mueva a otra área de prueba.

3.3.4 resultados de la prueba

El procesador de monitoreo de circuito compara cada uno de los cinco valores de impacto con respecto a las condiciones de prueba, y automáticamente muestra en la carátula el resultado final de la prueba, como se describe en el siguiente ejemplo:

# caída (golpe)	valor del impacto	valor real del impacto
1 -----	8	(a)
2 -----	9	(b)
3 -----	10	(c)
4 -----	11	(d)
5 -----	12	(e)

Los valores de impacto de las caídas (golpes) 2, 3, 4 y 5 y nunca debe ser mayores que el valor de la caída anterior por un rango de 2.

La caída (golpe) final número cinco no debe ser mayor que la caída (golpe) número cuatro por un rango de dos, en este ejemplo no debe ser mayor de 13.

Los valores de impacto que excedan los límites que requiera el procedimiento de prueba, mostraran en la carátula una lectura – ee – (fuera de limites).

Valores de impacto excesivamente altos debido a la presencia de rocas o piedras presentes en la superficie que se esta probando en el dejar caer el martillo sobre una superficie muy dura producirá en la carátula lectura de help (auxilio). En ambos casos debe elegirse otra zona de prueba para que se pueda llevar acabo la misma así como inspeccionar a fin de que no se vaya a dañar inadvertidamente el sensor de impacto del martillo.





Si cualquiera de las etapas de los valores de impacto no cumplen con estos requerimientos de prueba, la prueba debe ser suspendida y seleccionarse otra área cuando menos a 300mm de distancia de área de prueba fallida.

3.3.5 prueba de campo

A fin de proporcionar una indicación completa de la compactación de una superficie típica ya acondicionada, es recomendarle programar un número de pruebas en diferentes puntos sobre el área ya acondicionada. Dentro de un metro cuadrado de superficie cuando menos deben tomarse tres lecturas una en el centro y dos en las esquinas opuestas de ese metro cuadrado, las dos esquinas opuestas que sobren se deberán checar si es que las lecturas fueran inconsistentes.

3.3.6 Valores de impacto

En la tabla número uno se da una lista de valores de impacto para diferentes niveles de acondicionamiento de un área de servicio, de los valores esperados representan un compromiso entre la densidad y el grado de la dureza de la compactación y puede ser aproximado al valor más bajo aceptable para la cuarta caída (golpe) producida en promedio bajo las condiciones del lugar.

Los valores de impacto se muestran como rangos típicos y como los más altos deseables son aproximados y únicamente como guía para comparar valores.

Los valores esperados no son una indicación de una compactación del suelo satisfactoria ya que son los valores más bajos permisibles, la compactación debe continuarse para cada nivel hasta que los valores de impacto alcancen la especificación requerida.





Nivel	Valor real del impacto		
	Valor Esperado	Rango Típico	El mas alto Deseable
Cama	7	7- 8	30
Relleno fino	10	10 -17	30
Relleno de soporte	18	*17 - #27	30
Sub-base	22	24 - 27	30
Base de rodado	30	32 - 34	30

* valor mínimo para materiales re-usados

valor mínimo para materiales importados

4.3.1 Correlación con los valores cbr

Las pruebas efectuadas usando en procedimiento fuera de línea del punto número cuatro puede ser usado como una alternativa practica para pruebas cbr. El procedimiento es igualmente aplicable tanto para el campo como para el laboratorio. El valor real del impacto (riv) puede ser convertido a una equivalente en % del cbr usando la siguiente relación:

$$\text{Cbr \%} = 0.07(\text{riv})^2 \quad \text{ejemplo: riv}=30$$

$$\text{Cbr \%} = 0.07(30)^2$$

$$\text{Cbr \%} = 63 \text{ (aproximadamente)}$$





3.3.8 Cuidado del compactometro

El compactometro es de construcción robusta y necesita muy pocos cuidados tales como mantener separados su componentes en condición limpia para prevenir la contaminación y corrosión de las condiciones del suelo del lugar.

Los componentes más vulnerables o susceptibles de dañarse si se usan o almacenan incorrectamente son el sensor de impacto (localizado en el martillo) la unidad receptora y el cable de señal, estos componentes deben ser protegidos de condiciones excesivamente húmedas o sucias las cuales pueden corromper el receptáculo de las baterías y la tabla de circuitos, los conectores, del cable bnc en el martillo y el receptor no son a prueba de agua y debe ser protegidos cuando se usen en condiciones húmedas.

El sensor de impacto esta sellado en la parte alta del martillo y no le afectan las condiciones de humedad o suciedad. Como se mencionó anteriormente el martillo nunca debe dejarse sobre superficies duras sin el anillo de prueba puesto en su lugar porque se dañaría en sensor de impacto, también es importante no dejar caer la unidad receptora sobre cualquier superficie dura o colocar la unidad cerca de imanes o plantas de alto voltaje ya que pueden dañar los componentes electrónicos de la tabla de circuitos.

Cuando no se este usando el compactometro debe guardarse en un lugar seco y frío y protegido, es recomendable desconectar el cable del receptor y del martillo para prevenir cualquier daño accidental a las conexiones durante el almacenamiento.

Las baterías deben cambiarse siempre que el indicador de batería baja aparezca en pantalla., refiérase a la sección correspondiente para el cambio de batería de la unidad receptora nunca deje baterías descargadas en la unidad receptora ya que no pueden gotear y causar daños en los componentes de la tabla de circuitos.





3.3.9 Detalles de especificaciones

Rango de valor de impacto	0 a 50
Medidor de entrada:	sensor de impacto (sellado en el artillo de compactación)
Medidor de salida:	receptor con un circuito procesador direccionado y una lcd de tres dígitos.
Receptor de potencia:	dos baterías alcalinas de 9v pp3, botón de encendido receptor de membrana en el panel frontal.
Dimensiones en m.m.	Ancho x alto
Carcasa guía con martillo	150 diámetro (enfundado) x 730De compactación
Unidad receptora	90 x 250
Peso en Kg.	6.5 (incluyendo el receptor)





CAPITULO 4

OBTENCIÓN DE RESULTADOS

En este capitulo se presentan los resultados del grado de compactación obtenido por el método tradicional y los valores de impacto con el martillo clegg, de la capa de base de los siguientes caminos:

-  camino de acceso a joyas de la huerta
-  camino san Nicolás obispo – Cuanajillo
-  camino a las flores
-  camino a santa Rosalía

A esta capa se le determinaron sus calidades basándose en la norma sct, los requisitos de calidad deben ser los que a continuación se presentan:





4.1 Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezclas asfálticas de granulometría densa

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\square L \leq 10^{6(1)}$	$\square L > 10^{6(1)}$
37,5	1 $\frac{1}{2}$ "	100	100
25	1"	70-100	70-100
19	3/4"	60-100	60-86
9,5	3/8"	40-100	40-65
4,75	No.4	30-80	30-50
2	No.10	21-60	21-36
0,85	No.20	13-44	13-25
0,425	No.40	8-31	8-17
0,25	No.60	5-23	5-12
0,15	No.100	3-17	3-9
0,075	No.200	0-10	0-5



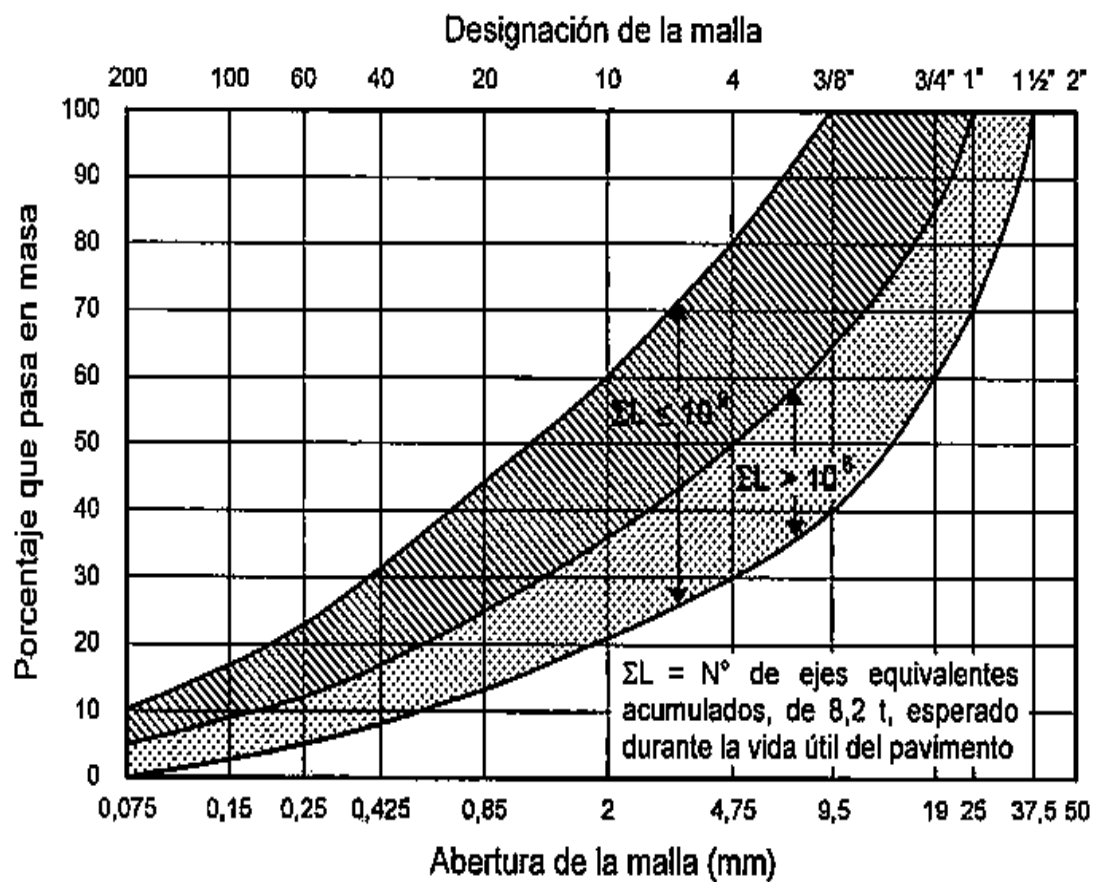


FIGURA 25 Zonas granulométricas recomendables de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica de granulometría densa

[1] ΣL = número de ejes equivalentes de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.





TABLA 4.- Requisitos de calidad de los materiales para bases de pavimentos asfálticos

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	25	25
Índice plástico ^[2] , máximo	6	6
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	40	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[2, 3] , mínimo	80	100
Desgaste Los Ángeles ^[2] , máximo	35	30
Partículas alargadas y lajeadas ^[2] , máximo	40	35
Grado de compactación ^[2, 4] , mínimo	100	100

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Determinado mediante el procedimientos de prueba que corresponda, de los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Con el grado de compactación indicado en esta Tabla.

[4] Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Modificada, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.





4.2 RESULTADOS DE LA CALIDAD DE LA BASE.

LOS RESULTADOS DE CALIDAD SON LOS SIGUIENTES:





✓ CAMINO DE ACCESO A JOYAS DE LA HUERTA

INFORME DE CALIDAD DE MATERIALES PETREOS PARA BASE										
MATERIAL		BASE			CADENAMIENTO :		0+000 AL 1+000			
MUESTRA No.		1	ENSAYE No.		1	LUGAR:		JOYAS DE LA HUERTA MPIO. MORELIA		
OBRA:		CAMINO DE ACCESO A JOYAS DE LA HUERTA				FECHA DE RECIBO:		28-Nov-05		
						FECHA DE INFORME:		12-Dic-05		
CURVA GRANULOMÉTRICA % QUE PASA MALLA No.								Granulometría		
								Malla No	% Que pasa	
								1 1/2"	94.9	
								1"	89.0	
								3/4"	81.7	
								3/8"	58.9	
								4	35.5	
								10	24.2	
								20	19.4	
								40	16.0	
60	14.5									
100	13.3									
200	11.4									
								Límites de Consistencia		
								L. Liquidó	29.7 %	
								L. Plastico	25.6 %	
								I. Plastico	4.1 %	
								C. Lineal		4.0 %
Pruebas en mat. mayor 3/8"				Pesos Volumétricos			Valor Relativo de Soporte			
Absorción				Peso Vol. Suelto	1178	Kg/m ³	V. R. S. (Estándar)		96.0 %	
Densidad				Peso Vol. Máximo.	1709	Kg/m ³	Expansión		0.37 %	
Desgaste de los Ángeles		24%	Humedad Optima.		11.7 %	Equivalente de arena				
Desperdicio de la muestra		5.10				75%				
Clasificación SUCS		GP-GM		MEZCLA DE GRAVA Y ARENA MAL GRADUADA CON FINOS						
OBSERVACIONES:										
1.- El material analizado presenta características aceptables para ser utilizado en la formación de la capa de base, de acuerdo a las normas establecidas por la SCT. Con excepcion del limite liquido que es superior.										





✓ CAMINO A SAN NICOLAS OBISPO - CUANAJILLO

INFORME DE CALIDAD DE MATERIALES PETREOS PARA BASE																															
MATERIAL	BASE		CADENAMIENTO :	0+000 AL 1+000																											
MUESTRA No.	1	ENSAYE No.	1	LUGAR:	CUANAJILLO MPIO. MORELIA																										
OBRA:	CAMINO SAN NICOLAS OBISPO - CUANAJILLO		FECHA DE RECIBO:	13-Ene-06																											
			FECHA DE INFORME:	20-Ene-06																											
CURVA GRANULOMÉTRICA <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Granulometría</th> </tr> <tr> <th>Malla No</th> <th>% Que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 1/2"</td><td>97.3</td></tr> <tr><td>1"</td><td>87.9</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>81.0</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>66.2</td></tr> <tr><td>4</td><td>46.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>26.7</td></tr> <tr><td>20</td><td>17.2</td></tr> <tr><td>40</td><td>11.2</td></tr> <tr><td>60</td><td>7.1</td></tr> <tr><td>100</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>200</td><td>3.2</td></tr> </tbody> </table>						Granulometría		Malla No	% Que pasa	1 1/2"	97.3	1"	87.9	3/4"	81.0	3/8"	66.2	4	46.0	10	26.7	20	17.2	40	11.2	60	7.1	100	5.0	200	3.2
Granulometría																															
Malla No	% Que pasa																														
1 1/2"	97.3																														
1"	87.9																														
3/4"	81.0																														
3/8"	66.2																														
4	46.0																														
10	26.7																														
20	17.2																														
40	11.2																														
60	7.1																														
100	5.0																														
200	3.2																														
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Límites de Consistencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L. Líquido</td><td>29.1 %</td></tr> <tr><td>L. Plástico</td><td>26.0 %</td></tr> <tr><td>I. Plástico</td><td>3.1 %</td></tr> <tr><td>C. Lineal</td><td>2.2 %</td></tr> </tbody> </table>						Límites de Consistencia		L. Líquido	29.1 %	L. Plástico	26.0 %	I. Plástico	3.1 %	C. Lineal	2.2 %																
Límites de Consistencia																															
L. Líquido	29.1 %																														
L. Plástico	26.0 %																														
I. Plástico	3.1 %																														
C. Lineal	2.2 %																														
Pruebas en mat. mayor 3/8"		Pesos Volumétricos		Valor Relativo de Soporte																											
Absorción		Peso Vol. Suelto	1280 Kg/m ³	V. R. S. (Estándar)	103.0 %																										
Densidad		Peso Vol. Máximo.	1690 Kg/m ³	Expansión	0.08 %																										
Desgaste de los Ángeles	20%	Humedad Optima.	11.7 %	Equivalente de arena																											
Desperdicio de la muestra	2.70			78%																											
Clasificación SUCS	GP	MEZCLA DE GRAVA Y ARENA MAL GRADUADA CON FINOS																													
OBSERVACIONES:																															
1.- El material analizado presenta características aceptables para ser utilizado en la formación de la capa de base, de acuerdo a las normas establecidas por la SCT. Con excepción del límite líquido que es superior.																															
P.I. MANUEL CALDERON GUZMAN																															





✓ CAMINO A LAS FLORES

INFORME DE CALIDAD DE MATERIALES PETREOS PARA BASE					
MATERIAL	BASE		CADENAMIENTO:	0+000 AL 0+700	
MUESTRA No.	1	ENSAYE No.	1	LUGAR:	LAS FLORES MPIO. DE MORELIA
OBRA:	CAMINO DE ACCESO A LAS FLORES			FECHA DE RECIBO:	14-Feb-06
				FECHA DE INFORME:	20-Feb-06
CURVA GRANULOMÉTRICA				Granulometría	
				Malla No	% Que pasa
				1 1/2"	94.0
				1"	86.0
				3/4"	79.0
3/8"	61.0				
4	39.0				
10	24.0				
20	17.0				
40	13.0				
60	10.5				
100	7.5				
200	4.5				
				Límites de Consistencia	
				L. Líquido	28.7 %
				L. Plástico	25.3 %
				I. Plástico	3.4 %
				C. Lineal	3.2 %
Pruebas en mat. mayor 3/8"		Pesos Volumétricos		Valor Relativo de Soporte	
Absorción		Peso Vol. Suelto	1190 Kg/m ³	V. R. S. (Estándar)	98.0 %
Densidad		Peso Vol. Máximo.	1720 Kg/m ³	Expansión	0.45 %
Desgaste de los Ángeles	25%	Humedad Optima.	11.5 %	Equivalente de arena	
Desperdicio de la muestra	6.00			72%	
Clasificación SUCS	GP	MEZCLA DE GRAVA Y ARENA MAL GRADUADA CON FINOS			
OBSERVACIONES:					
1.- El material analizado presenta características aceptables para ser utilizado en la formación de la capa de base, de acuerdo a las normas establecidas por la SCT. Con excepción del límite líquido que es superior.					
P.I. MANUEL CALDERON GUZMAN					





✓ CAMINO A SANTA ROSALIA

INFORME DE CALIDAD DE MATERIALES PETREOS PARA BASE						
MATERIAL	BASE		CADENAMIENTO:	0+000 AL 1+000		
MUESTRANo.	1	ENSAYE No.	1	LUGAR:	SANTAROSALIA MPIO. DE MORELIA	
OBRA:	CAMINO DE ACCESO A SANTA ROSALIA			FECHA DE RECIBO:	02-Ene-06	
				FECHA DE INFORME:	12-Ene-06	
CURVA GRANULOMÉTRICA					Granulometría	
					Malla No	% Que pasa
					1 1/2"	96.0
					1"	87.0
					3/4"	81.7
					3/8"	62.0
					4	42.1
					10	29.7
					20	18.1
					40	14.2
					60	9.8
					100	7.4
					200	4.5
					Límites de Consistencia	
					L Líquido	27.9 %
					L Plástico	25.0 %
					I. Plástico	2.9 %
					C. Lineal	2.9 %
Pruebas en mat. mayor 3/8"		Pesos Volumétricos		Valor Relativo de Soporte		
Absorción		Peso Vol. Suelto	1189 Kg/m³	V. R. S. (Estándar)	106.0 %	
Densidad		Peso Vol. Máximo.	1638 Kg/m³	Expansión	0.09 %	
Desgaste de los Ángeles	23%	Humedad Optima.	11.4 %	Equivalente de arena		
Desperdicio de la muestra	4.00			74%		
Clasificación SUCS	GP	MEZCLA DE GRAVA Y ARENA MAL GRADUADA CON FINOS				
OBSERVACIONES:						
1.- El material analizado presenta características aceptables para ser utilizado en la formación de la capa de base, de acuerdo a las normas establecidas por la SCT. Con excepción del límite líquido que es superior.						
P.I. MANUEL CALDERON GUZMAN						





4.3 Resultados de la compactación por el método tradicional.

Se realizaron las calas o sondeos por el método tradicional para determinar el grado de compactación de la base y los resultados fueron los siguientes:

✓ CAMINO DE ACCESO A JOYAS DE LA HUERTA

Obra: pavimentación del camino de acceso a joyas de la huerta
Lugar: comunidad de joyas de la huerta, mpio. Morelia, michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 9 de diciembre del 2005

SONDEO Nb.	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO COMPACTACIÓN	
	AREA	CADEN Km	LADO	CAMPO PROYECTO		MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	CAMPO	PROYECTO
				(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)		(%)		(%)	(%)
1	CAMINO DE ACCESO	0+200	Der	17	20.0	1700	1528	11.7	9.8	90	100
2		0+400	Izq	18			1526		8.5	90	
3		0+600	Gen	21			1514		11.4	89	
4		0+800	Der	18			1555		8.6	92	
5		0+980	Gen	19			1495		11.5	88	

Observaciones:

El grado de compactación de la capa de base es inferior al especificado en el proyecto que es del 100% de su pvsm





Obra: pavimentación del camino de acceso a joyas de la huerta
Lugar: comunidad de joyas de la huerta, mpio. Morelia, Michoacán

Capa revisada: base

Fecha: 9 de diciembre del 2005

SONDEO No.	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO COMPACTACION	
	AREA	CADEN. Km	LADO	CAMPO PROYECTO		MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	CAMPO	PROYECTO
				(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)		(%)		(%)	
6	CAMINO DE ACCESO	0+020	Der	20	20	1700	1701	11.7	12.8	100	100
7		0+070	Cen	20			1695		13.0	100	
8		0+120	Izq	22			1668		13.7	98	
9		0+170	Cen	20			1693		13.4	100	
10		0+200	Der	17			1661		9.3	98	
11		0+300	Izq	18			1692		10.1	100	
12		0+400	Cen	21			1681		10.8	99	
13		0+520	Der	18			1685		9.5	99	
14		0+600	Cen	19			1693		10.1	100	
15		0+720	Izq	18			1690		10.5	99	
16		0+820	Cen	21			1695		10.3	100	
17		0+920	Der	19			1694		10.5	99	
18		0+990	Izq	18			1696		11.1	99	

Observaciones.

- Después de que el equipo incremento la energía de compactación se volvió verificar la capa de base con los sondeos 6 a 18





2. El grado de compactación de la capa de base si cumple con lo indicado en el proyecto que es del 100% de su pvsm

✓ CAMINO SAN NICOLAS OBISPO – CUANAJILLO

Obra: pavimentación del camino de acceso a san Nicolás obispo – Cuanajillo.

Lugar: comunidad de Cuanajillo, Mpio. Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 25 de enero del 2006

SONDEO No.	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO COMPACTACION.	
	AREA	CADEN. Km	LADO	CAMPO PROYECTO		MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	CAMPO	PROYECTO
				(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)		(%)			
1	CAMINO DE ACCESO	0+450	Der	15	20.0	1690	1578	10.9	9.5	94	100
2		0+560	Izq	18			1601		11.7	95	
3		0+830	Der	20			1605		10.7	95	
4		0+900	Cen	20			1618		11.5	96	

Observaciones:

1. El grado de compactación de la capa de base es inferior al especificado en el proyecto que es del 100% de su pvsm





Obra: pavimentación del camino de acceso a san Nicolás obispo – Cuanajillo.
Lugar: comunidad de Cuanajillo, Mpio. Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 31 de enero del 2006

SONDEO	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO	
No.	AREA	CADEN.	LADO	CAMPO	PROYECTO	MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	COMPACTACION.	
										CAMPO	PROYECTO
		Km		(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)		(%)		(%)	
5		0+040	Cen	19	20	1690	1688	10.9	11.3	100	100
6		0+140	Izq	21			1679		10.9	99	
7		0+240	Der	21			1661		10.9	98	
8		0+360	Izq	23			1662		11.6	98	
9		0+450	Cen	20			1681		11.5	99	
10	CAMINODE ACCESO	0+560	Der	20			1683		9.9	99	
11		0+650	Cen	20			1687		10.7	100	
12		0+720	Der	21			1675		10.9	99	
13		0+800	Izq	20			1672		9.8	99	
14		0+830	Der	18			1689		10.0	100	
15		0+920	Der	18			1679		10.1	99	
16		0+970	Cen	20		1633		12.2	98		

Observaciones.

1. Después de que el equipo incremento la energía de compactación se volvió verificar la capa de base con los sondeos 5 a 16
2. El grado de compactación de la capa de base si cumple con lo indicado en el proyecto que es del 100% de su pvsu.





✓ CAMINO A LAS FLORES

Obra: pavimentación del camino de acceso a las flores.

Lugar: comunidad de las Flores, Mpio. Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 15 de febrero del 2006

SONDEO	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO	
No	AREA	CADEN.	LADO	CAMPO	PROYECTO	MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	COMPACTACION.	
										CAMPO	PROYECTO
		Km		(Cm)	(Cm)	(Kg/M³)		(%)		(%)	
1	CAMINO DE ACCESO	0+050	Der	15		1740	1523	121	10.5	88	100
2		0+180	Izq	16			1573		9.3	90	
3		0+250	Der	16	15.0		1524		8.1	88	
4		0+350	Izq	15			1556		9.3	89	

Observaciones:

1.- el grado de compactación de la capa de base es inferior al especificado en el proyecto que es del 100% de su pvsm





Obra: pavimentación del camino de acceso a las flores.
Lugar: comunidad de las Flores, Mpio. Morelia, Michoacán

Capa revisada: base

Fecha: 23 de febrero del 2006

SONDEO Nb.	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO COMPACTACION	
	AREA	CADEN. Km	LADO	CAMPO PROYECTO		MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	CAMPO	PROYECTO
				(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)		(%)		(%)	
5	CAMINO DE ACCESO	0+050	Izq	15	15	1740	1735	12.1	10.5	100	100
6		0+100	Cen	16			1725		11.0	99	
7		0+180	Der	15			1710		11.3	98	
8		0+260	Cen	16			1708		10.7	98	
9		0+350	Izq	15			1730		10.9	100	
10		0+400	Der	16			1727		11.4	99	

Observaciones.

1. Después de que el equipo incremento la energía de compactación se volvió verificar la capa de base con los sondeos 5 a 10
2. El grado de compactación de la capa de base si cumple con lo indicado en el proyecto que es del 100% de su pvsm





✓ CAMINO A SANTA ROSALÍA

Obra: pavimentación del camino de acceso a santa Rosalía.

Lugar: comunidad de santa Rosalía, ,Mpio. Morelia, Michoacán

Capa revisada: base

Fecha: 11 de enero del 2006

SONDEO Nb.	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO COMPACTACION	
	AREA	CADEN. Km	LADO	CAMPO PROYECTO		MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	CAMPO	PROYECTO
				(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)			(%)		
										(%)	
1	CAMINO DE ACCESO	0+200	Izq	20			1550		11.9	95	
2		0+400	Der	21			1541		13.1	94	
3		0+600	Cen	20	20.0	1638	1530	12.4	12.7	93	100
4		0+800	Izq	21			1543		13.7	94	
5		0+980	Der	20			1528		12.0	93	

Observaciones:

1. El grado de compactación de la capa de base es inferior al especificado en el proyecto que es del 100% de su pvs





Obra: pavimentación del camino de acceso a santa Rosalía.
Lugar: comunidad de santa Rosalía, Mpio. Morelia, Michoacán

Capa revisada: base

Fecha: 16 de enero del 2006

SONDEO Nb.	UBICACIÓN			PROFUNDIDAD		PESO VOLUMÉTRICO		HUMEDAD		GRADO COMPACTACIÓN	
	AREA	CADEN Km	LADO	CAMPO PROYECTO		MÁXIMO	CAMPO	OPTIMA	CAMPO	CAMPO	PROYECTO
				(Cm)	(Cm)	(Kg/M ³)		(%)		(%)	
6	CAMINO DE ACCESO	0+020	Izq	19	20	1638	1620	12.4	11.5	99	100
7		0+120	Der	21			1609		12.6	98	
8		0+200	Cen	20			1631		12.5	100	
9		0+300	Izq	19			1615		13.0	99	
10		0+400	Der	21			1611		12.3	98	
11		0+500	Cen	21			1596		11.8	97	
12		0+620	Izq	18			1613		12.7	98	
13		0+760	Der	20			1621		11.9	99	
14		0+800	Cen	21			1633		12.7	100	
15		0+940	Izq	19			1616		12.5	99	

Observaciones.

1. Después de que el equipo incremento la energía de compactación se volvió verificar la capa de base con los sondeos 6 a 15
2. El grado de compactación de la capa de base si cumple con lo indicado en el proyecto que es del 100% de su pvsm





Figura no 26 comparativa del grado de compactación mediante el método Tradicional y el martillo de glegg





Figura no 27 comparativa del grado de compactación mediante el método tradicional y el martillo de glegg





Figura no 28 determinación del grado de compactación en la capa de base con el martillo glegg





4.4 Valores obtenidos con el martillo de impacto en la capa de base.

Se realizaron 3 determinaciones en la capa de base de cada uno de los caminos, obteniéndose los siguientes resultados:

✓ CAMINO DE ACCESO A JOYAS DE LA HUERTA

Obra: pavimentación del camino de acceso a joyas de la huerta

Lugar: comunidad de joyas de la huerta, Mpio. Morelia, Michoacán.

Cadenamiento 0 + 200

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	18	18	19	29	29	28
2	19	19	21	29	30	29
3	23	25	27	29	29	30
4	25	26	26	30	30	30
5	27	27	27	30	30	30





Cadenamiento 0 + 400

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	19	21	19	29	29	28
2	25	23	23	29	30	29
3	27	25	25	29	30	30
4	27	27	26	30	30	30
5	28	28	27	30	30	30

Cadenamiento 0+600

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	21	23	24	28	29	29
2	22	21	22	29	29	29
3	25	22	24	29	30	29
4	25	24	26	30	30	30
5	27	26	27	30	30	30





✓ CAMINO SAN NICOLAS OBISPO – CUANAJILLO

Obra: pavimentación del camino de acceso a san Nicolás obispo – Cuanajillo
Localización: comunidad de Cuanajillo, Mpio. Morelia, Michoacán.

Cadenamiento 0+450

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	26	27	26	29	29	28
2	27	28	27	29	29	29
3	28	29	28	29	29	30
4	29	29	29	30	30	30
5	29	30	29	30	30	30

Cadenamiento 0+560

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	27	28	27	29	29	29
2	28	29	28	29	30	30
3	29	29	29	29	29	29
4	29	30	29	30	30	30
5	30	30	29	30	30	30





Cadenamiento 0+830

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	27	27	28	28	29	29
2	28	28	29	29	30	29
3	29	29	29	29	29	30
4	29	29	29	30	30	30
5	29	29	29	30	30	30

✓ CAMINO LAS FLORES

Obra: pavimentación del camino de acceso a las flores.
Lugar: comunidad de las flores, Mpio. Morelia, Michoacán.

Cadenamiento 0+050

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	19	20	20	28	29	29
2	21	23	23	29	30	29
3	24	24	25	29	29	30





4	24	25	26	30	30	30
5	27	25	27	30	30	30

Cadenamiento 0+180

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	17	18	17	29	29	29
2	21	22	21	29	29	28
3	23	23	23	29	30	29
4	25	26	25	30	29	30
5	26	26	26	30	30	30

Cadenamiento 0+350

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	18	16	17	29	29	29
2	19	19	19	29	29	29
3	21	21	23	29	29	30
4	25	23	26	30	30	30
5	25	24	26	30	30	30





✓ CAMINO A SANTA ROSALÍA

Obra: pavimentación del camino de acceso a santa Rosalía
Lugar: comunidad de santa Rosalía, Mpio. Morelia, Michoacán.

Cadenamiento 0+200

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	26	26	26	29	29	29
2	27	27	27	29	29	29
3	28	27	29	30	29	30
4	29	28	29	30	30	30
5	29	28	29	30	30	30

Cadenamiento 0+400

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	26	26	25	28	29	28
2	27	27	27	28	29	29





3	27	28	29	29	29	29
4	28	29	29	30	30	30
5	28	29	29	30	30	30

Cadenamiento 0+800

NUMERO DE CAIDA (GOLPE)	VALOR DE IMPACTO					
	*			**		
1	25	26	27	29	29	28
2	27	27	28	29	29	29
3	28	28	29	29	30	29
4	29	29	29	30	30	30
5	29	29	29	30	30	30

* valores obtenidos en la capa de base con un grado de compactación inferior al 90%

** valores obtenidos en la capa de base con un grado de compactación del 100%





CAPITULO 5

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

5.1 Resultados obtenidos con grados de compactación inferiores al 100%, pero cercanos al 90 y 95% de su peso volumétrico seco máximo

Se determinaron los grados de compactación inferiores al 100%, cercanos al 90 y 95% de su peso volumétrico seco máximo y se realizaron disparos con el martillo de impacto, los resultados se presentan a continuación.

➤ CAMINO DE ACCESO A JOYAS DE LA HUERTA

Obra: pavimentación del camino de acceso a joyas de la huerta.
Localización: comunidad de Joyas de la Huerta, Mpio. Morelia, Michoacán.
Capa revisada: base

Fecha: 9 diciembre del 2005

SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION	LECTURAS DE VALOR DE
---------------	--------------	--------------------------	-------------------------





		(%)	IMPACTO (IV)		
1	0+200	90	25	26	26
2	0+400	90	27	27	26
3	0+600	89	25	24	26

➤ CAMINO DE ACCESO A SAN NICOLAS OBISPO - CUANAJILLO

Obra: pavimentación del camino a san Nicolás obispo - Cuanajillo
Localización: comunidad de Cuanajillo, Mpio. Morelia, Michoacán.
Capa revisada: base

Fecha: 25-enero del 2006

SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
1	0+450	94	29	29	29
2	0+560	95	29	29	29
3	0+830	95	29	29	29

➤ CAMINO DE ACCESO A LAS FLORES

Obra: pavimentación del camino a las Flores
Localización: comunidad de las flores, Mpio, Morelia, Michoacán.
Capa revisada: base

Fecha: 15 febrero del 2006





SONDEO No.	CADENAMINETO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
			24	25	26
1	0+050	88	24	25	26
2	0+180	90	25	26	25
4	0+350	89	25	23	26

➤ CAMINO DE ACCESO A SANTA ROSALIA

Obra: pavimentación del camino a santa Rosalía

Localización: comunidad de santa Rosalía, Mpio, Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 11 enero del 2006

SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
			29	28	29
1	0+200	95	29	28	29
2	0+400	94	28	29	29
4	0+800	94	29	29	29

5.1.1 Observaciones a los resultados obtenidos inferiores o cercanos al 95% del grado de compactación.

- ✚ En las tablas anteriores se presentaron valores obtenidos por el método tradicional que están comprendidos entre el 88% y 95% de su peso volumétrico seco máximo.





- + Para los grados de compactación cercanos al 90% de su p.v.s.m. Los valores de impacto obtenidos con el martillo están comprendidos entre 23 y 27. Siendo el promedio de estos valores 25.38.
- + Para los grados de compactación cercanos al 95% de su p.v.s.m. Los valores de impacto obtenidos con el martillo están comprendidos entre 28 y 29. Siendo el promedio de estos valores 28.94.
- + En estas tablas únicamente se presentan los valores de impacto número cuatro (4) por que es el que hay que tomar como válido, cuando se está verificando la compactación por este método.
- + Para los grados de compactación obtenidos del 90% de su p.v.s.m. Todos los valores de impacto, reflejan una lectura muy uniforme en su cuarto disparo, es decir, no tienen una diferencia en más de tres (3), comparando estos valores en la misma determinación.
- + Para los grados de compactación obtenidos del 95% de su p.v.s.m. Todos los valores de impacto, reflejan una lectura muy uniforme en su cuarto disparo, es decir, no tienen una diferencia en más de dos (2), comparando estos valores en la misma determinación o incluso en algunos casos son exactamente igual.
- + En la tabla de referencia de los valores de impacto deseables para la capa de base, nos marca que debe ser treinta (30), sin embargo, en ninguna de las determinaciones obtenemos este valor, lo cual indica que la capa no ha alcanzado lo deseable por este método, y se demuestra con los grados de compactación obtenidos por el método tradicional.





5.2. Resultados obtenidos con grados de compactación iguales o cercanos al 100% de su peso volumétrico seco máximo.

Se determinaron los grados de compactación iguales o cercanos al 100% de su peso volumétrico seco máximo y se realizaron disparos con el martillo de impacto y los resultados se presentan a continuación:

➤ CAMINO DE ACCESO A JOYAS DE LA HUERTA

Obra: pavimentación del camino de acceso a joyas de la huerta.

Localización: comunidad de Joyas de la Huerta, Mpio. Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 15 diciembre del 2005

SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
10	0+200	98	30	30	30
12	0+400	99	30	30	30
14	0+600	100	30	30	30

➤ CAMINO DE ACCESO A SAN NICOLAS OBISPO – CUANAJILLO

Obra: pavimentación del camino a san Nicolás obispo - Cuanajillo

Localización: comunidad de Cuanajillo, Mpio. Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 31-enero del 2006





SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
9	0+450	99	30	30	30
10	0+560	99	30	30	30
13	0+830	100	30	30	30

➤ CAMINO DE ACCESO A LAS FLORES

Obra: pavimentación del camino a las Flores

Localización: comunidad de las Flores, Mpio, Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 23 febrero del 2006

SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
5	0+050	100	30	30	30
7	0+180	98	30	29	30
9	0+350	100	30	30	30

➤ CAMINO DE ACCESO A SANTA ROSALIA

Obra: pavimentación del camino a santa Rosalía

Localización: comunidad de santa Rosalía, Mpio, Morelia, Michoacán.

Capa revisada: base

Fecha: 18 enero del 2006





SONDEO No.	CADENAMIENTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	LECTURAS DE VALOR DE IMPACTO (IV)		
8	0+200	100	30	30	30
10	0+400	98	30	30	30
14	0+800	100	30	30	30

5.2.1 Observaciones a los resultados obtenidos iguales o superiores al 100% del grado de compactación.

- En las tablas anteriores se presentan valores obtenidos por el método tradicional que están comprendidos entre el 98% y 100% de su peso volumétrico seco máximo.
- Para los grados de compactación cercanos al 100% de su p.v.s.m. Los valores de impacto obtenidos con el martillo están comprendidos entre 29 y 30. Siendo el promedio de estos valores 29.94.
- En estas tablas únicamente se presenta el valor de impacto numero cuatro (4), por que es el que hay tomar como valido cuando se esta verificando la compactación por este método.
- Todos los valores, reflejan una lectura muy uniforme en su cuarto disparo, es decir, no tiene una diferencia en más de 1, o incluso con excepción de una determinación todos los valores son exactamente iguales.





✚ En la tabla de referencias de los valores de impacto deseables para la capa de base, nos marca que debe ser de treinta (30), sin embargo, en este caso únicamente se tiene una determinación de 29. Lo que nos indica que estas capas si han alcanzado lo deseable por este método, y se demuestra con los grados de compactación obtenidos por el método tradicional.

5.3. A continuación se presentan los resultados en forma grafica y representan las determinaciones a diferentes grados de compactación, considerando desde el impacto no 1 al 5.



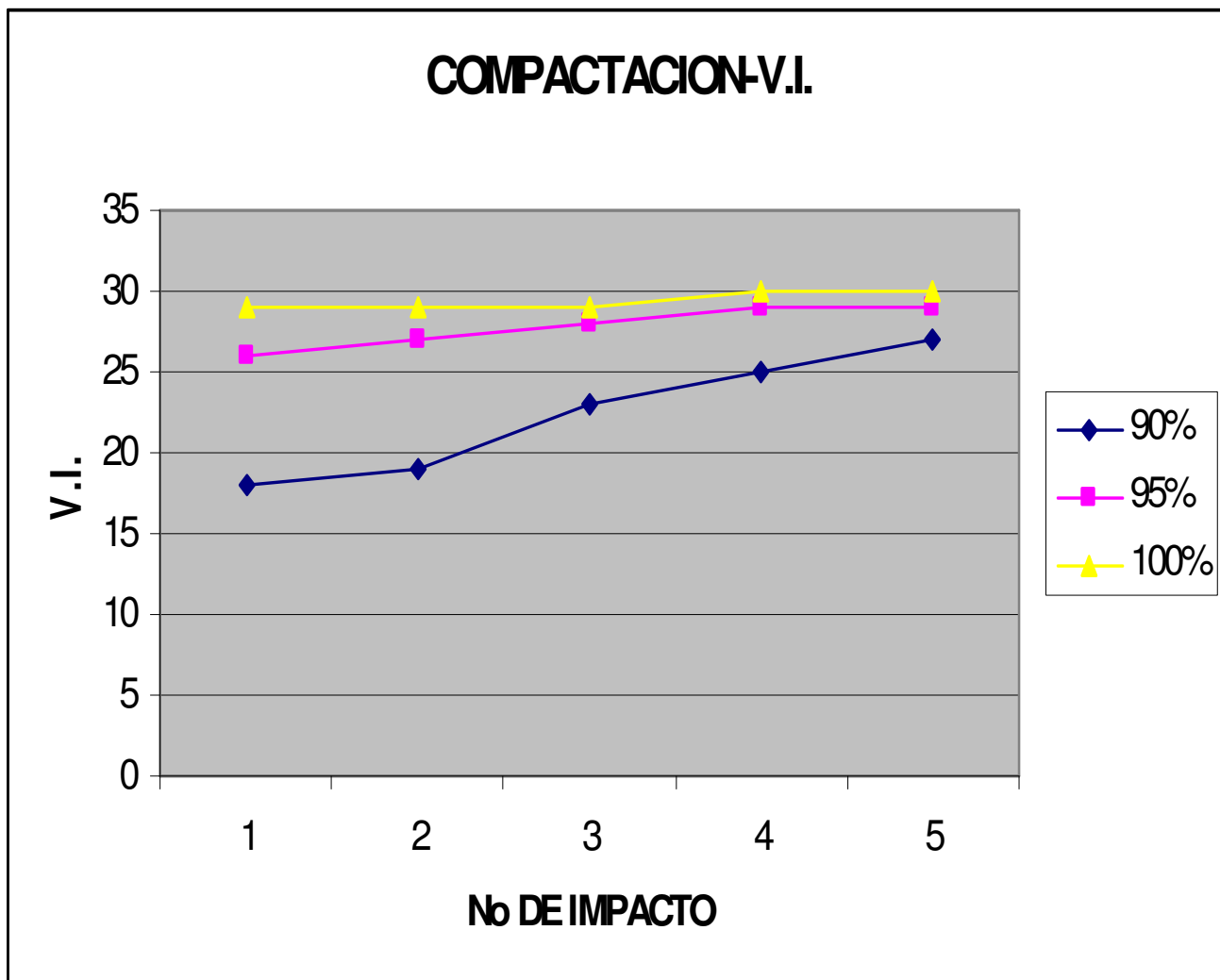


Figura no 29 donde se muestra los resultados del valor de impacto para diferentes grados de compactación.



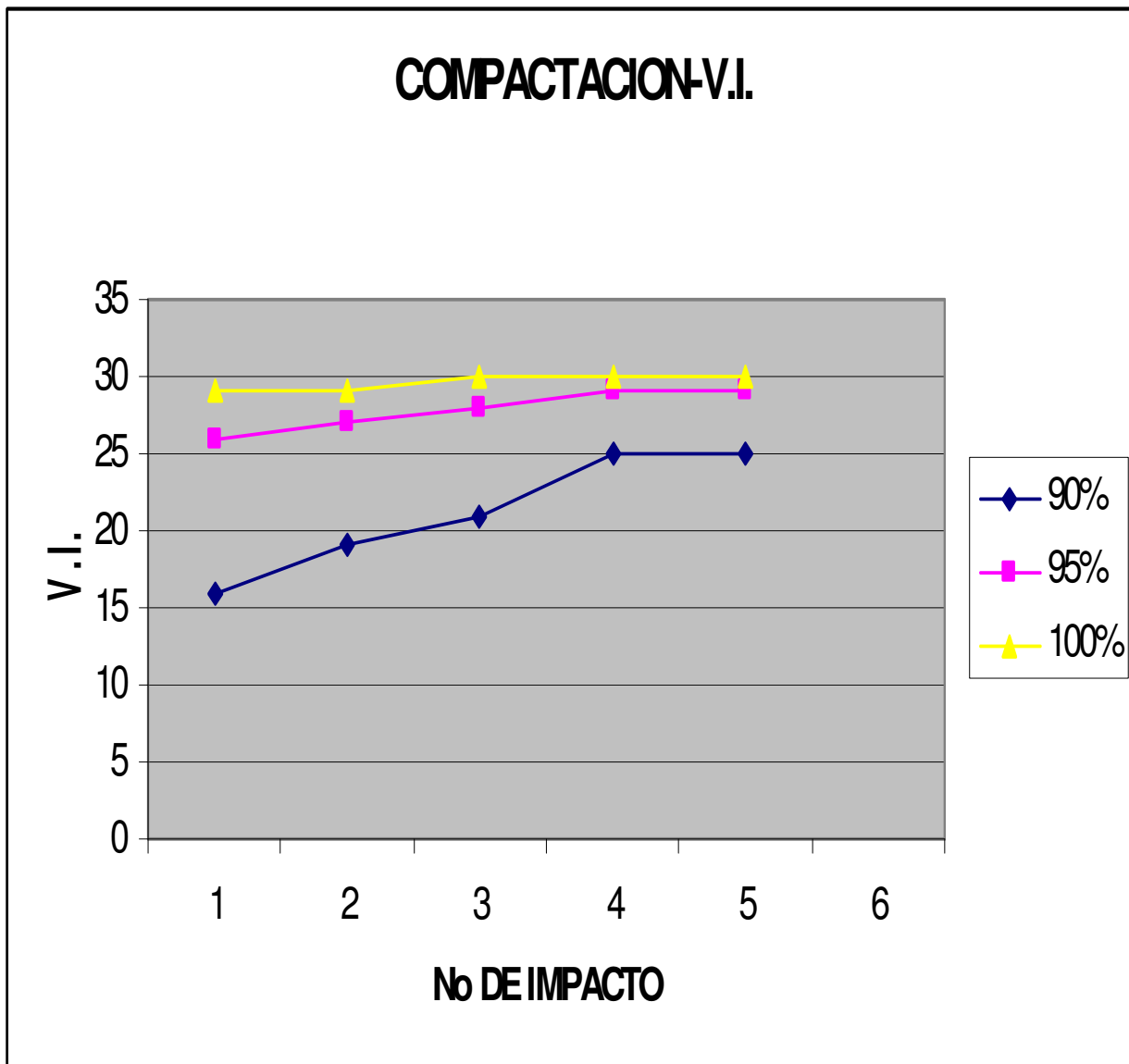


Figura no 30 donde se muestra los resultados del valor de impacto para diferentes grados de compactación.



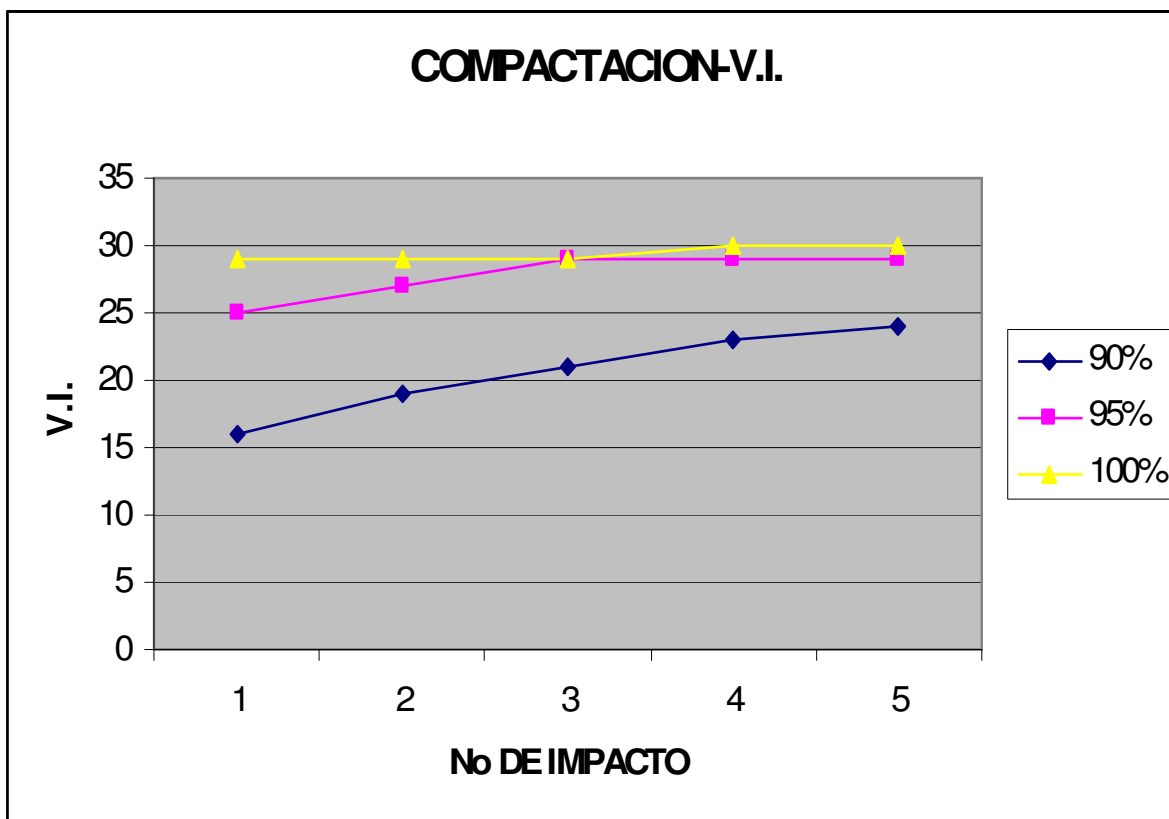


Figura no 31 donde se muestra los resultados del valor de impacto para diferentes grados de compactación.

En los gráficos anteriores se observa lo siguiente:

- + La línea del 90% presenta mayor diferencia entre el primero y ultimo disparo. Comenzando con una lectura de 16 y terminando con una lectura de 27.
- + La línea del 100% presenta la menor diferencia entre el primero y ultimo disparo. Comenzando con una lectura de 29 y terminando con una lectura de 30.
- + Aunque la línea del 95% no presenta mucha diferencia en sus puntos, ninguno alcanza lo deseable, es decir el punto 30. Comienza con un valor de lectura de 25 y termina con una lectura de 29.





En el siguiente grafico se presentan los todos los valores del impacto no 4 para los diferentes grados de compactación.

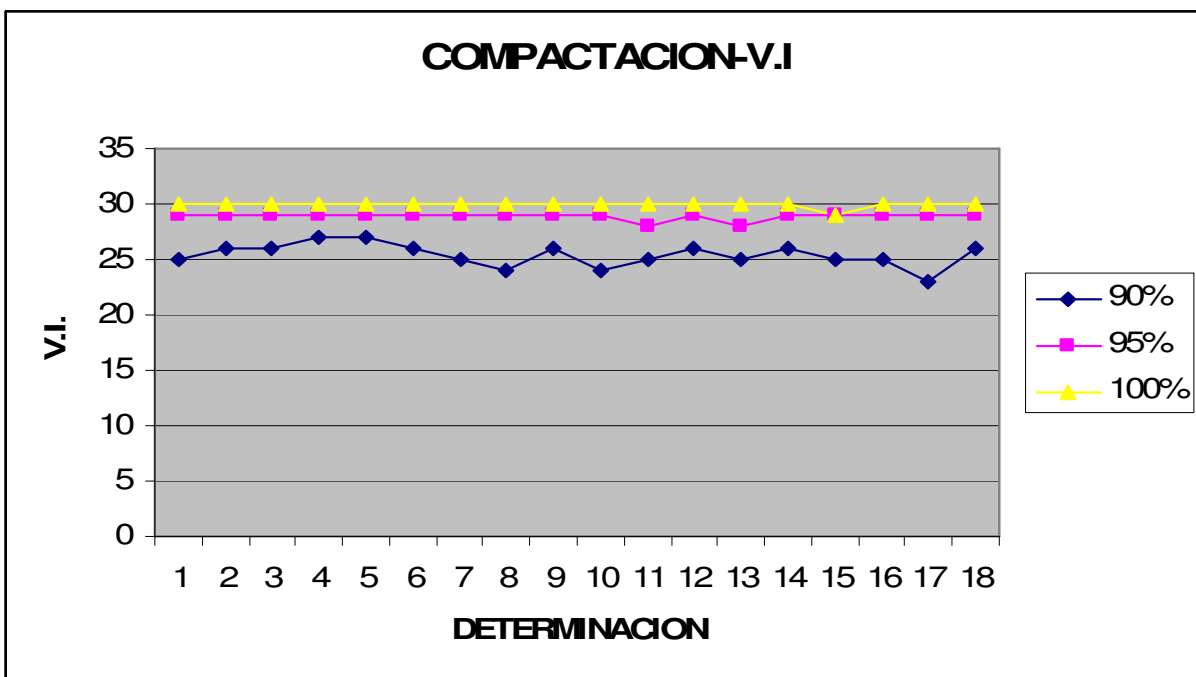


Figura no 32 donde se muestra los resultados del valor de impacto numero cuatro de todas las determinaciones realizadas para diferentes grados de compactación.

En el grafico anterior se observa lo siguiente:

- + La línea del 90% presenta valores muy inconsistentes de v.i. Que varían entre 23 y 27.
- + La línea del 95% presenta valores de v.i. Con mejor consistencia entre 28 y 29.
- + La línea del 100% presenta valores de v.i. De mejor consistencia, únicamente saliéndose un solo punto de 29 y todos los restantes presentan una uniformidad en su valor siendo este de 30.





CAPITULO 6

CONCLUSIONES.

En este capitulo se mencionaran las conclusiones del presente trabajo, pero primero pondré las ventajas y desventajas que se pueden encontrar en la utilización del martillo de impacto o martillo clegg.

6.1 Ventajas:

- + El martillo tiene una carcasa guía y un vástago metálico que proporcionan un fácil manejo.
- + Es ligero, presenta bajo peso tan solo 4.5 kg.
- + No es bromoso tan solo mide, la carcasa incluyendo el martillo 150 mm de diámetro y 730 mm de altura y su unidad receptora 90 x 250 mm.
- + Su transporte se puede hacer en cualquier vehiculo.
- + Su operación es sencilla se requiere de cursos o capacitaciones sencillas (10 hrs) para poder operarlo, cualquier técnico especializado que se dedique a las terrecerías puede hacer uso de su operación.
- + Su mantenimiento es simplemente limpieza y se puede guardar en un lugar donde no tenga humedad, únicamente para cuidar la unidad receptora, porque el martillo esta sellado en la parte alta y no le afectan las condiciones de humedad y polvo...
- + Su calibración se puede checar antes de cada uso, utilizando el anillo de prueba de calibración que viene incluido en el mismo aparato.
- + Las baterías con las que opera la unidad, son de uso comercial, utiliza dos baterías alcalinas de 9 volts pp3 (duracell mn 1604 6ir61 o equivalente).





- ✚ La carátula de cristal líquido, presenta los valores de impacto de forma digital, con lo que se disminuye considerablemente la posibilidad de un error al momento de tomar la lectura.
- ✚ No maneja ningún material radiactivo como el densímetro nuclear.
- ✚ No se requieren permisos especiales para su operación.
- ✚ No se requiere de ninguna herramienta adicional para su operación, tan solo limpiar la superficie donde se efectuara la prueba.
- ✚ El resultado de valor de impacto lo da en el momento, y no se necesita ningún cálculo para obtenerlo.
- ✚ La prueba se realiza en muy poco tiempo, tan solo 3 minutos aproximadamente desde la llegada al sitio de prueba hasta el termino de la misma.

6.2 Desventajas

- ✚ No son confiables las lecturas para capas mayores de 20 CMS.
- ✚ La unidad receptora debe de cuidarse cuando se use en climas con excesiva humedad.
- ✚ No se debe usar el martillo en superficies que contengan fragmentos de roca o piedras.
- ✚ No se debe usar en superficies sólidas ejemplo: concreto, asfalto etc., se daña la unidad receptora.
- ✚ No proporciona datos de humedad, estos deberán de ser calculados por separado si se requiere el dato.
- ✚ No se pueden obtener los espesores de la capa por este método.
- ✚ No proporciona valores analíticos de grados de compactación, solamente se obtienen lecturas de valor de impacto.





6.3 Conclusiones

1. El martillo de impacto clegg, presenta resultados muy uniformes y consistentes, en capas con grados de compactación cercanos al 95% y por supuesto mayores o del 100%.
2. Las lecturas que se obtienen en las capas que están bien compactas, cercanas o superiores al 95% y comparándolas con la tabla de valores de especificaciones requeridas dada por el fabricante, se determina que para capas bien compactas el martillo da valores de impacto confiables.
3. En las capas de base con grados de compactación iguales o menores al 90%, las lecturas consecutivas presentan diferencias en mas de dos puntos, lo que no es permitido por el método, mas sin embargo aunque la cuarta y quinta lectura no son tan bajas, estas se reflejan axial, porque el mismo aparato compacta la superficie de la capa y es por eso que se debe de desechar esta prueba.
4. Los valores de impacto que se obtuvieron y comparándolos con los grados de compactación que se determinaron por el método tradicional, indican que el martillo da resultados confiables de acuerdo con los valores esperados, indicados en la tabla de referencia.
5. El tiempo de ejecución de la prueba con el martillo de impacto se reduce considerablemente, por mencionar un promedio, el tiempo de prueba oscila entre 80 y 90% menos que con el método tradicional.
6. Para estar seguros de los valores que puede dar el martillo de impacto, se recomienda realizar uno o dos sondeos por el método tradicional y realizar disparos en la misma zona, para verificar el valor de impacto esperado de la capa en estudio.
7. Para obtener los resultados de humedad y espesores de las capas, es necesario apoyarse en los procedimientos habituales para determinar estos parámetros.

Por todo lo antes mencionado en este capitulo, podemos terminar el presente trabajo mencionando la conclusión final.





6.4 Conclusion final

El martillo de impacto, también conocido como compactometro o martillo de impacto clegg, proporciona buenos resultados en la verificación de la dureza o compactación de una base hidráulica, pero como únicamente refleja los valores de impacto, se puede utilizar como complemento del método tradicional y realizando pruebas alternadas en una misma capa, se obtendrán resultados confiables y en tiempos mucho más cortos, que utilizando únicamente el método tradicional.

Si se realiza esta alternativa complementaria entre los dos métodos, es posible reducir los tiempos de los trabajos de campo y el esfuerzo de los técnicos que ejecuten estas pruebas, por medio del método tradicional se podrá determinar los grados de compactación, los espesores y humedades de campo y con el martillo clegg, se podrá dar mayor avance en los tramos subsecuentes donde se obtengan valores de impacto iguales.





BIBLIOGRAFIA

- Normas sct n-cmt-4-02-002/04

Características de los materiales

Materiales para pavimento

- Vías de comunicación

Ing. Carlos creso villalaz

- Mecánica de suelos tomo 1
-

(Fundamentos de la mecánica de suelos)

Ing. Eulalio Juárez Badillo

Ing. Alfonso rico Rodríguez

- Estructuración de las vías terrestres
-

Fernando olivera Bustamante

- Método de prueba estándar para la determinación del valor relativo de soporte de impacto en un suelo (iv)

Astm designación d 5874-95

