



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE ING. CIVIL**

“Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Título del Proyecto:

**MANUAL DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y
PAVIMENTOS PARA EL LABORATORIO DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CHIMBORAZO.**

Autor: Xavier Francisco Armijo Lucio

Director de Tesis: Ing. Jorge Núñez V.

RIOBAMBA- ECUADOR

2010

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: "MANUAL DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS PARA EL LABORATORIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO".

Presentado por: Xavier Francisco Armijo Lucio.

Dirigido por: Ing. Jorge Núñez V.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la facultad de ingeniería.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Víctor Velásquez

Presidente

Firma

Ing. Jorge Núñez V.

Director de tesis

Firma

Ing. Alberto Jaramillo

Miembro

Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Xavier Francisco Armijo L. soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuestas expuestas en el presente trabajo de investigación, y los derechos de autoría pertenecen a la Universidad Nacional de Chimborazo

DEDICATORIA

La presente tesis está dirigida de manera especial a mi padre y a mi madre por su amor, paciencia, sacrificio y apoyo infinito.

A mi esposa y mi hija por formar una parte fundamental de mi vida y enseñarme la capacidad de amor que puedo tener. A mis hermanos por su compañía sincera.

Xavier Francisco Armijo.L

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial a la Universidad Nacional de Chimborazo por darme la oportunidad de educarme y superarme como un profesional.

De manera especial agradezco al Ministerio De Transporte Y Obras Publicas. Por abrirme las puertas de la institución y poder realizar mi investigación al Ing. Jorge Núñez Vivar Director encargado del MTOP-CHIMBORAZO, al personal de laboratorio de Suelos y Pavimentos, quienes fueron mis guías durante todo el proceso de investigación.

ÍNDICE GENERAL

Índice General.....	I
Índice de	
Tablas.....	IV
Índice de gráficos.....	V
Resumen.....	1
Summary.....	2
Introducción.....	3
CAPITULO I	
1.- MARCO REFERENCIAL.....	4
1.1.-Planteamiento del problema.....	4
1.2.- Formulación del problema.....	4
1.2.1.-Objetivos.....	4
1.2.1.1.-General.....	4
1.2.1.2.-Específicos.....	5
CAPITULO II	
2.- MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.-Antecedente de la investigación.....	5
2.2.- Fundamentación teórica.....	6
2.2.1.-Identificación de los suelos en el campo.....	6
2.2.2.- Obtención De muestras de suelos.....	6
2.2.3.-Inspección visual.....	8
2.2.4.-Definiciones básicas.....	8
2.3.- Sistema de hipótesis.....	10
2.3.1.- Hipótesis.....	10
2.4.-Variables, dimensiones y áreas, indicadores.....	10
CAPITULO III	
3.-MARCO METODOLÓGICO.....	11
3.1.-Diseño de la investigación.....	11
3.1.1. Métodos.....	11
3.1.2.- Nivel de investigación.....	11
3.1.3. Tipo de estudio.....	11
3.2.- Población y muestra.....	11
3.3.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11

I

CAPITULO IV

4.-PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	11
4.1.-InstruccionesGeneralepara ensayos de Laboratorio.....	12
4.1.1.- Instrucciones para el trabajo de laboratorio.....	12
4.1.2.- Cuarteo manual.....	13
4.2.- Tamices de ensayo.....	15
4.2.1.- Dimensiones nominales de las aberturas.....	15
4.3.-Evaluación funcional de los ensayos en mecánica de suelos.	
4.3.1.-Conservación y transporte de muestras de suelos.....	18
4.3.2.-Sistemas de clasificación de los suelos.....	27
4.3.3.-Análisis granulométrico de suelos por tamizado.....	32
4.3.4.-Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.....	38
4.3.5.-Determinación del límite líquido de los suelos.....	41
4.3.6.-Determinación del límite plástico.....	48
4.3.7.-Compactación de suelos en laboratorio (Proctor modificado)..	52
4.3.8.-Compactación De Suelos En Laboratorio (Proctor Estándar)..	67
4.3.9.-Ensayo para determinar la densidad de los suelos en el campo por el método del cono de arena.....	82
4.3.10.-Ensayo de penetración S.P.T.....	92
4.3.11.-Corte directo (CD).....	99
4.3.12.-Densidad en el sitio - método nuclear.....	106
4.3.13.-CBR de suelos.....	113
4.3.14.-Peso específico y absorción de agregados fino.....	125
4.3.15.-Peso específico y absorción de agregados gruesos.....	131
4.3.16.-Abrasión los ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados.....	136
4.4.-Evaluación funcional de los ensayos en pavimentos.	
4.4.1.-Toma de muestras de mezclas asfálticas para pavimentos.....	142
4.4.2.-Extracción cuantitativa de asfalto.....	147
4.4.3.-Análisis mecánico de los agregados extraídos de mezclas asfálticas	158
4.4.4.-Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall	161
4.4.5.-Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas.....	173

II

4.5.- Terminología referida a definición de los términos más usuales del manual de ensayos de mecánica de suelos y pavimentos.....	181
--	-----

CAPITULO V

5.0.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1- Resultados obtenidos.....	196
5.2.-Técnicas de procesamiento, análisis y validación de los resultados.....	196

CAPITULO VI

6.0.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- Conclusiones.....	197
6.2.- Recomendaciones.....	198

BIBLIOGRAFÍA.....	199
-------------------	-----

ANEXOS

Ejemplos de cálculo de ensayos en mecánica de suelos.....	201
Ejemplos de cálculo hojas de cálculo de ensayos en pavimentos.....	210

III

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4.2.1:	
Abertura de los tamices según norma ASTM-INEN	16
TABLA 4.3.2.1:	
Sistema de clasificación AASHTO.....	28
TABLA 4.3.2.2:	
Sistema de clasificación SUCS.....	31
TABLA 4.3.3.1:	
Tamaño máximo de las partículas.....	33
TABLA 4.3.5.2:	
Número de golpes.....	46
TABLA 4.3.9.1:	
Volúmenes mínimos del hoyo de ensayo basados en el tamaño máximo de partícula.	87
TABLA 4.3.13.1:	
Penetración.....	121
TABLA 4.3.15.1:	
Cantidades mínimas peso específico y absorción de agregados gruesos.....	132
TABLA 4.3.16.1:	
Carga abrasiva.....	136
TABLA 4.3.16.2:	
Granulometría de la muestra de agregado para ensayo.....	139
TABLA 4.4.1.1:	
Tamaño de la muestra.....	143
TABLA 4.4.2.1:	
Máxima concentración.....	148
TABLA 4.4.2.2:	
Tamaño de la muestra.....	149
TABLA 4.4.5.1:	
Tamaño mínimo de muestras y tamaño mayor de los agregados.....	178

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 4.1.1:	
Cuarateador	14
GRAFICO 4.3.1:	
Encajonamiento de muestras para su transportación.....	26
GRAFICO 4.3.5.1:	
Aparato de casa grande.....	42
GRAFICO 4.3.5.2:	
%W vs Numero de golpes.....	47
GRAFICO 4.3.7.1:	
Moldes cilíndricos (Proctor Modificado).....	66
GRAFICO 4.3.7.2:	
Ensayo de compactación (Proctor Modificado).....	66
GRAFICO 4.3.8.1:	
Moldes cilíndricos (Proctor Estándar).....	81
GRAFICO 4.3.8.2:	
Ensayo de compactación (Proctor Estándar).....	81
GRAFICO 4.3.9.1:	
Aparato de densidad de campo.....	91
GRAFICO 4.3.11.1:	
Equipo de corte directo.....	105
Grafico 4.3.12.1:	
Equipo para el ensayo de densidad por el método nuclear.....	109
GRAFICO 4.3.12.2:	
Retro dispersión.....	110
GRAFICO 4.3.12.3:	
Transmisión directa.....	112
GRAFICO 4.3.13.1:	
Equipo para el ensayo de CBR.....	114
GRAFICO 4.3.13.2:	
Equipo para medir deformaciones.....	120
GRAFICO 4.3.13.3:	
Curva de penetraciones vs lecturas de pistón.....	122

GRAFICO 4.3.16.1:	
Máquina de los Ángeles.....	137
GRAFICO 4.4.2.1:	
Solvente para extracción.....	152
GRAFICO 4.4.2.2:	
Equipo para extracción.....	157
GRAFICO 4.4.4.1:	
Moldes y probetas.....	165
GRAFICO 4.4.4.2:	
Martillo y equipo de compactación de probetas de asfalto.....	165

RESUMEN

La Universidad Nacional de Chimborazo requiere de la elaboración de un Manual de ensayo de Mecánica de Suelos y Pavimentos para el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil con el cual se tratará que los estudiantes y docentes se adentren en una materia tan interesante y a la vez útil que nos hace entender que el suelo que pisamos es como un ser vivo que se hincha o se contrae, que se resiste o se fatiga dependiendo de las condiciones del medio que lo rodea. Por lo que se plantean la optimización de algunos de los procesos de ensayos, a través de estudios donde se comparan los procedimientos dados por las normas y de esta manera obtener la validación de resultados tanto en los ensayos de Mecánica de Suelos como en los ensayos de Pavimentos.

SUMMARY

The Universidad Nacional de Chimborazo requires the elaboration of a handbook on soil mechanics test for the lab and floor of the school of civil engineering who is involved with students and teachers to delve into a subject so interesting and yet useful for us to realize that the ground beneath our feet is like a living being that is soft or harden, which swells or shrinks and is resistant or fatigue depending on environmental conditions around it. As optimization is intended to raise some of the test processes, through studies that compare the procedures given by the rules and thereby obtain the validation of results in both tests and in Soil Mechanics Test Pavement.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación está empeñado en dar un aporte en la preparación, y conocimiento para estudiantes, docentes, técnico laboratoristas. Para la realización de esta investigación ha sido necesario recopilar datos tomando como base las normas de ensayos INEN, AASHTO, ASTM, Especificaciones Generales de Puentes y Caminos MOP-2002, entre otros. En este manual se detalla la realización de los ensayos de suelos y pavimentos en la forma como se los describen en las normas, basados en obras que actualmente se están ejecutando en la provincia de Chimborazo con resultados que satisfagan nuestros intereses.

Para fortalecer la investigación se empleará información bibliográfica y análisis práctico de procedimientos de ensayos de suelos y pavimentos realizados en el laboratorio de suelos y pavimentos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Chimborazo.

CAPITULO I

1.- MARCO REFERENCIAL

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hay que recalcar que cada ensayo que se realiza en mecánica de suelos y pavimentos se basan en la aplicación de diferentes normas como ASSHHO, INEN, ASTM, entre otras, por lo que es primordial realizar una investigación técnica de todas las normas que permitan verificar las ventajas y desventajas que tenga cada una de las normas, logrando uniformizar y recomendar de acuerdo al tipo de trabajo que se planifique y luego se pueda ejecutar sin ningún tipo de problema

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Consideran las normas existentes todos los parámetros que se presentan o que se puedan presentar en un estudio de suelos?

¿Cuál será la norma técnica de todas las normas que se utilizan en cada ensayo de mecánica de suelos y pavimentos, que se aplique a nuestro de suelos, como también en pavimentos.?

¿Su forma de evaluación es correcta?

¿Cómo afecta las condiciones ambientales en muestreo de suelos con métodos existentes?

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar un manual de ensayos de mecánica de suelos y pavimentos para el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo aplicando normas que sean adecuadas de acuerdo a nuestros suelos, materiales y condiciones de trabajo.

ESPECIFICOS

- ✓ Comparar y analizar manuales de mecánica de suelos y pavimentos de laboratorio que se utilizan en la provincia de Chimborazo.
- ✓ Verificar mediante ensayos de control el comportamiento de la estructura del pavimento.
- ✓ Establecer parámetros comparativos de los estudios de diferentes normas que se aplican en los procedimientos de cada ensayo de mecánica de suelos y pavimentos.
- ✓ Redactar un manual de referencia para los estudiantes, y docentes de la Universidad Nacional de Chimborazo de fácil aplicación

CAPITULO II

2.- MARCO TEORICO

2.1.-ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Hoy en día es cada vez más concluyente el hecho de que todo ingeniero sienta la responsabilidad técnica y moral de su profesión al efectuar un estudio de las condiciones del subsuelo, cuando se diseñan estructuras de cierta importancia. Ya que ello conlleva dos características que se conjugan: seguridad y economía. Es por eso que en los proyectos de construcción se desprende la necesidad de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo que se está tratando. Primero al realizar las pruebas de Clasificación se determinará en forma correcta la ubicación del problema que se la presenta y de esta ubicación podrá decidir. Segunda fase de un trabajo, las pruebas más adecuadas que requiere su problema en particular, para definir las características de deformación y resistencia a los esfuerzos en el suelo con que haya de laborar. Pero para llegar en el laboratorio a unos resultados razonablemente dignos de crédito es preciso

cubrir en forma adecuada una etapa previa e imprescindible: la obtención de muestras de suelo apropiadas para la realización de las correspondientes pruebas.

Manual de asfalto MS-22

Normas, AASHTO, ASTM, INEN, entre otros.

Especificaciones generales del MTOP-2002

2.2.-FUNDAMENTACIÓN TEORICA

2.2.1.- Identificación de los suelos en el campo.-

Para un control adecuado de los suelos se necesita su perfecta identificación. La falta de tiempos o de medios hace que frecuentemente sea imposible el realizar detenidos ensayos para poderlos clasificar. Así pues la habilidad de identificarlos en el campo por simple inspección visual y su examen al tacto. Principales tipos de suelos para su identificación, todos los suelos pueden agrupar se en 5 tipos básicos: grava, arena, limo, arcilla, materia orgánica.

2.2.2.-Obtención de muestras de suelos

Para determinar las características, propiedades del suelo en un laboratorio es necesario contar con muestras representativas de dicho suelo. Un muestreo adecuado y representativo es primordial, pues tiene el mismo valor que el de los ensayos en sí. A menos que la muestra obtenida sea verdaderamente representativa de los materiales que se pretende usar, cualquier análisis de la muestra solo será aplicable a la propia muestra y no al material del cual procede. De ahí la imperiosa necesidad de que el muestreo sea efectuado por personal conocedor de su trabajo, las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas o inalteradas, sé dice que una muestra es inalterada cuando no gradúa las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, y en muestras inalteradas es en caso contrario.

Para obtener una muestra alterada, el muestreo debe efectuarse según el fin que persiga. Para tomar muestras individuales de un suelo abierto se efectuara el siguiente procedimiento.

- Se rebaja la parte seca y suelta de suelo con el propósito de obtener una superficie fresca
- Se toma una muestra de cada capa en un recipiente y se coloca una tarjeta de identificación.

Las muestras envían en bolsas a laboratorio

Para tomar muestras individuales mediante perforaciones con barrena se hace lo siguiente:

- Se coloca el suelo excavado en hilera con el debido orden
- Se toma una porción representativa de cada clase de suelo encontrado y se colocan en bolsas separadas con su identificación correspondiente
- Las bolsas con material se envían a laboratorio

Para obtener muestras inalteradas, el caso es simple corresponde al de cortar un determinado trozo de suelo del tamaño deseado, cubriéndolo con parafina para evitar pérdidas de humedad y empacándolo debidamente para su envío al laboratorio.

Para una muestra inalterada de una superficie más o menos plana se sigue el siguiente procedimiento:

- Se limpia y alisa la superficie del terreno y se marca el contorno del trozo
- Se excava una zanja alrededor de esto
- Se ahonda la excavación y se cortan los lados del trozo un cuchillo de hoja delgada
- Se corta con el cuchillo y se quita del hoyo

- La cara del trozo extraído que corresponda al nivel del terreno se marca con una señal cualquiera para conocer la posición que ocupaba en lugar de origen, se plana las aristas de la muestra y se aplica tres capas de parafina caliente con brochas.
- Si la muestra no se usa pronto se utiliza protección adicional de las tres capas de parafina ya indicadas esta protección consiste en envolver la muestra con tela blanda amarándola con un cordel

2.2.3.-Inspección visual

Forma del grano

Se observan y clasifican las partículas de arena y grava en cuanto a su grado de angulosidad y redondos.

Tamaños y graduación de los granos.- Los tamaños en arenas y gravas se reconocen rápidamente por inspección visual. Los granos más pequeños que el límite menor de la arena no pueden verse a simple vista deben ser identificados por medio de otros ensayos.

2.2.4.- Definiciones Básicas

Agregados

También denominados áridos, inertes o conglomerados son fragmentos o granos que constituyen entre un 70% y 85% del peso de la mezcla, cuyas finalidades específicas son abaratar los costos de la mezcla y dotarla de ciertas características favorables dependiendo de la obra que se quiera ejecutar.

Agregado fino.

El agregado fino es aquel que pasa el cedazo o tamiz 3/8y es retenido en el tamiz N°200.

Agregado grueso.

El agregado grueso es aquel que pasa el cedazo o tamiz N°3y es retenido el tamiz N°4

Granulometría

Consiste en la distribución del tamaño de los granos. La gradación del material juega un papel muy importante en su uso como componente del concreto ya que afecta la calidad del material.

Granulometría de Finos y Gruesos.

Este método consiste en la determinación por tamices de la distribución del tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos. Para una gradación óptima, los agregados se separan mediante el tamizado, en dos o tres grupos de diferentes tamaños para las arenas, y en varios grupos de diferentes tamaños para los gruesos.

Porcentaje pasa 200.

Está representado por limo, arcilla y materia orgánica, este a su vez es perjudicial para el concreto y en las obras convencionales se acepta hasta un cinco por ciento de este material y en las exigentes hasta un tres por ciento, pero si existe menos del pasa 200 mejor la mezcla.

Abrasión o desgaste de los Ángeles.

Este método consiste en ensayar agregados gruesos de tamaños menores de 1 ½, por resistencia de abrasi3n usando la máquina de ensayo de los ángeles.

Peso Específico De Finos

Mediante el estudio de esta práctica se evaluará el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado. Siendo este el factor que se usa para la determinación del volumen que ocupa el agregado y el concreto.

Peso Específico De Gruesos

Este método permitirá calcular con ayuda del principio de Arquímedes y con la 2da ley de Newton la cantidad en volumen que ocupará el agregado grueso en el mezclado del concreto

2.3.- SISTEMA DE HIPÓTESIS

2.3.1.- Hipótesis

La investigación técnica de todas las normas que se utilizan en cada uno de los ensayos de mecánica de suelos y pavimentos, nos ayudará para la obtención de un manual a de laboratorio que pueda ser aplicada adecuadamente de acuerdo al tipo de suelo y pavimento de nuestra provincia de Chimborazo .

2.4.-VARIABLES, DIMENSIONES Y ÁREAS, INDICADORES

Variable dependiente	Variable Independiente	Indicadores Generales	Índices Generales
Veracidad y precisión de resultados con el manual de ensayo de mecánica de suelos y pavimentos	Uso de normas para la realización del manual de ensayo de mecánica de suelos y pavimentos	% Humedad	Porcentaje
		Rugosidad	mm
		Densidad	gr/cm ³
		Grado de Compactación	Porcentaje
		Porcentaje	Porcentaje
		Grado de Fisuras	Número de fisuras/m ²
	Uso de procedimientos exactos para cada uno de los ensayos del manual de mecánica de suelos y pavimentos.	Densidad	gr/cm ³
		Grado de Compactación	Porcentaje
		% Humedad	Porcentaje
		Rugosidad	mm
		Porcentaje	Porcentaje
		Grado de Fisuras	Número de fisuras/m ²

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1.- Métodos: observación y experimentación.

3.1.2.- Nivel de investigación: comparativo y evaluativo.

3.1.3. -Tipo de estudio: experimental.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

Realización e investigación de ensayos de mecánica de suelos y pavimentos en los diferentes equipos que posee el laboratorio del Ministerio de Transporte y Obras públicas

Muestra:

Agregados y mezclas asfálticas que se utilizan en los diferentes proyectos de reconstrucción de carreteras de la provincia de Chimborazo que se encuentran en ejecución.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La investigación se efectuó en el laboratorio de geotecnia del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, la técnica a utilizar será de observación y experimental práctico, el cual reflejara y justificara la elaboración del Manual de ensayos de mecánica de suelos y pavimentos para el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo

CAPITULO IV

4.- PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.

GENERALIDADES:

La actividad normal del laboratorio de Suelos y Pavimentos de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo debe estar sujeto a la realización de muchos ensayos, por lo que los estudiante debe estar familiarizado con las normas técnicas que regulan los ensayos y procedimientos de laboratorio que deben ser seguidas rigurosamente en la práctica profesional. Para los estudiantes de ingeniería civil llevar a cabo la ejecución de los diferentes ensayos como: equivalente de arena, granulometría, desgaste de los Ángeles, peso específico de los agregados y unitario entre otros; aplicados a los agregados tanto finos como gruesos es esencial, ya que, estos pasaran a formar entre un 70 y/o 75% de la mezcla de asfalto, también es fundamental que el agregado sea optimo para así poder proporcionar a la mezcla una resistencia y durabilidad.

4.1.- INSTRUCCIONES GENERALES PARA ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1.1.- INSTRUCCIONES PARA EL TRABAJO DE LABORATORIO

1. Atender las indicaciones del instructor.
2. Consultar con el instructor el material y equipo a usar.
3. Al operar un equipo por primera vez, consultar previamente al instructor.
4. Todo el material empleado debe ser usado de una manera eficiente y económica.
5. Para identificación posterior, todos los especímenes, taras, etc., deberán ser debidamente marcados.
6. Al terminar la práctica se limpiará el equipo y se eliminarán los desperdicios resultantes, tanto de los bancos de trabajo como del piso.

7. Procurar tomar los datos del ensayo directamente en los formatos existentes.

REPORTES:

1. Se entregarán una semana después de efectuado el ensayo.
2. Se entregarán en grupos de tres personas como máximo.
3. Deberá ser breve y claro.
4. Es conveniente que en la portada del reporte se incluya la siguiente información.
 - a. Título de la prueba.
 - b. Número de la prueba.
 - c. Nombre y carnet de los estudiantes.
 - d. Identificación del Grupo.
 - e. Nombre del profesor de práctica.
 - f. Fecha de realización de práctica.
 - g. Fecha de entrega de reporte.

4.1.2.-CUARTEO MANUAL

Las muestras antes de someterse, a los distintos ensayos que se van a realizar, necesita una preparación previa la cual se conoce con el nombre de cuarteo.

El objetivo del cuarteo de la muestra es homogenizarla, para que la muestra sea representativa, de tal manera que los resultados obtenidos para cada ensaye sean representativos.

La muestra debe tomarse siguiendo el procedimiento siguiente:

- a) La muestra se coloca sobre una superficie lisa, limpia y seca y exenta de materiales extraños.
- b) Mezclar bien las muestras combinadas, haciendo una pila cónica, echando repetidas veces el material de los bordes hacia el centro.
- c) Aplanar ligeramente la pila, dándole forma circular, con espesor uniforme.
- d) Se divide el material en cuatro sectores iguales, abriendo con la pala dos zanjas diametrales y perpendiculares.
- e) Desechar dos sectores diagonalmente opuestos, mezclar bien los dos restantes y tomándose de ahí las cantidades necesarias para los distintos ensayos.

Si se dispone de un “cuarteador”, el cuarteo a mano no es necesario, ya que la caja tiene compartimentos y conductores que separan la muestra en forma deseada.

GRAFICO 4.1.1: CUARTEADOR



Fuente: LABORATORIO DEL MTOP -CHIMBORAZO

4.2.- TAMICES DE ENSAYO

4.2.1.- DIMENSIONES NOMINALES DE LAS ABERTURAS

1.- OBJETIVO

1.1.-Esta norma establece las dimensiones nominales de las aberturas de las mallas de alambre y de las placas perforadas que se usan en los tamices de ensayo.

2.- DISPOSICIONES GENERALES

2.1.- Medios de Tamizado

2.1.1.- Las mallas de alambre para tamices de ensayo estarán constituidas por alambres tejidos para formar aberturas nominales cuadradas.

2.1.2.- Las placas perforadas para tamices de ensayo serán placas metálicas con agujeros cuadrados o circulares dispuestos de manera regular.

2.2.- Designación

2.2.1.-Las mallas de alambre que se usan en los tamices de ensayo se designaran con la dimensión nominal de su abertura cuadrada.

2.2.2.- Las placas perforadas que se unen en los tamices de ensayo se designaran con la dimensión nominal de su abertura cuadrada o con el diámetro nominal de su abertura redonda. Además deberá especificarse el tipo de abertura, redonda o cuadrada.

2.2.3.- Las dimensiones de aberturas menores a 1mm se expresaran en micrómetros (um) y las dimensiones de aberturas iguales o mayores a 1mm se expresaran en milímetros.

3.- DIMENSIONES NOMINALES DE LAS ABERTURAS

3.1.- En la tabla se indican las dimensiones nominales principales y las dimensiones nominales suplementarias de las aberturas; tales dimensiones corresponden a las serie R20/30 y R40/3 respectivamente, de números preferidos.

3.2.- Las dimensiones nominales indicadas en la tabla 4.2.1 tendrán las siguientes aplicaciones:

- a. Tamices de las mallas de alambre: aberturas desde 125mm a 20 um.
- b. Tamices de ensayo de placas perforadas:
 - Agujeros redondos desde 125mm a 1mm
 - Agujeros cuadrados desde 125mm a 4mm.

Tabla 4.2.1:

Abertura de los tamices según norma ASTM-INEN

INEN	TOLERANCIA	ASTM
ABERTURA mm		ABERTURA Plg
125	±3,7	5
106	±3,2	4.24
100	±3	4
90	±2.2	3 1/2
75	±2.8	3
63	±1.9	2 1/2
53	±1.6	2.12
50	±1.5	2
45	±1.4	1 3/4
37.5	±1.1	1 1/2
31.5	±1	1 1/4
26.5	±0.8	1.06
25	±0.8	1
22.4	±0.7	7/8"
19	±0.6	3/4"
16	±0.5	5/8"
13.2	±0.41	0,53
12.5	±0.39	1/2"
11.2	±0.35	7/16"
9.5	±0.3	3/8"
8	±0.25	5/16"
6.7	±0.21	0.265
6.3	±0.20	1/4"
5.6	±0.18	N°3
4.75	±0.15	N°4
4	±0.13	N°5

INEN	TOLERANCIA	ASTM
ABERTURA mm		ABERTURA P_{ig}
3.35	±0.11	N°6
2.80	±0.095	N°7
2.36	±0.08	N°8
2	±0.07	N°10
1.70	±0.06	N°12
1.40	±0.05	N°14
1.18	±0.045	N°16
1	±0.04	N°18
850 um	±35 um	N°20
710 um	±30 um	N°25
600 um	±25 um	N°30
500 um	±20 um	N°35
425 um	±19 um	N°40
355 um	±16 um	N°45
300 um	±14 um	N°50
250 um	±12 um	N°60
212 um	±10 um	N°70
180 um	±9 um	N°80
150 um	± 8 um	N°100
125 um	±7 um	N°120
106 um	± 6 um	N°140
90 um	±5 um	N°170
75 um	±5 um	N°200
63 um	±4 um	N°230
53 um	±4 um	N°270
45 um	±3 um	N°326
38 um	±3 um	N°400

REFERENCIA NORMATIVAS

INEN 154

4.3.-EVALUACIÓN FUNCIONAL DE LOS ENSAYOS EN MECÁNICA DE SUELOS

4.3.1.-CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS

Este ensayo está basado en la Norma ASTM D 4220, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. -OBJETIVO

1.1.- Este ensayo señala el procedimiento para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.

1.2.- Este ensayo se utiliza para la transportación y conservación de muestras de laboratorio, cuyas muestras serán luego sometidas a ensayo de control de agregados que constituirán la obra básica (base, subbase, rasante) y agregados que constituirán la mezcla asfáltica para pavimentos.

2.- RESUMEN DE LOS MÉTODOS

2.1.- Los diferentes métodos se distribuyen en cuatro grupos, así:

- **Grupo A.** Muestras que requieren únicamente identificación visual como ensayos de límites de attemberg (limite liquido, límite plástico).
- **Grupo B.** Muestras que necesitan únicamente ensayos de contenidos de humedad y Clasificación; de peso unitario y peso específico; el perfil de la perforación; y muestras, en bruto que serán remodeladas o compactadas en

especímenes para someterlas a ensayos de presión y porcentaje de hinchamiento, consolidación, permeabilidad, resistencia al corte, CBR, etc.

- **Grupo C.** Muestras inalteradas, formadas naturalmente o preparadas en el campo para determinaciones de peso unitario, densidad de campo ; o para compresión y porcentaje de hinchamiento, consolidación, ensayos de permeabilidad y de resistencia al corte, con y sin medidas de esfuerzo-deformación y de cambios de volumen, hasta incluir ensayos dinámicos y cíclicos.
- **Grupo D.** Muestras frágil o altamente sensible, para las cuales se requieren los ensayos del Grupo C.

2.2.- El método de conservación y transporte de muestras de suelos, que se vaya a emplear, deberá fijarse en las especificaciones del proyecto o definirse por parte de la entidad responsable.

3. SIGNIFICADO Y USO

3.1.-El empleo de los diferentes métodos que se describirán, depende del tipo de muestras obtenidas, del tipo de ensayo y de las propiedades de ingeniería requeridas, de la fragilidad y sensibilidad del suelo, y de las condiciones climáticas.

En todos los casos, el objeto primordial es el de preservar las condiciones propias de cada muestra.

3.2.-Los métodos aquí desarrollados fueron inicialmente para muestras de suelo que han de ensayarse para obtener las propiedades de ingeniería; sin embargo, ellos también pueden aplicarse a muestras de suelo o de otros materiales, para otros fines.

4.- APARATOS Y MATERIALES

El tipo de materiales y de recipientes requeridos, depende de las condiciones y requerimientos enunciados para los grupos A a D del numeral 2 y también del clima, del medio de transporte y de la distancia.

4.1.-Parafina para sellado, puede ser: cera micro cristalina, cera de abejas, o una combinación de las mismas.

4.2.-Discos de metal, de alrededor de 2 mm (1/16") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interno del tubo, muestreador o anillo, y para utilizarlos conjuntamente con parafina, tapas y cinta, o ambos.

4.3.-Discos de madera, encerados previamente, de 25 mm (1 ") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del muestreador o el del tubo.

4.4.-Cinta, ya sea plástica a prueba de agua, adhesiva de fricción, o de pegar tubos.

4.5.-Estopa de algodón, para emplear con parafina en capas alternadas.

4.6.-Tapas, ya sean plásticas, de caucho o de metal, para colocar en los extremos de los tubos de pared delgada, muestreadores con anillos, junto con cinta o parafina.

4.7.-Selladores, empleados para sellar los extremos de la muestra, dentro de los tubos de pared delgada.

Nota 1. Se prefieren empacadores de plástico dilatables. Los empacadores dilatables metálicos sellan igualmente bien; sin embargo, en almacenamientos a largo plazo, pueden causar problemas de corrosión.

4.8.-Frascos, de boca ancha, con tapa y anillo de caucho o tapa con un papel sellante, y de un Tamaño adecuado para recibir fácilmente la muestra, comúnmente de 250 ml, 500 ml y 1000 ml.

4.9.-Bolsas, ya sean plásticas, de yute, fibra, lona, etc.

4.10.- Material para amortiguar contra vibraciones y choques.

4.11.-Aislamiento, ya sea polietileno expandido, burbujas plásticas o del tipo de espuma, que resista cambios de temperatura perjudiciales para el suelo.

4.12.- Cajas, para el transporte de muestras de bloque cúbico y elaboradas con tablas de 13 a 19 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ ") de espesor.

4.13.- Cajas cilíndricas, un poco más largas que los tubos de pared delgada.

Nota 2. Deben observarse las limitaciones de dimensiones de embalaje y peso para el transporte comercial.

4.14.- Para la identificación. Incluir los elementos necesarios, tales como rótulos y marcadores para identificar adecuadamente la (s) muestra (s).

5. PROCEDIMIENTO

1.- Para todas las muestras. Identifíquense apropiadamente las muestras con membretes, rótulos y marcas, antes de transportarlos, en la siguiente forma:

- a) Nombre o número de la obra, o ambos.
- b) Fecha del muestreo.
- c) Muestra/número y localización de la calicata.
- d) Profundidad o elevación, o ambas.
- e) Orientación de la muestra.
- f) Instrucciones para transporte especial o manejo en el laboratorio, o ambas, incluida la forma como debe quedar colocada la muestra y
- g) Datos del ensayo de penetración SPT si son aplicables.

1.2.- Grupo A

- Transpórtense muestras en cualquier clase de caja mediante cualquier medio de transporte disponible. Si es comercial, el recipiente sólo necesita cumplir con las exigencias mínimas de la agencia transportadora y con los restantes requisitos para asegurarse contra la pérdida de la muestra.

1.3.- Grupo B

- Estas muestras deberán conservarse y transportarse en recipientes sellados a prueba de humedad, todos los cuales deberán ser de espesor y resistencia

suficientes para evitar su rotura. Los recipientes o empaques pueden ser bolsas plásticas, frascos de vidrio o de plástico (suponiendo que sean a prueba de agua), tubos de pared delgada, y anillos. Las muestras cúbicas y cilíndricas pueden envolverse en membranas plásticas adecuadas, en papel de aluminio, o ambas y cubrirse con varias capas de parafina, o sellarse con varias capas de estopa paño impermeable y parafina.

- Estas muestras pueden enviarse mediante cualquier medio disponible de transporte. Pueden remitirse como fueron preparadas o colocarse en recipientes más grandes, como costales, cajas de cartón o de madera, o barriles.
- Bolsas plásticas. Deberán colocarse tan ajustadamente como sea necesario alrededor de la muestra, expulsando todo el aire posible. El plástico deberá ser lo suficiente grueso, para evitar escapes.
- Frascos de vidrio o de plástico. Si las tapas de los frascos no están selladas con anillos de caucho o con papel parafinado, las tapas deberán sellarse con parafina o con cinta aislante.
- Tubos de pared delgada.
- Cubiertas ensanchables. El método preferido para sellar los extremos de las muestras dentro de los tubos es con cubiertas plásticas que pueden dilatarse.
- Para un sellamiento a corto plazo, la parafina es aceptable; a largo plazo (más de 3 días), deben emplearse ceras micro-cristalinas o combinadas con 15% de cera de abejas o resinas para una mejor adherencia a la pared del tubo y para reducir la contracción. Varias capas delgadas de parafina son mejores que una capa gruesa. El espesor mínimo final deberá ser de 10 mm. (0.4").
- Tapas de los extremos. Las tapas en los extremos, de metal, de caucho o de plástico, deberán sellarse con cinta. Para almacenamiento a largo plazo (más de 3 días), deberán también para finarse, aplicando dos o más capas.
- Estopa de algodón y parafina. Capas que se alternan (un mínimo de dos de cada una) de estopa y parafina, pueden emplearse para sellar cada extremo del tubo y para estabilizar la muestra.
- Alineadores o camisas delgadas de anillos
- Muestras expuestas
 - a. Las muestras cilíndricas, cúbicas u otras muestras envueltas en plástico, como polietileno y polipropileno u hojas delgadas de papel de estaño

o aluminio, etc., deberán protegerse posteriormente con un mínimo de tres capas de parafina.

- b.** Las muestras cilíndricas y cubos envueltos en estopa y parafina, deberán sellarse con un mínimo de tres capas colocadas alternadamente.
- c.** Las muestras en cajas de cartón deben empacarse en tal forma, que la parafina pueda vaciarse completamente alrededor de la muestra.
- d.** Generalmente, deberán envolverse las muestras en plástico o en papel de estaño o de aluminio, antes de parafinarse.

1.4.- Grupo C

- Estas muestras deben preservarse y sellarse en empaques como se indica en 1.3. Adicionalmente, deberán protegerse contra choques, vibraciones y cambios de temperatura.
- Las muestras transportadas por el personal del muestreo o del laboratorio, o en la cabina de un vehículo automotor, necesitan colocarse solamente en cajas de cartón o en empaques similares, dentro de los cuales las muestras selladas encajen ajustadamente, evitando golpes, volcamientos, caídas, etc.
- Para los demás métodos de transporte de muestras, incluyendo buses, encomiendas, camiones, barcos, aviones, etc., será necesario colocar las muestras selladas en cajas de madera, de metal, o de otro tipo adecuado, que proporcionen amortiguación o aislamiento.
- El material de amortiguación (aserrín, caucho, polietileno, espuma de uretano o material elástico similar) deberá sujetar completamente cada muestra. La amortiguación entre las muestras y las paredes de las cajas deberá tener un espesor mínimo de 25 mm (1"). Un espesor mínimo de 50 mm (2") deberá proporcionarse sobre el piso de la caja.
- Cuando sea necesario, las muestras deberán remitirse en la misma posición como fueron tomadas. Por otra parte, pueden proporcionarse condiciones especiales, tales como drenaje controlado o confinamiento suficiente del suelo, o una combinación de éstas.

1.5.- Grupo D

- Deberán cumplir los requerimientos del grupo C más los siguientes:
- Las muestras deberán manipularse manteniendo la misma orientación con que fueron muestreadas, inclusive durante el transporte, mediante marcas adecuadas sobre la caja de embarque.
- Para todos los medios de transporte privado o comercial, el carguío, transporte y descargue de las cajas, deberán supervisarse en cuanto sea posible por una persona apta (ingeniero de suelos, inspector, laboratorista o persona designada por la dirección del proyecto).

1.6.-Cajas.- Las siguientes características deben incluirse en el diseño de la caja para los grupos C y D.

- Debe poderse volver a usar.
- Debe construirse en tal forma que la muestra pueda conservarse en todo momento, en la misma posición que cuando se hizo el muestreo.
- Deberá incluirse suficiente material de amortiguación y, o, aislar los tubos de los efectos adversos de vibración y choque.
- Deberá incluirse suficiente material aislante para evitar excesivos cambios de temperatura.

➤ Cajas de madera:

Es preferible la madera al metal. Puede emplearse lámina exterior que tenga un espesor de 13 a 19 mm ($\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ "). La tapa deberá ir con bisagras y cerrada con picaportes, y asegurada con tornillos.

Para protección contra variaciones excesivas de temperatura, toda la caja deberá forrarse con un aislamiento de espesor mínimo de 50 mm (2").

➤ Cajas metálicas:

Las cajas metálicas para despachos deberán tener incorporado material de amortiguación y aislante. Alternativamente, el efecto de amortiguación podrá lograrse con un sistema de suspensión de resorte o mediante cualquier otro medio que proporcione protección similar.

Pueden emplearse también cajas construidas con material de fibra de plástico o cartón reforzado.

6.- RECOMENDACIONES DEL ENSAYO:

- Es importante que al tomar una muestra de agregado (árido), debe ser del tamaño apropiado y representativo de todo el lote o acopio. La muestra que se tome para el ensayo debe ser lo más representativa que se pueda del material de que procede. Para esto se debe tener una serie de precauciones, las que a continuación relacionamos para el caso en que los áridos (arena y grava) se encuentran almacenados en Stock (forma de pila).
 - No tomar material de las partes que se encuentren igualmente segregados
 - Tomar la muestra de al menos tres partes diferentes de la pila:
 - a. Cerca de la base de la pila.
 - b. Aproximadamente en la mitad de la pila.
 - c. De la parte superior de la pila.
- Para la transportación de muestras se debe seguir Instrucciones especiales, descripciones y marcas en las cajas (advertencias), deben incluirse en cualquier muestra que pueda contener materiales radiactivos, tóxicos o contaminantes

7.- INFORME

1.-Los datos obtenidos en el campo deberán registrarse e incluirán lo siguiente:

- Nombre o número de la obra, o ambos.
- Fecha (s) del muestreo.
- Muestra / número (s) del sondeo y sitio (s).
- Profundidad (es) o elevación (es), o ambos.
- Orientación de la muestra.
- Posición del nivel freático, si lo hubiera.
- Método de muestreo y datos del ensayo de penetración, si fueren aplicables.
- Dimensiones de la muestra.
- Descripción del suelo (basado en la identificación visual de los suelos).
- Nombres del inspector / cuadrilla, ingeniero de suelos, jefe del proyecto.

- Condiciones climáticas.
- Observaciones, generales.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM D 4220

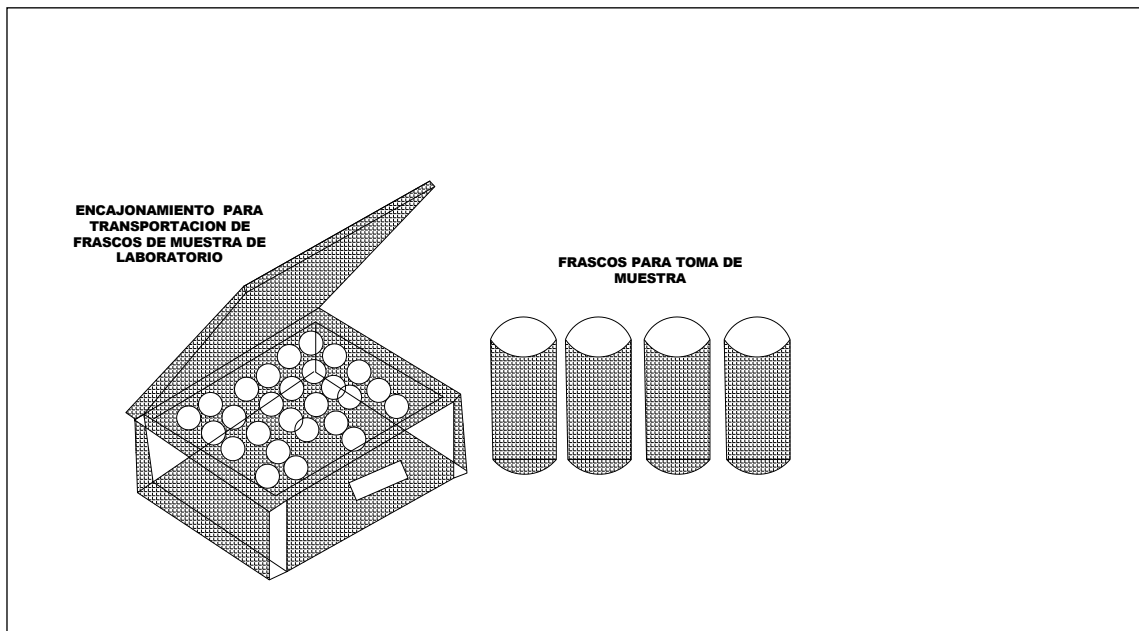


GRAFICO 4.3.1: ENCAJONAMIENTO DE MUESTRAS PARA SU TRANSPORTACIÓN

Fuente: Norma ASTM-D4220

4.3.2.- SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

DEFINICIÓN

Un sistema de clasificación de los suelos, es una agrupación de esto con características semejantes. El propósito es estimar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para la cual se desarrollaron, por consiguiente, sólo se explicarán las clasificaciones empleadas en la construcción de subbase, base, y carpeta asfáltica.

1.-SISTEMA AASHTO

El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) introdujo uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras Posteriormente en 1945 fue modificado y desde entonces se le conoce como Sistema AASHTO y recientemente AASHTO.

El sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en grupos, basado en las determinaciones de laboratorio de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un “índice de grupo”.

El grupo de clasificación, incluyendo el índice de grupo, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de subrasante, sub-bases y bases.

El valor del índice de grupo debe ir siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6 (3); A-7-5 (17), etc.

Cuando el suelo es NP o cuando el límite no puede ser determinado, el índices de grupo debe considerarse (0).

Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificado como A-8 sólo con una verificación visual, sin considerar el porcentaje bajo 0,08 mm, límite líquido e índice de plasticidad. Generalmente es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto y fuerte.

**TABLA 4.3.2.1:
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO**

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES(≤35%PASA TAMIZ N°200)						SUELOS FINOS(>35% Bajo TAMIZ N°200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5**
N°10	≤50										A-7-6**
N°40	≤30	≤50	≤51								
N°200	≤15	≤25	≤10	≤35				36			
IP	≤6		NP	≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11
Descripción	Gravas y Arenas		Arenas Finas	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
EXCELENTE -BUENO							REGULAR - MALO				

2.- SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN

El sistema desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande utiliza la textura para dar términos descriptivos tales como:

“GW”, grava bien graduada; “GC”, grava arcillosa; “GP”, Grava mal graduada, etc.

Este sistema de clasificación se ha extendido en cooperación con la Oficina de mejoramiento de terrenos (Reclamation) de los Estados Unidos, y se denomina actualmente Sistema de clasificación unificado.

Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción en ingeniería. La base de la clasificación de suelos está en las siguientes propiedades:

- 1.- Porcentaje de grava, arena y finos (fracción que pasa por el tamiz N° 200)
- 2.- Forma de la curva de distribución granulométrica.

3.-Características de plasticidad y compresibilidad.

Se establecen fracciones de suelos: Cantos rodados, gravas, arena y finos (limo o arcilla). Los límites de demarcación entre las diversas fracciones y aspectos descriptivos, simbología, descripciones y criterios de clasificación de laboratorio, se dan en la Tabla: Sistema Unificado de Clasificación de suelos, que se incluye.

Los suelos se separan en tres divisiones:

- 1.- Suelos de grano grueso.
- 2.- Suelos de grano fino.
- 3.- Suelos altamente orgánicos.

Los suelos de grano grueso son aquellos que contienen 50 por ciento o menos de material más pequeño que la malla del tamiz N° 200, y suelos de grano fino son aquellos que contienen más del 50 por ciento de material más pequeño que el tamiz N° 200.

Los suelos altamente orgánicos pueden identificarse generalmente por inspección visual.

Los suelos de grano se dividen en gravas (G) y arenas (S). Las gravas son aquellos suelos de grano grueso que tienen un porcentaje mayor de la fracción gruesa (la que no pasa por el tamiz N° 200) retenida en el tamiz N° 4, y las arenas son aquellos que su porción mayor para por el tamiz N° 4.

Tanto las gravas (G), como las arenas (S), se dividen en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC, respectivamente, según la cantidad y tipo de los finos y la forma de la curva granulométrica.

En la indicada tabla se muestran los tipos representativos de suelos encontrados en cada uno de estos grupos secundarios, bajo el encabezamiento de “Nombres Típicos”. Los suelos de grano fino se subdividen en limos (M) y arcillas (C), según su límite líquido y

su índice de plasticidad. Los limos son suelos de grano fino con un límite líquido y un índice de plasticidad, de los cuales grama de la tabla II-3y arcillas aquellos que dan puntos por encima de la línea “A”. Esta definición no es válida para las arcillas orgánicas puesto que el límite líquido y el índice de plasticidad de estos suelos dan puntos por debajo de la línea “A”, El limo (M) y la arcilla (C) se dividen a su vez en dos grupos secundarios basados en el hecho de que el suelo tenga un límite líquido relativamente bajo (L - low), o alto (H -high). Los tipos de suelos representativos encontrados en cada uno de los grupos resultante se dan en la tabla bajo “Nombres Típicos”.

Los suelos altamente orgánicos son usualmente muy comprensibles y tienen características inadecuadas para la construcción. Se clasifican dentro del grupo designado por el símbolo Pt. Turba (Peat). El humus y los suelos de pantano son ejemplos típicos de este grupo de suelos.

3.- RECOMENDACIÓN DEL ENSAYO:

- El ensayo de clasificación de suelos nos permite clasificar suelos minerales y orgánicos –minerales en siete grupos, basándose en las determinaciones de laboratorio sobre la distribución de partículas por tamaño, de límite líquido e índice de plasticidad.

4.3.3- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 422 y AASHTO T 88, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. OBJETIVO

1.1.- La determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

1.2.-Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 0.075 mm (N° 200).

1.3.- Este ensayo se lo utiliza para el control de agregados en construcciones viales, estructuras de hormigón armado .

2. APARATOS

2.1.- Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,750 mm (N° 4). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,750 mm (N° 4).

2.2.-Tamices de malla cuadrada 75 mm (3"), 50,8 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,750 mm (N°4), 2,00 mm (N° 10), 0,840 mm (N° 20), 0,425 mm (N° 40), 0,250 mm (N° 60), 0,106 mm (N° 140) y 0,075 mm (N° 200).

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes: 75 mm (3"), 37.5 mm (1-½"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (3 /8"), 4.750 mm (N°

4), 2.36 mm (N° 8), 1.10 mm (N° 16), 600 mm (N° 30), 300 mm (N° 50), 150 mm (N° 100), 0.075 mm (N° 200).

2.3.-Horno o Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

2.4.-Envases, adecuados para el manejo y secado de las muestras.

2.5.- Cepillo y brocha, para limpiar las mallas de los tamices.

3.-MUESTRA

3.1.-Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

3.2.-Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico, la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,750 mm (N° 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

3.3.- El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

- Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la:

Tabla 4.3.3.1: TAMAÑO MAXIMO DE LAS PARTICULAS

Diámetro nominal de las partículas más	Peso mínimo aproximado de la porción
---	---

grandes mm (pulg)	(gr)
9,5 (3 /8")	500
19,6 (¾")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 ½")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,750 mm (N° 4) será aproximadamente de 115 g, para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

3.4.-Se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,750 mm (N° 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4).

- Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4).

4.-ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,750 mm (N° 4).

4.1.- Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4) en una serie de fracciones usando los tamices de: 75 mm (3"), 50 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,0 mm (¾"), 9,5 mm (3 /8"), 4.750 mm (N° 4), o los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

4.2.- En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuando no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apesadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente; el resultado se puede verificar usando el método manual.

4.3.- Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0.1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1%.

5.-ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA FRACCIÓN FINA

5.1.- El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4) se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.

- Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.
- Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,075 mm (N° 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios.

- Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.
- La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,075 mm (N° 200) se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,075 mm (N° 200)

5.2.- Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,075 mm (N° 200).

- Se separan mediante cuarteo, 500 gr de material inicialmente húmedo, pesándolos con exactitud de 0.01 gr y lavamos el mismo
- Tamizamos por los tamiz N°10;N°40;N°200.
- Tomamos muestra en tres capsulas para los tres tamices anteriores y metemos al horno para su respectivo secado.
- Pesamos las muestras seca.
- Obtenemos los datos respectivos y procedemos a realizar los calculamos necesarios.
- Colocamos los datos en la hoja de informe respectivo

6.-CÁLCULOS

6.1.-Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,750 mm (N° 4).

- Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,750 mm (N° 4) dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,750 mm (N° 4).
- Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8"), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,750 mm (N° 4) el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8") y que queda retenida en el de

4,750 mm (N° 4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

- Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

6.2.-Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,750 mm

- Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en la tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

REFERENCIA NORMATIVA

INEN	696
ASTM	D 422
AASHTO	T 88

4.3.4.-MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

Este ensayo está basado en la Norma ASTM D 2216, INEN 690, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad.

Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

El presente modo operativo establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo, el cual sirve como ensayo de control de construcción de obras viales (base subbase, pavimento flexible).

2.- DEFINICIONES

2.1.- La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

3. APARATOS

3.1.- Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.

3.2.- Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: de 0.01 g para muestras de menos de 200 g de 0.1 g para muestras de más de 200 g

3.3.- Recipientes.- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de Ph variable, y a limpieza.

3.4.-Desecador (opcional).- Un desecador de tamaño apropiado que contenga sílica gel o fosfato de calcio anhidro. Es preferible usar un desecante cuyos cambios de color indiquen la necesidad de su restitución.

3.5.- Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.

3.6. Otros utensilios.- Se requiere el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

4.- PROCEDIMIENTO

1.- Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).

2.- Seleccionar especímenes de ensayo representativos

3.- Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

4.- Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores.

5.- Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado.

Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada.

5.- RECOMENDACIÓN DEL ENSAYO:

- En el ensayo de contenido de humedad las muestras usadas no deben ser usadas en ningún otro ensayo.

6.- CÁLCULOS

1.- Cálculos

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_c}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

En donde:

W = es el contenido de humedad, (%)

M_{cws} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

M_{cs} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos:

M_c = es el peso del contenedor, en gramos

M_w = es el peso del agua, en gramos

M_s = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	D 2216
INEN	690

4.3.5.-DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 4318, INEN 691, y AASHTO T 89, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.-OBJETIVO

1.1.- El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.

1.2.-Este ensayo se utiliza para el control de agregados finos que constituirán la mezcla asfáltica, Base, subbase dentro de una construcción vial.

2.- APARATOS

2.1.- Recipiente para Almacenaje

2.2.-Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3" - 4") de longitud y 20 mm ($\frac{3}{4}$ " de ancho aproximadamente.

2.3.- Aparato del límite líquido (o de Casagrande).

De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos. De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

2.4.-Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas.

2.5.-Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado.

2.6.- Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.

2.7.- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.

2.8.- Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) para secar la muestra.

GRAFICO 4.3.5.1: APARATO DE CASA GRANDE



FUENTE: NORMA AASHTO T89-LABORATORIOS MTOP-CHIMBORAZO

3.- MUESTRA

Tómese una muestra que pese 150 - 200 g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40).

4.- AJUSTE DEL APARATO

4.1.- Deberá inspeccionarse el aparato de límite líquido para verificar que se halle en buenas condiciones del trabajo. El pin que conecta la taza no debe estar tan gastado que tenga juego lateral, ni el tornillo que la conecta, hallarse tan gastado por el largo uso.

- Se considera desgaste excesivo, cuando el diámetro del punto de contacto sobre la base de la taza excede de 13 mm (0.5") o cuando cualquier punto sobre el borde de la misma se ha desgastado aproximadamente en la mitad del espesor original. Aun cuando se aprecie una ligera ranura en el centro de la taza, ésta no es objetable. Pero si la ranura se pronuncia antes de que aparezcan otros signos de desgaste, debe considerarse que está excesivamente gastada y deberá reemplazarse.

4.2.- Por medio del calibrador del mango del ranurador y la platina de ajuste H (Figura 1), ajústese la altura a la cual se levanta la taza, de tal manera que el punto que hace contacto con la base al caer esté exactamente a 1 cm (0.394") sobre ésta. Asegúrese la platina de ajuste H, apretando los tornillos con el calibrador, aún colocado, compruébese el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, un sonido de roce se oirá cuando la excéntrica golpea contra la taza, si se levanta del calibrador o no se oye ruido, hágase un nuevo ajuste.

5.- PROCEDIMIENTO

1.-Colóquese la muestra de suelo en un recipiente y mézclese completamente con 15 a 20 ml de agua destilada, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml.

Mézclase completamente cada incremento de agua con el suelo como se ha descrito previamente, antes de cualquier nueva adición.

- Algunos suelos son lentos para absorber agua, por lo cual es posible que se adicionen los incrementos de agua tan rápidamente que se obtenga un límite líquido falso. Esto puede evitarse mezclando más y durante un mayor tiempo, (1 hora aproximadamente).

2.-Cuando haya sido mezclada suficiente agua completamente con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre, colóquese una porción de la mezcla en la cazuela sobre el sitio en que ésta reposa en la base, y comprímase hacia abajo, extiéndase el suelo hasta obtener la posición adecuada (con tan pocas pasadas de la espátula como sea posible), teniendo cuidado de evitar la inclusión de burbujas de aire dentro de la masa. Nivélase el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjeselo hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo. Regrésese el exceso de suelo al recipiente.

2.1.- Divídase el suelo en la taza de bronce por pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro y a través de la línea central de la masa del suelo de modo que se forme una ranura limpia y de dimensiones apropiadas. Para evitar rasgaduras en los lados de la ranura o escurrimientos de la pasta del suelo a la cazuela de bronce, se permite hacer hasta 6 pasadas de adelante hacia atrás o de atrás hacia adelante, contando cada recorrido como una pasada; con cada pasada el acanalador debe penetrar un poco más profundo hasta que la última pasada de atrás hacia adelante limpie el fondo de la cazuela. Hágase una ranura con el menor número de pasadas posible.

3.-Elévese y golpéese la taza de bronce girando la manija F, a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en

contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5").

Anótese el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

En lugar de fluir sobre la superficie de la taza algunos suelos tienden a deslizarse.

Cuando esto ocurra, deberá agregarse más agua a la muestra y mezclarse de nuevo, se hará la ranura con el acanalador y se repetirá el Punto 5.3; si el suelo sigue deslizándose sobre la taza de bronce a un número de golpes inferior a 25, no es aplicable este ensayo y deberá indicarse que el límite líquido no se puede determinar.

4.- Sáquese una tajada de suelo aproximadamente del ancho de la espátula, tomándola de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura e incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto, y colóquese en un recipiente adecuado.

Pésese y anótese. Colóquese el suelo dentro del pesa filtró en el horno a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta obtener peso constante y vuélvase a pesar tan pronto como se haya enfriado pero antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Anótese este peso, así como la pérdida de peso debida al secamiento y el peso del agua.

5.-Transfiérase el suelo sobrante en la taza de bronce a la cápsula de porcelana. Lávese y séquese la taza de bronce y el ranurador y ármese de nuevo el aparato del límite líquido para repetir el ensayo.

6.-Repítase la operación anterior por lo menos en dos ensayos adicionales, con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos:25-35;20-30;15-25.De esta manera, el alcance de las determinaciones debe ser de 10 golpes.

6.- CÁLCULOS

6.1.-Calcúlese el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje del peso del suelo secado en el horno.

- Calcúlese el porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

6.2.- Preparación de la curva de fluidez. Trácese una, "curva de fluidez" que represente la relación entre el contenido de humedad y el correspondiente número de golpes de la taza de bronce, en un gráfico de papel semilogarítmico. Con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como Abscisa sobre la escala logarítmica, la curva de flujo es una línea recta promedio, que pasa tan cerca como sea posible a través de los tres o más puntos dibujados.

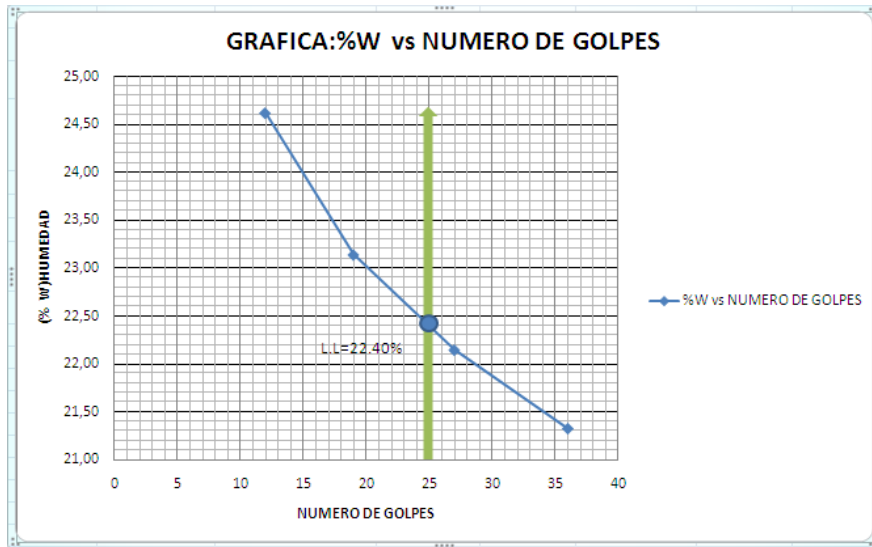
6.3.-Límite líquido. Tómese el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la curva de flujo con la ordenada de 25 golpes como límite líquido del suelo y aproxímese este valor a un número entero.

TABLA 4.3.5.2: NUMERO DE GOLPES

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
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

GRAFICO 4.3.5.2: %W vs NUMERO DE GOLPES

Nota.- La grafica %w vs Numero de Golpes se la realizar en papal logarítmico.



FUENTE: NORMA AASHTO T89-LABORATORIOS MTOP-CHIMBORAZO

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T 89
ASTM	D 4318
INEN	691

4.3.6.-DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 4318, INEN 692, AASHTO T- 90, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

1.1.-Es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo.

1.2.-Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

1.3.-Este ensayo se utiliza para el control de agregados finos que constituirán la mezcla asfáltica, Basé, subbase dentro de una construcción vial.

2.- APARATOS

2.1.- Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" - 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

2.2.- Recipiente para Almacenaje

2.3.- Balanza, con aproximación a 0.01 g.

2.4.- Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

2.5.- Tamiz, de 425 μm (N° 40).

2.6.- Agua destilada.

2.7.- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.

2.8.- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

3.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

3.1.- Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 425 μm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 gr a 2,0 gr de dicha esfera como muestra para el ensayo.

- El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.

3.2 .- Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añada más agua.

4. -PROCEDIMIENTO

1.- Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

2.-Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

•El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

3.-La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma.

4.- Se repite, con la otra mitad de la masa.

5. -CÁLCULOS

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados para la precisión de un operador.

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua de suelo}}{\text{P. secado al horno}} \times 100$$

6. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$\text{I.P.} = \text{LL.} - \text{LP.}$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

L.P. = Límite Plástico

I.P. = Índice de plasticidad

L.L. y L.P., son números enteros

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T 90
ASTM	D 4318
INEN	691

4.3.7.- COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO (PROCTOR MODIFICADO)

Este ensayo está basado en la Norma ASTM D 1557-AASHTO T180, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad.

Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados finos y gruesos que constituirán la mezcla asfáltica del pavimento flexible, dentro de una construcción vial.

1.1.-Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³).

Nota 1: Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

Nota 2: El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado.

1.2.-Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulg (19,0 mm).

Nota 3: Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 3/4" (19,0 mm) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción pasante la malla de 3/4"(19,0 mm), ver ensayo ASTM D 4718 ("Método de ensayo para corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas").

1.3.-Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

1.3.1.- MÉTODO "A"

1.3.1.1.- Molde.- 4 pulg. de diámetro (101,6mm)

1.3.1.2.- Material.- Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm).

1.3.1.3. -Capas.-3- 5

1.3.1.4.- Golpes por capa.- 25

1.3.1.5.- Uso.- Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm).

1.3.1.6.-Otros Usos.- Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

1.3.2.- MÉTODO "B"

1.3.2.1.- Molde.- 4 pulg. (101,6 mm) de diámetro.

1.3.2.2.- Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pulg

1.3.2.3.- Capas.- 3-5

1.3.2.4.- Golpes por capa.- 25

1.3.2.5.- Usos.- Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,75mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9,5 mm).

1.3.2.6. -Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

1.3.3.- MÉTODO "C"

1.3.3.1.- Molde.- 6 pulg. (152,4mm) de diámetro.

1.3.3.2.- Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$

1.3.3.3.- Capas.- 3- 5

1.3.3.4. Golpes por Capa.- 56

1.3.3.5. -Uso.- Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm).

1.3.4. El molde de 6 pulgadas (152,4 mm) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Nota 4: Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

1.4.-Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de fracción extra-dimensionada (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y Contenido de Agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo usando el método de ensayo ASTM D-4718.

1.5.-Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco Máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método es usado para suelos que drenan libremente el máximo Peso Unitario Seco no estará bien definida y puede

ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D-4253 (Maximum Index Density and Unit Weight of Soil Using a Vibratory Table).

1.6.-Los valores de las unidades en pulgadas-libras son reconocidos como estándar. Los valores dados en unidades del S.I. son proporcionados sólo como información.

1.6.1.-En la profesión de Ingeniería es práctica común, usar indistintamente unidades que representan Masa y Fuerza, a menos que se realicen cálculos dinámicos ($F = m \times a$). Esto implícitamente combina dos sistemas de diferentes Unidades, que son el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. Científicamente, no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de prueba se ha hecho usando unidades libra-pulgada (Sistema Gravimétrico) donde la libra (lbf) representa a la Unidad de Fuerza. El uso de libra-masa (lbm) es por conveniencia de unidades y no intentar establecer que su uso es científicamente correcto. Las conversiones son dadas en el Sistema Internacional (SI) de acuerdo al ensayo ASTM E-380 ("Practica para el uso de Unidades del Sistema Internacional SI"). El uso de balanzas que registran libra-masa (lbm) ó registran la densidad en lbm/pie³ no se debe considerar como si no concordase con esta norma.

2. RESUMEN DEL ENSAYO

Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado de 5 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 50 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 56 000 pie-lbf/pie³ (2 700 kN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos, cuando son plotados, representan una relación curvilínea conocida como curva

de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

3. APARATOS

3.1.-Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos .Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 0,200 pulg/pie (16,7 mm/m) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 2,0 pulg (50,8 mm) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 0,75 pulg. (19,0 mm), por debajo de ésta.

El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

3.2.-Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $4,000 \pm 0,016$ pulg ($101,6 \pm 0,4$ mm) de diámetro interior, una altura de $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,0333 \pm 0,0005$ pie³ (944 ± 14 cm³).

3.3.-Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $6,000 \pm 0,026$ pulg ($152,4 \pm 0,7$ mm) de diámetro interior, una altura de: $4,584 \pm 0,018$ pulg ($116,4 \pm 0,5$ mm) y un volumen de $0,075 \pm 0,0009$ pie³ ($2\ 124 \pm 25$ cm³). Un molde con las características mínimas requeridas es mostrando en Pisón ó Martillo.- Un pisón operado manualmente ó mecánicamente .El pisón debe caer libremente a una distancia

de $18 \pm 0,05$ pulg ($457,2 \pm 1,6$ mm) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será $10 \pm 0,02$ lb-m ($4,54 \pm 0,01$ kg), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D2168 (ver Nota 5). La cara golpeante del pisón deberá ser plana y circular, con un diámetro de $2,000 \pm 0,005$ pulg ($50,80 \pm 0,13$ mm), el pisón deberá ser reemplazado si la cara golpeante se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los $2,000 \pm 0,01$ pulg ($50,800 \pm 0,25$ mm).

Nota 5: Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizado sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó $0,4536$ kg ó 1N es igual a $0,2248$ libras-masa ó $0,1020$ kg.

3.4.-Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de $\frac{3}{4} \pm 1/16$ pulg ($19,0 \pm 1,6$ mm) y espaciados a 90° . Los diámetros mínimo de cada orificio de ventilación deben ser $3/8$ pulg ($9,5$ mm). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

3.5.-Pisón Mecánico Circular.- El pisón puede ser operado mecánicamente de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Debe haber $0,10 \pm 0,03$ pulg ($2,5 \pm 0,8$ mm) de espacio libre entre el pisón y la superficie interna del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D-2168. El pisón mecánico debe estar equipado con medios mecánicos capaz de soportar el pisón cuando no está en operación.

3.6.-Pisón Mecánico - Cara Seccionada.- Cuando es usado un molde de $6,0$ pulg. ($152,4$ mm), un pisón de cara seccionada puede usarse en lugar del pisón de cara

circular. La cara que contacta el espécimen tendrá la forma de un sector circular de radio igual a $2,90 \pm 0,02$ pulg. ($73,7 \pm 0,5$ mm). El pisón se operará de tal manera los orificios del sector se ubiquen en el centro del espécimen.

3.7.-Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.

3.8.-Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D - 4753 8" (Especificación, Evaluación, Selección y Elección de Balanzas y Escalas para uso en muestras de suelos y rocas"), para una aproximación de 1 gramo.

Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C) a través de la cámara de secado.

3.9.-Regla.- Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas (254 mm). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,005$ pulg ($\pm 0,1$ mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que $1/8$ pulg (3 mm).

3.10.-Tamices ó Mallas.- De $3/4$ pulg (19,0 mm), $3/8$ pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,750mm), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11

3.11.-Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

4. MUESTRA DE ENSAYO

La muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 35 lbm (16 kg) y para el Método C es aproximadamente 65 lbm (29 kg) de suelo seco. Debido a esto, la

muestra de campo debe tener un peso húmedo de al menos 50 lbm (23 kg) y 100 lbm (45 kg) respectivamente.

Determinar el porcentaje de material retenido en la malla N° 4 (4,75mm), 3/8pulg (9,5mm) ó 3/4pulg (19.0mm) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino.

Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información es deseada.

5.- PREPARACIÓN DE APARATOS

5.1.-Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación al gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.

5.2.-Chequear que el ensamblado del pisón este en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

6. PROCEDIMIENTO

1.-SUELOS:

1.1.-No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.

1.2.- Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.

1.3.-Preparar los especímenes del suelo para el ensayo

2.-Método de Preparación Húmeda (Preferido).- Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz N° 4 (4,75 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó ¾ pulg (19,0 mm), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

2.1. - Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, por adiciones de agua y mezcla (ver Nota 6). Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación.

Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener un Peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Nota 6: Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.

2.2.-Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 13 lbm (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C). Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado ò seleccionado mediante el método de ensayo ASTM D-2488 (“Método de ensayo para la descripción o identificación de suelos”) o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método ASTM D-2487 (“Método de ensayo para clasificación de Suelos”).

3.-Método de Preparación Seca.- Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C).

Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar moler las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: N°4 (4,75 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó ¾ pulg (19,0 mm). Durante la preparación del material granular que pasa la malla ¾ pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 3/8 pulg de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

3.1.- Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes

3.2.-Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A, B ó 13 libras (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes. Para los suelos secos ó adición del agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

4.-Compactación.- Después del curado si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

4.1.-Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.

4.2.-Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 200 lbm (91kg). Asegurar el plato base a un cimiento rígido. El método de enlace ó unión al cimiento rígido debe permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

4.3.- Compactar el espécimen en cinco capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulg (5 mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las cuatro primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortada. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá 1/4pulg (6

mm) de la parte superior del molde. Si la quinta capa se extiende en más de 1/4 pulg (6 mm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la quinta capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

4.4.- Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas (101,6 mm) ó 56 golpes para el molde de 6 pulgadas (152,4 mm).

Nota 7: Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

4.5.- Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5° de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

4.6.-Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

4.7.-Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones

mencionadas en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio.

4.8. -Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

4.9.-Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500 gr del material de los lados cortados.

4.10.- Después de la compactación del último espécimen, comparar los Pesos Unitarios Húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y Plotear el Peso Unitario Húmedo y Contenido de Agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el máximo Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo Peso Unitario seco.

7.-CALCULOS

7.1.-Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado. Plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos .Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación 0,1 lbf /pie³ (0,2 kN/m³) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si él es mas de 5%del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el máximo Peso Especifico y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D4718 (“Método de ensayo para la corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas”). Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

7.2. Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas

Nota 8: La curva de saturación al 100% es una ayuda en el bosquejo de la curva de compactación.

Para suelos que contienen más de 10% de finos a contenidos de agua que superan el óptimo, las dos curvas generalmente llegan a ser aproximadamente paralelas con el lado húmedo de la curva de compactación entre 92% á 95% de saturación. Teóricamente, la curva de compactación no puede trazarse a la derecha de la curva de 100% de saturación. Si esto ocurre, hay un error en la gravedad específica, en las mediciones, en los cálculos, en procedimientos de ensayo o en el ploteo.

Nota 9: La curva de 100% de saturación se denomina algunas veces como curva de relación de vacíos cero o la curva de saturación completa.

7.3.- Contenido de Agua

8.-INFORME

PRESENTACION DEL INFORME DE ACUERDO AL EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ANEXO

REFERENCIA NORMATIVA

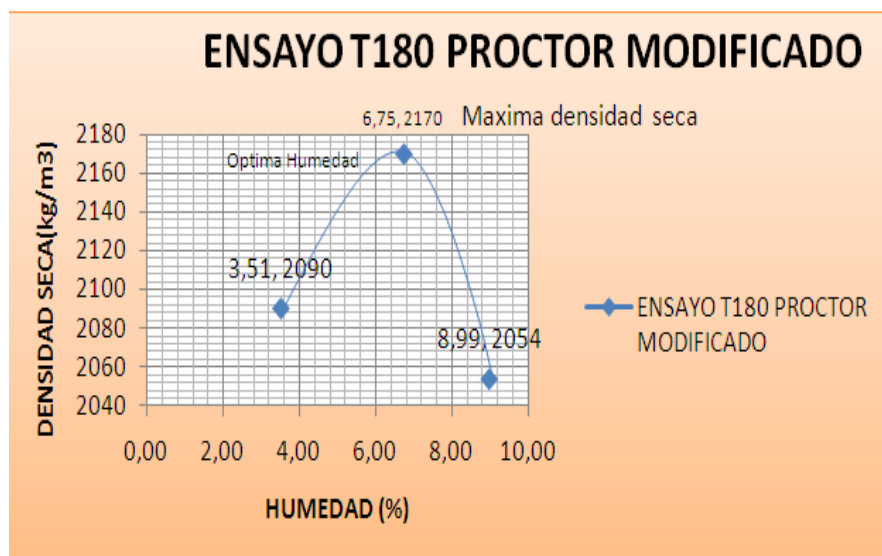
ASTM	D 1557
AASHTO	T 180

GRAFICO 4.3.7.1: MOLDES CILINDRICOS



Fuente: Norma AASHTO T180

GRAFICO 4.3.7.2: ENSAYO DE COMPACTACION



4.3.8.-COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO (PROCTOR ESTANDAR)

Este ensayo está basado en la Norma ASTM D 698-AASHTO T 99, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad.

Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados finos y gruesos que constituirán la mezcla asfáltica del pavimento flexible, dentro de una construcción vial.

1.1.-Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 5,5 lbf (24,4 N) que cae de una altura de 12 pulgadas (305 mm), produciendo un Energía de compactación de 12 400 lb-pie/pie³ (600 kN-m/m³).

1.2.-Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulg (19.0 mm).

Nota 1: Para relaciones entre Pesos Unitarios y contenido de humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 3/4" (19.0 mm) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción pasante la malla de 3/4"(19.0 mm), ver ensayo ASTM D 4718 ("Método de ensayo para corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas").

1.3.-Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

1.3.1.- METODO "A"

1.3.1.1.- Molde.- 4 pulg. De diámetro (101,6mm)

1.3.1.2.- Material.- Se emplea el que pasa por el tamiz N° 4 (4,75 mm).

1.3.1.3.- Capas.- 3 - 5

1.3.1.4.- Golpes por capa.- 25

1.3.1.5.- Uso.- Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,750 mm).

1.3.1.6.-Otros Usos.- Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

1.3.2.- METODO "B"

1.3.2.1.- Molde.- 4 pulg. (101,6 mm) de diámetro.

1.3.2.2.- Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8 pulg

1.3.2.3.- Capas.- 3 - 5

1.3.2.4.- Golpes por capa.- 25

1.3.2.5.- Usos.- Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4,750mm) y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8 pulg (9,5 mm).

1.3.2.6.- Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

1.3.3. - METODO "C"

1.3.3.1.- Molde.- 6 pulg. (152,4mm) de diámetro.

1.3.3.2.- Materiales.- Se emplea el que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm).

1.3.3.3.- Capas.- 3-5

1.3.3.4.- Golpes por Capa.- 56

1.3.3.5.- Uso.- Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz $\frac{3}{8}$ pulg (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ pulg (19,0 mm).

1.3.4. - El molde de 6 pulgadas (152,4 mm) de diámetro no será usado con los métodos A ó B.

Nota 2: Los resultados tienden a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

1.4.-Si el espécimen de prueba contiene más de 5% en peso de fracción extradimensionada (fracción gruesa) y el material no será incluido en la prueba se deben hacer correcciones al Peso Unitario y contenido de agua del espécimen de ensayo ó la densidad de campo usando el método de ensayo ASTM D-4718.

1.5.-Este método de prueba generalmente producirá un Peso Unitario Seco máximo bien definido para suelos que no drenan libremente. Si el método es usado para suelos que drenan libremente el máximo Peso Unitario Seco no estará bien definida y puede ser menor que la obtenida usando el Método de Prueba ASTM D-4253 (Maximum Index Density and Unit Weight of Soil Using a Vibratory Table).

1.6.- Los valores de las unidades en pulgadas-libras son reconocidos como estándar. Los valores dados en unidades del S.I. son proporcionados sólo como información.

1.6.1.-En la profesión de Ingeniería es práctica común, usar indistintamente unidades que representan Masa y Fuerza, a menos que se realicen cálculos dinámicos ($F = m \times a$). Esto implícitamente combina dos sistemas de diferentes Unidades, que son el Sistema Absoluto y el Sistema Gravimétrico. Científicamente, no se desea combinar el uso de dos sistemas diferentes en uno estándar. Este método de prueba se ha hecho usando unidades libra-pulgada (Sistema Gravimétrico) donde la libra (lbf) representa a la Unidad de Fuerza. El uso de libra-masa (lbm) es por conveniencia de unidades y no intentar establecer que su uso es científicamente correcto. Las conversiones son dadas en el Sistema Internacional (SI) de acuerdo al ensayo ASTM E-380 ("Practica para el uso de Unidades del Sistema Internacional SI"). El uso de balanzas que registran libra-masa (lbm) ó registran la densidad en lbm/pie³ no se debe considerar como si no concordase con esta norma.

2. RESUMEN DEL ENSAYO

2.1.- Un suelo con un contenido de Humedad determinado es colocado en 3 capas dentro de un molde de ciertas dimensiones, cada una de las capas es compactada en 25 golpes con un pisón de 5,5 lbf (24,4 N) desde una altura de caída de 12 pulgadas (305 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aproximadamente de 12 400 pie-lbf/pie³ (600 kN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el contenido de agua del suelo. Estos datos, cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como

curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo Peso Unitario Seco Modificado son determinados de la Curva de Compactación.

3. APARATOS

3.1.- Ensamblaje del Molde.- Los moldes deben de ser cilíndricos hechos de materiales rígidos. Las paredes del molde deberán ser sólidas, partidas o ahusadas. El tipo “partido” deberá tener dos medias secciones circulares, o una sección de tubo dividido a lo largo de un elemento que se pueda cerrar en forma segura formando un cilindro que reúna los requisitos de esta sección. El tipo “ahusado” debe tener un diámetro interno tipo tapa que sea uniforme y no mida más de 0.200 pulg/pie (16,7 mm/m) de la altura del molde. Cada molde tiene un plato base y un collar de extensión ensamblado, ambos de metal rígido y contruidos de modo que puedan adherir de forma segura y fácil de desmoldar. El ensamblaje collar de extensión debe tener una altura que sobrepase la parte más alta del molde por lo menos 2,0 pulg (50,8mm) con una sección superior que sobrepasa para formar un tubo con una sección cilíndrica recta de por lo menos 0,75 pulg. (19,0mm), por debajo de ésta.

El collar de extensión debe de alinearse con el interior del molde, la parte inferior del plato base y del área central ahuecada que acepta el molde cilíndrico debe ser plana.

3.1.1.-Molde de 4 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $4,000 \pm 0,016$ pulg (101,6 \pm 0,4 mm) de diámetro interior, una altura de $4,584 \pm 0,018$ pulg (116,4 \pm 0,5 mm) y un volumen de $0,0333 \pm 0,0005$ pie³ (944 \pm 14 cm³).

3.1.2.-Molde de 6 pulgadas.- Un molde que tenga en promedio $6,000 \pm 0,026$ pulg (152,4 \pm 0,7 mm) de diámetro interior, una altura de: $4,584 \pm 0,018$ pulg (116,4 \pm 0,5mm) y un volumen de $0,075 \pm 0,0009$ pie³ (2 124 \pm 25 cm³).

3.2.-Pisón ó Martillo.-Un pisón operado manualmente ó mecánicamente. El pisón debe caer libremente a una distancia de $12 \pm 0,05$ pulg (304.8 \pm 1,3 mm) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será $5,5 \pm 0,02$ lb-m (2,5 \pm 0,01 kg), salvo que la

masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D2168 (ver Nota 3). La cara golpeante del pisón deberá ser plana y circular. Con un diámetro de $2,000 \pm 0,005$ pulg ($50,80 \pm 0,13$ mm). El pisón deberá ser reemplazado si la cara golpeante se desgasta ó se deforma al punto que el diámetro sobrepase los $2,000 \pm 0,01$ pulg ($50,800 \pm 0,25$ mm).

Nota 3: Es práctica común y aceptable en el Sistema de libras-pulgadas asumir que la masa del pisón es igual a su masa determinada utilizado sea una balanza en kilogramos ó libras, y una libra-fuerza es igual a 1 libra-masa ó $0,4536$ kg ó $1N$ es igual a $0,2248$ libras-masa ó $0,1020$ kg.

3.2.1.-Pisón Manual.- El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sean restringidas. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de $\frac{3}{4} \pm 1/16$ pulg ($19,0 \pm 1,6$ mm) y espaciados a 90° . Los diámetros mínimo de cada orificio de ventilación deben ser $3/8$ pulg ($9,5$ mm). Orificios adicionales ó ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

3.2.2.-Pisón Mecánico Circular.- El pisón puede ser operado mecánicamente de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen. Debe haber $0,10 \pm 0,03$ pulg ($2,5 \pm 0,8$ mm) de espacio libre entre el pisón y la superficie interna del molde en su diámetro más pequeño. El pisón mecánico debe cumplir los requisitos de calibración requeridos por el Método de Ensayo ASTM D-2168. El pisón mecánico debe estar equipado con medios mecánicos capaz de soportar el pisón cuando no está en operación.

3.2.3.-Pisón Mecánico - Cara Seccionada.- Cuando es usado un molde de $6,0$ pulg. ($152,4$ mm), un pisón de cara seccionada puede usarse en lugar del pisón de cara circular. La cara que contacta el espécimen tendrá la forma de un sector circular de

radio igual a $2,90 \pm 0,02$ pulg. ($73,7 \pm 0,5$ mm). El pisón se operará de tal manera los orificios del sector se ubiquen en el centro del espécimen.

3.3.-Extractor de Muestras (opcional).- Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.

3.4.-Balanza.- Una balanza de tipo GP5 que reúna los requisitos de la Especificación ASTM D -4753 8” Especificación, Evaluación, Selección y Elección de Balanzas y Escalas para uso en muestras de suelos y rocas”), para una aproximación de 1 gramo.

3.5.-Horno de Secado.- Con control termostático preferiblemente del tipo de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C) a través de la cámara de secado.

3.6.-Regla.- Una regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas (254 mm). La longitud total de la regla recta debe ajustarse directamente a una tolerancia de $\pm 0,005$ pulg ($\pm 0,1$ mm). El borde de arrastre debe ser biselado si es más grueso que $1/8$ pulg (3 mm).

3.7.-Tamices ó Mallas.- De $3/4$ pulg (19,0 mm), $3/8$ pulg (9,5 mm) y N° 4 (4,75mm), conforme a los requisitos de la especificaciones ASTM E11 (“Especificación para mallas metálicas con fines de ensayo”).

3.8.-Herramientas de Mezcla.- Diversas herramientas tales como cucharas, mezclador, paleta, espátula, botella de spray, etc. ó un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

4.-MUESTRA DE ENSAYO

4.1.-La muestra requerida para el Método A y B es aproximadamente 35 lbm (16 kg) y para el Método C es aproximadamente 65 lbm (29 kg) de suelo seco. Debido a esto, la

muestra de campo debe tener una muestra húmeda de al menos 50 lbm (23 kg) y 100 lbm (45 kg) respectivamente.

4.2.-Determinar el porcentaje de material retenido en la malla N° 4 (4,750 mm), 3/8pulg (9,5 mm) ó 3/4pulg (190 mm) para escoger el Método A, B ó C. Realizar esta determinación separando una porción representativa de la muestra total y establecer los porcentajes que pasan las mallas de interés mediante el Método de Análisis por tamizado de Agregado Grueso y Fino .Sólo es necesario para calcular los porcentajes para un tamiz ó tamices de las cuales la información es deseada.

5.-PREPARACIÓN DE APARATOS

5.1.-Seleccionar el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación al gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Chequear el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.

5.2.-Chequear que el ensamblado del pisón este en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas ó gastado. Realizar cualquier ajuste ó reparación necesaria. Si los ajustes ó reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

6.-PROCEDIMIENTO

1.-SUELOS:

1.1.- No vuelva a usar el suelo que ha sido compactado previamente en Laboratorio.

1.2.- Utilice el método de preparación húmedo y cuando se ensaye con suelos que contienen hallosita hidratada o donde la experiencia con determinados suelos indica que los resultados pueden ser alterados por el secado al aire.

1.3.-Preparar los especímenes del suelo para el ensayo

2.-Método de Preparación Húmeda (Preferido).- Sin secado previo de la muestra, pásela a través del tamiz N° 4 (4,75 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó 3/4 pulg (19,0 mm), dependiendo del Método a ser usado (A, B ó C). Determine el contenido de agua del suelo procesado.

2.1.-Prepare mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes con contenidos de agua de modo que éstos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado. Un espécimen que tiene un contenido de humedad cercano al óptimo deberá ser preparado primero, por adiciones de agua y mezcla .Seleccionar los contenidos de agua para el resto de los especímenes de tal forma que resulten por lo menos dos especímenes húmedos y dos secos de acuerdo al contenido óptimo de agua, que varíen alrededor del 2%. Como mínimo es necesario dos contenidos de agua en el lado seco y húmedo del óptimo para definir exactamente la curva de compactación Algunos suelos con muy alto óptimo contenido de agua ó una curva de compactación relativamente plana requieren grandes incrementos de contenido de agua para obtener una bien definida para obtener un peso Unitario Seco Máximo bien definido. Los incrementos de contenido de agua no deberán excederán de 4%.

Nota 4: Con la práctica es posible juzgar visualmente un punto cercano al óptimo contenido de agua. Generalmente, el suelo en un óptimo contenido de agua puede ser comprimido y quedar así cuando la presión manual cesa, pero se quebrará en dos secciones cuando es doblada. En contenidos de agua del lado seco del óptimo, los suelos tienden a desintegrarse; del lado húmedo del óptimo, se mantienen unidos en una masa cohesiva pegajosa. El óptimo contenido de humedad frecuentemente es ligeramente menor que el límite plástico.

2.2.- Usar aproximadamente 5 lbm (2,3 kg) del suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando el Métodos A ó B; ó 13 lbm (5,9 kg) cuando

se emplee el Método C. Para obtener los contenidos de agua del espécimen que se indica en 9.2.1, añada o remueva las cantidades requeridas de agua de la siguiente manera: Añada poco a poco el agua al suelo durante la mezcla; para sacar el agua, deje que el suelo se seque en el aire a una temperatura de ambiente o en un aparato de secado de modo que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C). Mezclar el suelo continuamente durante el proceso de secado para mantener la distribución del agua en todas partes y luego colóquelo aparte en un contenedor con tapa y ubíquelo de acuerdo con la Tabla N°1 antes de la compactación. Para seleccionar un tiempo de espera, el suelo debe ser clasificado o seleccionado mediante el método de ensayo ASTM D-2488 (“Método de ensayo para la descripción o identificación de suelos”) o mediante datos de otras muestras del mismo material de origen. Para ensayos de determinación, la clasificación deberá ser por Método ASTM D-2487 (“Método de ensayo para clasificación de Suelos”).

3.-Método de Preparación Seca.- Si la muestra está demasiado húmeda, reducir el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 140 °F (60 °C).

Disgregar por completo los grumos de tal forma de evitar moler las partículas individuales. Pasar el material por el tamiz apropiado: N° 4 (4,750 mm), 3/8 pulg (9,5 mm) ó ¾ pulg (19,0 mm). Durante la preparación del material granular que pasa la malla 3/4pulg para la compactación en el molde de 6 pulgadas, disgregar o separar los agregados lo suficientemente para que pasen el tamiz 3/8 pulg de manera de facilitar la distribución de agua a través del suelo en el mezclado posterior.

3.1.- Preparar mínimo cuatro (preferiblemente cinco) especímenes de acuerdo con

3.2.- Usar aproximadamente 5 lb (2,3 kg) del suelo tamizado para cada espécimen a ser compactado cuando se emplee el Método A , B ó 13 libras (5,9 kg) cuando se emplee el Método C. Añadir las cantidades requeridas de agua para que los contenidos de agua de los especímenes Para los suelos secos ó adición del agua en el suelo y el curado de cada espécimen de prueba.

4.-Compactación.- Después del curado si se requiere, cada espécimen se compactará de la siguiente manera:

4.1.- Determinar y anotar la masa del molde ó molde y el plato de base.

4.2.- Ensamble y asegure el molde y el collar al plato base. El molde se apoyará sobre un cimiento uniforme y rígido, como la proporcionada por un cilindro o cubo de concreto con una masa no menor de 200 lbm (91 kg). Asegurar el plato base a un cimiento rígido.

Cimiento rígido debe permitir un desmolde fácil del molde ensamblado, el collar y el plato base después que se concluya la compactación.

4.3.-Compactar el espécimen en tres capas. Después de la compactación, cada capa deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Antes de la compactación, colocar el suelo suelto dentro del molde y extenderlo en una capa de espesor uniforme. Suavemente apisonar el suelo antes de la compactación hasta que este no esté en estado suelto o esponjoso, usando el pisón manual de compactación o un cilindro de 2 pulg (5 mm) de diámetro. Posteriormente a la compactación de cada uno de las dos primeras capas, cualquier suelo adyacente a las paredes del molde que no han sido compactados o extendido cerca de la superficie compactada será recortado. El suelo recortado puede ser incluido con el suelo adicional para la próxima capa. Un cuchillo ú otro aparato disponible puede ser usado. La cantidad total de suelo usado será tal que la quinta capa compactada se extenderá ligeramente dentro del collar, pero no excederá ¼ pulg (6 mm)

de la parte superior del molde. Si la tercera capa se extiende en más de $\frac{1}{4}$ pulg (6 mm) de la parte superior del molde, el espécimen será descartado. El espécimen será descartado cuando el último golpe del pisón para la tercera capa resulta por debajo de la parte superior del molde de compactación.

4.4. -Compactar cada capa con 25 golpes para el molde de 4 pulgadas (101,6 mm) ó 56 golpes para el molde de 6 pulgadas (152,4 mm).

Nota 5: Cuando los especímenes de compactación se humedecen más que el contenido de agua óptimo, pueden producirse superficies compactadas irregulares y se requerirá del juicio del operador para la altura promedio del espécimen.

4.5.- Al operar el pisón manual del pisón, se debe tener cuidado de evitar la elevación de la guía mientras el pisón sube. Mantener la guía firmemente y dentro de 5 de la vertical. Aplicar los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes/minuto y de tal manera que proporcione una cobertura completa y uniforme de la superficie del espécimen.

4.6.- Después de la compactación de la última capa, remover el collar y plato base del molde. El cuchillo debe usarse para ajustar o arreglar el suelo adyacente al collar, soltando el suelo del collar y removiendo sin permitir el desgarro del suelo bajo la parte superior del molde.

4.7.- Cuidadosamente enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. Un corte inicial en el espécimen en la parte superior del molde con un cuchillo puede prevenir la caída del suelo por debajo de la parte superior del molde. Rellenar cualquier hoyo de la superficie, con suelo no usado o despejado del espécimen, presionar con los dedos y vuelva a raspar con la regla recta a través de la parte superior e inferior del molde. Repetir las operaciones

mencionadas en la parte inferior del espécimen cuando se halla determinado el volumen del molde sin el plato base. Para suelos muy húmedos o muy secos, se perderá suelo o agua si el plato se remueve. Para estas situaciones, dejar el plato base fijo al molde. Cuando se deja unido el plato base, el volumen del molde deberá calibrarse con el plato base unido al molde o a un plato de plástico o de vidrio.

4.8.- Determine y registre la masa del espécimen y molde con aproximación al gramo. Cuando se deja unido el plato base al molde, determine y anote la masa del espécimen, molde y plato de base con aproximación al gramo.

4.9.-Remueva el material del molde. Obtener un espécimen para determinar el contenido de agua utilizando todo el espécimen (se refiere este método) o una porción representativa. Cuando se utiliza todo el espécimen, quíbrelo para facilitar el secado. De otra manera se puede obtener una porción cortando axialmente por el centro del espécimen compactado y removiendo 500gr del material de los lados cortados.

5.-Después de la compactación del último espécimen, comparar los pesos unitarios húmedos para asegurar que el patrón deseado de obtención de datos en cada lado del óptimo contenido de humedad sea alcanzado en la curva de compactación para cada Peso Unitario Seco y Plotear el Peso Unitario Húmedo y contenido de agua de cada espécimen compactado puede ser una ayuda para realizar esta evaluación. Si el patrón deseado no es obtenido, serán necesarios compactar especímenes adicionales. Generalmente, un valor de contenido de agua mayor que el contenido de agua definido por el máximo Peso Unitario Húmedo es suficiente para asegurar los datos del lado más húmedo que el óptimo contenido de agua para el máximo Peso Unitario seco.

7.-CALCULOS

7.1.-Calcule el Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para cada espécimen compactado. Plotee los valores y dibuje la curva de compactación como una curva suave a través de los puntos Plotee el Peso Unitario Seco con aproximación 0,1 lbf /pie³ (0,2 kN/m³) y contenido de agua aproximado a 0,1%. En base a la curva de compactación, determine el Óptimo Contenido de Agua y el Peso Unitario Seco Máximo. Si más de 5% en peso del material sobredimensionado (tamaño mayor) fue removido de la muestra, calcular el máximo

Peso Especifico y óptimo contenido de Humedad corregido del material total usando la Norma ASTM D 4718 (“Método de ensayo para la corrección del Peso Unitario y Contenido de Agua en suelos que contienen partículas sobredimensionadas”). Esta corrección debe realizarse en el espécimen de ensayo de densidad de campo, más que al espécimen de ensayo de laboratorio.

7.2. Plotear la curva de saturación al 100%. Los valores de contenido de agua para la condición de 100% de saturación puede ser calculadas

7.3. Contenido de Agua, w

7.4. Peso Unitario Seco

REFERENCIA NORMATIVA

ASTM

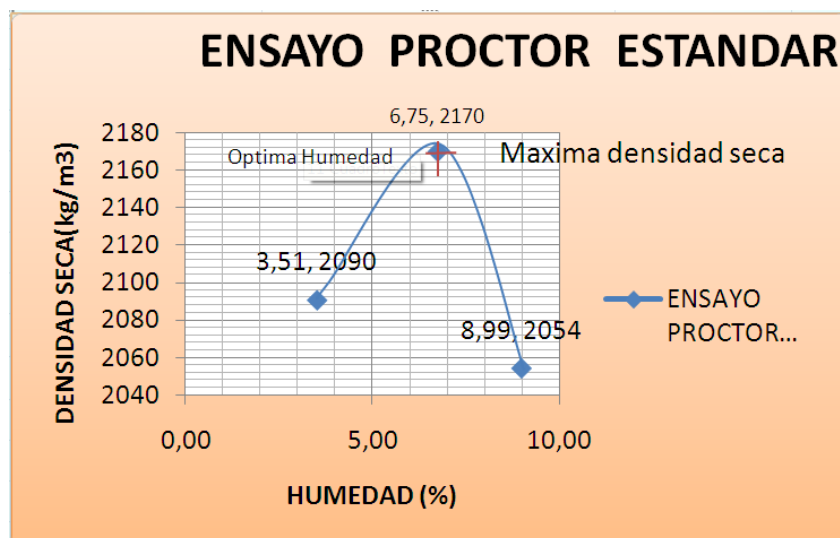
D 698

GRAFICO 4.3.8.1: MOLDES CILINDRICOS



Fuente: Norma AASHTO T 99

GRAFICO 4.3.8.2: ENSAYO DE COMPACTACION



4.3.9.-ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LOS SUELOS EN EL CAMPO POR EL METODO DEL CONO DE ARENA.

Este ensayo está basado en la Norma ASTM D 1556, AASHTO T 191-74, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

1.1.- Esta norma de ensayo establece el método de ensayo estándar para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.

1.2.-Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán la obra básica (base, subbase), dentro de una construcción vial.

2.-ALCANCE

2.1.- Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg. (38 mm).

2.2.-Cualquier suelo u otro material, que pueda ser excavado con herramientas de mano, puede ser ensayado siempre que los vacíos o aberturas de los poros en la masa sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material a ensayarse deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación.

Este deberá ser lo suficientemente firme y consistente para soportar las pequeñas presiones ejercidas al excavar el hoyo y colocar el aparato sobre él, sin que se deforme o se caiga.

2.3.- Este método de ensayo no es adecuado para suelos orgánicos, saturados o altamente plásticos que podrían deformarse o comprimirse durante la excavación del hoyo de ensayo. Este método de ensayo puede no ser adecuado para suelos que contengan materiales granulares dispersos que no mantengan los lados estables en el orificio de ensayo; tampoco para suelos que contengan una cantidad considerable de material grueso mayor de 1 ½ pulg. (38 mm), ni para suelos granulares que tengan altos porcentajes de vacíos.

3.- RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

3.1.- Se cava a mano un orificio de prueba en el suelo donde se va a ensayar y todo el material extraído del orificio es recuperado en un contenedor. Se llena el orificio con arena de densidad conocida en caída libre y se determina el volumen. La densidad húmeda del suelo in situ se determina dividiendo la masa húmeda del material removido entre el volumen del orificio. Se determina el contenido de humedad del material del orificio y se calcula la masa seca del material y la densidad seca del lugar, utilizando la masa húmeda del suelo, el contenido de humedad y el volumen del orificio.

Nota 1.- Cuando se efectúa la prueba en suelos blandos condiciones suaves o en suelos que se acercan a la saturación. Pueden ocurrir cambios de volumen en el orificio excavado, como un resultado de la carga superficial debido al personal que se encuentra realizando la prueba o similares.

Muchas veces esto se puede evitar utilizando una plataforma que debe estar apoyada a cierta distancia del orificio. Como no siempre es posible detectar cuando tiene lugar un cambio de volumen, los resultados de la prueba siempre deben compararse con la densidad de saturación teórica o la línea de cero vacíos de aire sobre la curva de densidad seca versus contenido de humedad.

Cualquier prueba de densidad in situ en suelos compactados cuya saturación excede el 95% es un indicio de que se ha cometido un error, o que el volumen del orificio ha variado durante la prueba.

4.- APARATOS

4.1.- El aparato de Densidad, consiste en lo siguiente:

4.1.1.- Un frasco desarmable u otro contenedor de arena que tenga una capacidad de volumen que exceda el volumen requerido para llenar el orificio de prueba y el aparato durante la prueba.

4.1.2.- Un aparato desarmable que consiste en una válvula cilíndrica con un orificio de ½" (13 mm) de diámetro, presentando en un extremo un pequeño cono de metal conectado a un frasco en un extremo y a un embudo (cono) en el otro extremo. La válvula debe tener un freno (seguro) para prevenir la rotación de una posición completamente abierta a otra completamente cerrada.

4.1.3.- Una placa metálica cuadrada ó rectangular, con un hueco central con borde para recibir el embudo grande (cono) del aparato. La placa debe ser plana en la base y tener suficiente rigidez, con un espesor de 3/8" a 1/2" (10 a 13mm).

4.1.4.- Los detalles del aparato y representan las dimensiones mínimas aceptables y adecuadas para ensayar suelos que tienen un tamaño máximo de 2" (50mm) y volumen del hueco de ensayo de aproximadamente 0.1 pie³ (2 830cm³). Cuando el material a ensayarse contiene un pequeño porcentaje de partículas extra-dimensionadas y alargadas, el ensayo puede ser trasladado a una nueva ubicación.

Se necesitan aparatos y volúmenes del hueco de prueba más grandes cuando prevalecen las partículas mayores que 2" (50 mm).

4.2.- Arena:

Deberá ser limpia, uniforme, seca, no cementada, durable y que discurra libremente

4.3.- Balanzas. Una balanza de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de 1.g

4.4.- Equipo de Secado.

Controlado termostáticamente, capaz de mantenerse a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), para determinar el contenido de humedad de la muestra extraída del hoyo.

4.5.- Equipo Diverso.

Cuchillo, pico pequeño, cincel, espátula pequeña, destornillador o cucharas para excavar el hoyo del ensayo, cubos con tapa, latas de estaño sin costuras laterales ó de aluminio con tapa, costales plásticos u otro recipiente adecuado para retener la densidad y humedad de la muestra y la densidad de la arena; termómetro para la determinación de la temperatura del agua, brocha pequeña, calculadora, libreta de apuntes, etc.

5.-PROCEDIMIENTO

1.- Seleccione una ubicación/elevación que sea representativa del área que se va a probar y determiné la densidad del suelo in-situ de la siguiente manera:

1.1.- Inspeccione el cono por si hubiera algún daño, la rotación libre de la válvula y cerciórese de que el plato de base funcione apropiadamente. Llene el contenedor del cono con la arena condicionada para la cual ya se ha determinado la densidad, y determine la masa total.

1.2.- Prepare la superficie del sitio que se va a ensayar de tal manera que sea un plano nivelado. Él plato de base debe utilizarse como una herramienta para remover la superficie a un plano de nivel suave.

1.3.- Coloque el plato de base sobre la superficie plana, asegurándose de que existe contacto con la superficie del terreno alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno del plato de base para revisar el movimiento durante la prueba y, si es

necesario, asegure el plato contra el movimiento que se cause utilizando clavos insertados dentro del suelo adyacente al filo del plato, o en otros términos, sin disturbar el suelo que se va a probar.

1.4.- En suelos donde la nivelación no es exitosa o la superficie presenta vacíos, el volumen que se expulsa horizontalmente y que está limitado por el embudo, el plato y la superficie del terreno debe determinarse mediante un ensayo preliminar. Llene el espacio con arena del aparato, determine la masa de la arena utilizada para llenar el espacio, rellene el aparato y determine una nueva masa .Inicial del mismo y de la arena antes de proceder con la prueba. Después de que se complete esta medida, limpie cuidadosamente con una brocha la arena que queda sobre la superficie preparada (véase Nota 2).

Nota N° 02.- Puede tomarse un segundo aparato calibrado para el campo cuando se anticipa esta condición (en vez de volver a llenar o hacer una segunda determinación). Puede utilizarse el procedimiento en 7.1.4. Para cada prueba cuando se desea la mayor producción donde se pueda obtener una superficie relativamente suave.

1.5.-Cave el hoyo de prueba a través del orificio central en el plato de base, teniendo cuidado de evitar que se disturbe o se deforme el suelo que delimitará el orificio. Los volúmenes del orificio de prueba serán tan grandes como para que sean prácticos y minimicen los errores, y en ningún caso serán más pequeños que los volúmenes indicados en la Tabla para el tamaño máximo de la partícula del suelo removido del orificio de prueba. Los lados del orificio deben inclinarse levemente hacia adentro, y la parte central debe ser razonablemente plana o cóncava. El orificio debe mantenerse lo más libre posible de vacíos, salientes y obstrucciones fluidas ya que esto afectaría la exactitud de la prueba. Los suelos que son esencialmente

granulares requieren extremo cuidado y también requieren que se cabe un orificio de prueba de forma cónica. Coloque todo el suelo excavado y cualquier otro suelo que se haya soltado durante la excavación, en un contenedor hermético que esté marcado para identificar el número de prueba. Tenga cuidado de evitar la pérdida de cualquier material. Proteja este material de cualquier pérdida de humedad hasta que se haya determinado la masa y se haya obtenido la muestra para la determinación del contenido de agua.

TABLA 4.3.9.1

Volúmenes Mínimos del Hoyo de Ensayo Basados en el Tamaño Máximo de la Partícula

Tamaño Máximo de la partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	Mm	cm ³	pies ³
½	12.5	1420	0.05
1	25.0	2120	0.075
2	50.0	2830	0.1

1.6.-Limpie el borde del orificio del plato base, voltee el aparato de cono de arena y coloque el embudo del mismo en un orificio rebordeado en la misma posición que se marcó durante la calibración (véase Anexo A1). Elimine o minimice en el área de prueba las vibraciones que pueda causar el personal que realiza la prueba o el equipo que se utiliza. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y el plato base. Trate de evitar que el aparato se sacuda o vibre mientras la arena está corriendo. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.

1.7.-Determine la masa del aparato con la arena restante, regístrela y calcule la masa de la arena utilizada.

1.8.-Determine y registre la masa del material húmedo que se extrajo del orificio de prueba. Cuando se requiera correcciones del material de mayor tamaño, determine la masa de este material en la malla apropiada y regístrela, teniendo cuidado de evitar pérdidas de humedad.

1.9.-Mezcle el material cuidadosamente y obtenga un espécimen representativo para determinar el contenido de húmedo o, en todo caso, utilice una muestra completa.

1.10.-Determine el contenido de humedad de acuerdo al Método de Ensayo correspondiente

2.-os especímenes para el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionados de tal manera que representen todo el material obtenido del orificio de prueba. La masa mínima de la muestra para determinar el contenido de agua es aquella que se requiere para dar valores del contenido de humedad exactos al 1%.

6.- RECOMENDACIONES PARA EL ENSAYO:

- El ensayo de densidad de campo no es adecuado para suelos orgánicos, saturados o altamente plásticos que podrían deformarse o comprimirse durante la excavación del hoyo de ensayo. Este método de ensayo puede no ser adecuado para suelos que contengan materiales granulares dispersos que no mantengan los lados estables en el orificio de ensayo; tampoco para suelos que contengan una cantidad considerable de material grueso mayor de 1 ½ pulg. (38 mm), ni para suelos granulares que tengan altos porcentajes de vacíos.
- La arena utilizada en el ensayo de densidad de campo para ser nuevamente usada, deberá estar libre de cualquier suelo contaminante, verificarse su gradación y secarla.

7.- CÁLCULOS

1.-Los cálculos mostrados son en gramos para la masa y en centímetros cúbicos para el volumen. Se permite otras unidades siempre y cuando cuenten con los factores apropiados de conversión; esto es para mantener cuidadosamente la consistencia de las unidades de cálculo.

2.-Calcule el volumen del orificio de prueba de la siguiente manera:

$$V = (M1 - M2) / \rho_1$$

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm³.

M1 = masa de la arena utilizada para llenar el orificio de prueba.

M2 = masa de la arena utilizada para llenar el embudo y el plato de base, g.

ρ_1 = densidad del volumen de la arena g/cm³.

3.-Calcule la masa seca del material extraído del orificio de prueba tal como sigue:

$$M4 = 100 M3 / (w + 100)$$

Donde:

W = contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, %

M3 = masa húmeda del material del hueco de ensayo, g

M4 = masa seca del material del hueco de ensayo, g.

4.-Calcule la densidad húmeda y seca in-situ del material ensayado de la siguiente manera:

$$\rho_m = M3 / V$$

$$\rho_d = M4 / V$$

Donde:

V = volumen del orificio de prueba, cm³

M3 = masa húmeda del material del orificio de prueba, g

- M4 = masa seca del material del orificio de prueba, g
 ρ_m = densidad húmeda del material probado, o su peso unitario húmedo γ_m
 ρ_d = densidad seca del material probado, o su peso unitario seco γ_d , en g/cm³.

5.- Es preferible expresar la densidad in-situ como un porcentaje de alguna otra densidad, por Ejemplo, las densidades de laboratorio determinadas de acuerdo a los Métodos de Ensayo ASTM D4253 ó ASTM D4254 AASHTO T-99. Esta relación puede determinarse dividiendo la densidad in-situ entre la densidad de laboratorio y multiplicándola por 100.

8.- PRECISIÓN Y CONFIABILIDAD

8.1.-Establecimiento de la Presión - Debido a la naturaleza del suelo o de los materiales rocosos que se probaron mediante este método, aún no es posible, o en todo caso sería muy costoso en estos momentos, producir especímenes múltiples que tengan propiedades físicas uniformes. Cualquier variación que se observe en los datos es sólo una probabilidad que se debe a la variación del espécimen o al operador, o una variación de la prueba de laboratorio.

8.2.-Establecimiento de la Confiabilidad - No existe un valor de referencia aceptado para este método de ensayo, por lo tanto, la confiabilidad no puede ser determinada.

REFERENCIA NORMATIVA

ASTM D	1556
AASHTO	T 191-74

GRAFICO 4.3.9.1: APARATO DE DENSIDAD DE CAMPO



ARENA DE OTAWA CANADÁ



FUENTE: NORMA AASHTO T191-LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS MTOP-CHIMBORAZO

4.3.10.-ENSAYO DE PENETRACIÓN S.P.T.

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 1586 y AASHTO T 206, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.-OBJETIVO

Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para hincar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra, representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador. Puede ser usado en cualquier suelo con bajo contenido de gravas, pero su mayor confiabilidad esta dado para suelos arenosos.

Este ensayo se utiliza para el control de agregados finos y gruesos que constituirán la mezcla asfáltica del pavimento flexible, dentro de una construcción vial.

2. -APARATOS

Equipo de perforación. Será aceptable cualquier equipo de perforación, de potencia y características tales que produzca los resultados deseados. Las siguientes piezas del equipo se consideran satisfactorias para el avance de una perforación en el subsuelo.

- Las brocas o puntas cola de pescado, cincel, estrella, aguda, etc., con diámetros menores de 162 mm (6,5") y mayores de 56 mm (2,2"), pueden emplearse con equipo de perforación.

- Los barrenos, de espiral continua, para huecos superficiales, con o sin un dispositivo de broca en el centro, pueden emplearse para perforar el hueco. El diámetro interior de las barrenas de vástago vacío deberá ser menor de 162 mm (6,5") y Mayor de 56 mm (2,2").

- Los barrenos u hoyadores manuales, de cuchara sólida, carrera continua, menores de 162 mm (6,5") y mayores de 56 mm (2,2") de diámetro, pueden emplearse si el suelo del hueco no se derrumba formando cavidades y atascando el "muestreador" o los tubos de perforación durante el muestreo.

- Varillas (tubería) para muestreo. Tubos de perforación de acero con uniones para conectar el "muestreador" de tubo partido al cabezote y la gula, sobre los cuales cae la pesa (martillo).

"Muestreador" de tubo partido

Martinete o equipo de hincado

- Martillo y Yunque. El martillo, deberá pesar 63.5 ± 1 kg (140 ± 2 libras) y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el yunque y poner en contacto el acero con el acero cuando cae. Deberá emplearse una guía para permitir caída libre. Los martillos empleados con malacate y cable deberán tener una capacidad libre de levantamiento de por lo menos 100 mm (4"). Por razones de seguridad, se aconseja el empleo de un dispositivo de martillo con yunque interior.
- Sistema de caída del martillo. Puede emplearse el sistema malacate o tambor, cable de recorrido, semiautomático, o sistema automático de caída del martillo, previniendo que la caída del dispositivo no cause penetración del muestreador mientras se ajusta y se levanta el martillo.

Equipo accesorio. Deben proporcionarse accesorios tales como etiquetas y crayolas, recipientes para muestras, parafina, hojas para datos y dispositivos para medir el nivel freático de acuerdo con las exigencias del proyecto.

3. -PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN

1.- Deberá hacerse avanzar la perforación por incrementos, de manera que permita una toma de muestras intermitente o continua, los intervalos y profundidades de ensayos son establecidos por el Ingeniero o Geólogo responsable. Típicamente, el intervalo escogido es de 1,5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con su muestreo o en cada variación de los estratos.

2.-Se aceptará cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable, antes de insertar el “muestreador” y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados.

Deberán considerarse las condiciones subterráneas, esperadas cuando se escoge el método de perforación. Los procedimientos siguientes pueden considerarse aceptables:

- Método para efectuar la perforación mediante rotación y lavado (comúnmente con revestimiento).
- Método continuo mediante una barrena de espiral con vástago vacío.
- Método con lavado, Comúnmente con camisa de revestimiento.

3.- Algunos métodos de perforación producen sondajes inaceptables. No se permitirá el proceso de inyectar agua a través de un tubo muestreador abierto y cuando se alcanza la profundidad deseada, tomar la muestra. Tampoco deberá avanzar el revestimiento por debajo de la profundidad de muestreo antes de efectuado éste. No se permite avanzar la perforación con brocas de descarga de fondo, pero pueden aceptarse brocas de descarga lateral.

4.- El nivel del fluido de perforación dentro del sondaje o dentro de los barrenos de vástago hueco debe mantenerse en o sobre el nivel freático del sitio durante todo el tiempo que dure la perforación, la remoción de la tubería y el muestreo.

4. MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

1.- Después que haya avanzado la perforación hasta la profundidad deseada y que se hayan limpiado los sobrantes de la excavación se prepara el muestreo con la secuencia de operaciones siguientes:

- Conéctese el tubo partido a la tubería de perforación y bájese dentro del sondaje ó hueco, dejándolo caer suavemente, sin permitir que se introduzca dentro el suelo que va a ser muestreado.

- Colóquese el martillo en posición e instálese el yunque en la parte superior de la tubería de perforación.

- Déjese en reposo el peso muerto del “muestreador”, tubería y cabezote, sobre el fondo del hueco y aplíquese un golpe de asentamiento. Si se hallan sobrantes excesivos en el fondo del hueco, extráigase el “muestreador” y la tubería para eliminar los sobrantes.

- Márquese el extremo superior de la tubería de perforación en tres incrementos sucesivos de 0.15 m (6") de manera que el avance del “muestreador” bajo el impacto del martillo, pueda ser observado fácilmente para cada incremento de 0.15 m (6").

2.- Hínquese el “muestreador” con golpes del martillo de 63.5 kg (140 lb), con caída de 0.76 m (30"), cuéntese el número de golpes aplicados a cada incremento de 0.15 m (6"), hasta cuando ocurra una de las siguientes condiciones.

- a. Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0.15 m (6") vistos en el numeral 6.1.
- b. Que se haya aplicado un total de 100 golpes para 0.30 m (12").
- c. Que no se observe avance del “muestreador” mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.

- d. •Que el “muestreador” avance 0.45 m (18") completos, sin alcanzar las cuentas limites de golpes, descritas anteriormente.

3.- Regístrese el número de golpes-requeridos para efectuar cada 0.15 m (6") de penetración o de la fracción correspondiente. Se considera que los primeros 0.15 m (6") son para una penetración de sentamiento. La suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer avance de 0.15 m (6 ") de penetración, se llama la "resistencia a la penetración normal" o valor "N"

Si el “muestreador” se introduce menos de 0.45 m (18"), el número de golpes para completar cada incremento de 0.15 m (6") y para cada incremento parcial deberá anotarse en el registro de la perforación.

Para incrementos parciales, la penetración deberá informarse con aproximación a 25 mm (1"), en adición al número de golpes. Si avanza el “muestreador” por debajo del fondo del hueco bajo el peso estático de la tubería de perforación o bajo el peso de ésta más el peso estático del martillo, deberá anotarse esta información en el registro de la perforación.

4.- La elevación y caída del martillo de 63.5 kilogramos (140 libras), deberá obtenerse empleando cualquiera de los siguientes métodos. Empleando para la caída del martillo un sistema semiautomático o automático que levante los 63.5 kilogramos (140 libras) del martillo y los deje caer sin ningún obstáculo en $0.76 \text{ m} \pm 25 \text{ mm}$ (30 ± 1.0 "). Empleando un malacate o cilindro de rotación para jalar un cable atado al martillo. Cuando se usa el método del cable con malacate o cilindro de rotación, el sistema y la operación deberán cumplir con lo siguiente:

- El cilindro de rotación deberá estar esencialmente libre de polvo y oxidación, aceite o grasa y tener un diámetro dentro del intervalo de 150 a 250 mm (6 a 10").

- El malacate deberá operarse a una velocidad mínima de 100 rpm, o la velocidad aproximada de rotación deberá informarse en el registro de la perforación.
- No deberán emplearse más de 21/4 vueltas de cable sobre el cilindro del malacate durante la ejecución del ensayo de penetración.
- Para cada golpe del martillo, el operador deberá emplear un levantamiento y una caída de 0.76 m (30"). La operación de jalar y aflojar el cable deberá efectuarse rítmicamente sin mantener el cable con el martinete en la parte superior de la carrera.

4.5.-Extraer el “muestreador” a la superficie y habrá. Regístrese el porcentaje de recuperación o longitud de la muestra recobrada. Descríbase la muestra de suelo recuperado en cuanto a su composición, color, estratificación y condición; colóquense luego una o más partes representativas de la muestra en frascos o recipientes sellados para el ensayo de humedad, sin que se compacte o distorsione cualquier estratificación aparente.

Sélese cada recipiente para evitar la evaporación de la humedad del suelo. Pónganse etiquetas a los recipientes con el nombre de la obra, el número de la perforación, la profundidad, la cuenta de golpes para cada incremento de 15 mm (6") y la descripción del material. Protéjase las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si hubiere un cambio de suelo dentro del “muestreador”, úsese un frasco para cada estrato y anótese su localización dentro del “muestreador”.

5.- PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

5.1.- Se han observado variaciones de los valores de N, cuando se emplean diferentes aparatos y perforadores para el ensayo de penetración, para sondeos adyacentes en la misma formación de suelo. La opinión corriente, basada en la experiencia de campo, indica que cuando se usa el mismo aparato y el mismo perforador, los valores de N en el mismo suelo pueden tener una variación de alrededor del 10%.

5.2 .-El empleo de equipo defectuoso, como por ejemplo un cabezote extremadamente pesado o dañado, un tambor de rotación empolvado y de baja velocidad, una manija muy gastada, un cable viejo aceitoso, poleas pobremente lubricadas, etc., pueden contribuir significativamente a diferencias en los valores de N, obtenidos con el mismo operador y el mismo sistema de aparejo de perforación.

5.3- La variabilidad en los valores de N producidos por diferentes equipos de perforación y operadores, puede evaluarse midiendo la parte de energía del martillo liberada sobre la tubería de perforación del muestreador, y ajustando el valor de N sobre la base de energías comparativas.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	D 1586
AASHTO	T 206

GRAFICO: ENSAYO DE PENETRACION



FUENTE: NORMA AASHTO T206

4.3.11.-CORTE DIRECTO (CONSOLIDADO DRENADO)

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 3080 y AASHTO T 236, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados finos y gruesos que constituirán la obra básica y el pavimentó, dentro de una construcción vial.

1.1.-Tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo.

1.2.- Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y remoldeadas.

1.3.- El ensayo consiste en:

- Colocación de la muestra en el dispositivo de corte.
- Aplicación de una carga normal.
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
- Consolidación de la muestra.
- Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra

2.- APARATO

2.1.- Dispositivo de carga. El dispositivo de carga debe ceñirse a lo siguiente: Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.

Estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- ✓ Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- ✓ Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- ✓ Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- ✓ Sumergir la muestra en agua.
- ✓ Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte único) o de planos (corte doble) paralelos a las caras de la muestra.
- ✓ Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.
- ✓ Las diferentes partes del dispositivo deben ser de un material resistente a la corrosión por Sustancias contenidas en el suelo o por la humedad del mismo

2.2.- Piedras porosas. Las piedras porosas deben ceñirse a lo siguiente:

2.3.- Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal.

2.4.- Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.

2.5.- Cuarto húmedo. La pérdida de humedad durante la preparación de la muestra no deberá exceder de 0.5 %, tanto para su almacenamiento como para su preparación.

2.6.- Equipo para el corte de la muestra. Debe ser adecuado para tallar la muestra de acuerdo con las dimensiones interiores de la caja de corte con un mínimo de alteración.

Puede necesitarse un soporte exterior para mantener en alineamiento axial una serie de 2 o 3 anillos.

2.7.- Balanza. Debe tener una sensibilidad de 0.1 g o 0.1 % del peso de la probeta.

3.- PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES

3.1.- Si se usa una muestra inalterada, debe ser suficientemente grande para proveer un mínimo de tres muestras idénticas.

3.2.- La preparación de la muestra debe efectuarse de tal manera que la pérdida de humedad sea insignificante.

3.3.- La muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo.

3.4.- Para muestras inalteradas de suelos sensibles, debe tenerse extremo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural.

3.5.- Se determina el peso inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo a la norma

3.6.- Si se utilizan muestras de suelos compactados, la compactación debe hacerse con las condiciones de humedad y peso unitario deseados. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor.

3.7.- El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50 mm (2").

Para minimizar las alteraciones causadas por el muestreo, el diámetro de las muestras obtenidas de tubos saca muestras debe ser, por lo menos, 5 mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.

4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1.-Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados y se bloquea. Se aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y reducir la fricción durante el corte. Pueden también usarse espaciadores o superficies

recubiertas con tetrafluoretileno-fluoruro carbono, para reducir la fricción durante el corte.

2.- Se introduce la muestra de ensayo con sumo cuidado. Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra y luego se determina el espesor inicial. La costumbre de humedecer las piedras porosas antes de la colocación y aplicación de la fuerza normal sobre las muestras, dependerá del tipo de problema en estudio. Para muestras inalteradas obtenidas bajo el nivel freático, deben humedecerse las piedras.

Para suelos expansivos se debe efectuar el humedecimiento después de la aplicación de la fuerza normal, para evitar expansiones que no son representativas de las condiciones de campo.

3.- Se debe permitir una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada. Después de aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, permitiendo el drenaje y una nueva consolidación de la misma. El nivel del agua se debe mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal manera que la muestra esté saturada en todo momento.

4.- La fuerza normal que se aplique a cada una de las muestras depende de la información requerida. Un solo incremento de ella puede ser apropiado para suelos relativamente firmes. Para los demás suelos pueden ser necesarios varios incrementos con el objeto de prevenir el daño de la muestra. El primer incremento dependerá de la resistencia y de la sensibilidad del suelo. En general, esta fuerza no debe ser tan grande que haga fluir el material constitutivo de la muestra por fuera del dispositivo de corte.

5. -Durante el proceso de la consolidación deben registrarse las lecturas de deformación normal, en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.

6.- Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza normal especificada.

7.- Se representan gráficamente las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.

8.- Corte de la muestra. Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos separándolos aproximadamente 0.25 mm (0.01"), para permitir el corte de la muestra. Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros.

Para determinar la velocidad de aplicación de la carga hasta la falla, se puede emplear la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo para falla} = 50t_{50}$$

Donde:

$50t_{50}$ = Tiempo requerido por la muestra para lograr el 50 % de consolidación bajo la fuerza normal.

En el ensayo con control de deformaciones, la velocidad de aplicación de cargas puede determinarse, aproximadamente, dividiendo la deformación estimada de corte, durante el esfuerzo máximo de corte, por el tiempo calculado para la falla.

Se continúa el ensayo hasta que el esfuerzo de corte sea constante, o hasta que se logre una deformación del 10 % del diámetro o de la longitud original.

En el ensayo con control de esfuerzos, se comienza con incrementos de la fuerza de corte de aproximadamente un 10 % de la máxima estimada.

Antes de aplicar un nuevo incremento, se permitirá por lo menos un 95 % de consolidación bajo el incremento anterior.

Cuando se ha aplicado del 50 % al 70 % de la fuerza de falla estimada, los nuevos incrementos serán de la mitad del valor de los aplicados hasta ese momento, o sea el 5 % de la máxima fuerza de corte.

En la proximidad de la falla, los incrementos de la fuerza pueden ser iguales a un cuarto del incremento inicial (2.5 % de la fuerza normal de corte estimada).

Se debe llevar registro de la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte debe ser continuo.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en la estufa y se determina el peso de los sólidos.

5.- CÁLCULOS

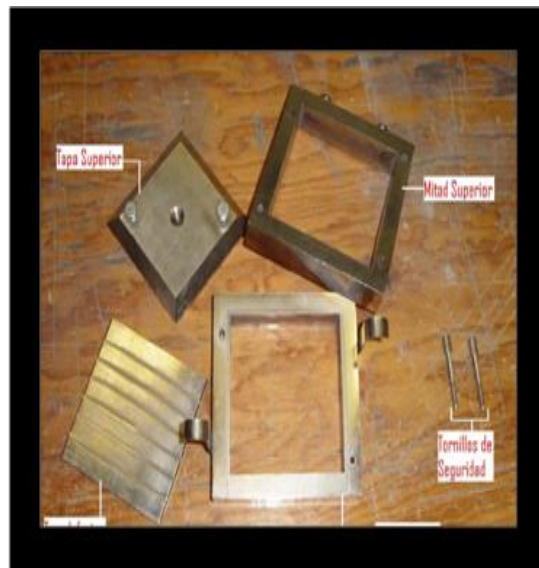
5.1 Calcúlense los siguientes valores:

- Contenido inicial de humedad.
- Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- Esfuerzos de corte.
- Relación de vacíos antes y después de la consolidación y después del ensayo
- Los grados de saturación inicial y final, si se desea.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	D 3080
AASHTO	T 236

GRAFICO 4.3.11.1: EQUIPO DE CORTE DIRECTO



FUENTE: NORMA AASHTO T-236

4.3.12.-DENSIDAD EN EL SITIO - METODO NUCLEAR A PROFUNDIDAD REDUCIDA

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 2922 y AASHTO T 238, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán la obra básica, dentro de una construcción vial.

1.1.- Se refiere a la determinación en el terreno del peso unitario húmedo total de un suelo o de un suelo - agregado con fines de investigación, control o diseño, colocando una fuente emisora y un detector de rayos gamma, sobre o dentro del material, o adyacente al mismo. Los métodos nucleares pueden aplicarse hasta profundidades entre 50 y 300 mm (2 y 12").

1.2.- Empleando algunos modelos de equipos nucleares pueden obtenerse simultáneamente el peso unitario seco y el grado de compactación con respecto a un peso unitario de referencia.

1.3.- La intensidad de la radiación detectada depende en parte del peso unitario del material bajo ensayo y la lectura de la misma se transforma en peso unitario húmedo mediante una curva de calibración. Los resultados pueden afectarse por la composición química, la heterogeneidad de la muestra o por su textura superficial y también por distorsión espacial, por cuanto el aparato puede estar más sensible a ciertas zonas del muestreo.

1.4.- Para la calibración y operación del equipo, así como para el procedimiento de ensayo, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo.

2.- MÉTODOS DE ENSAYO

2.1.- Existen tres métodos generales para la ejecución del ensayo:

- Método A - Retrodispersión.
- Método B - Transmisión directa.
- Método C - Colchón de aire.

2.- APARATO

1.- La fuente emisora gamma, deberá ser una fuente de radioisótopos, encapsulada y sellada

2.-Detector de rayos gamma, de cualquier tipo adecuado.

3.- Dispositivo de lectura, o contador automático, de escala apropiada, que registre la cuantía de los rayos que llegan al detector. Generalmente, el dispositivo de lectura deberá contener fuentes de alto y bajo voltaje, para operar el detector y los dispositivos accesorios de lectura.

4.- Cajas. La fuente, el detector, el dispositivo de lectura y el suministro de corriente deberán hallarse en cajas de construcción fuerte, a prueba de humedad y polvo.

5. -Patrón de referencia, de peso unitario uniforme e invariable. Deberá proporcionarse para cada medidor, con el objeto de comprobar la operación del equipo y la calibración y para establecer condiciones de que la cuantía sea reproducible.

6.- Dispositivos para la preparación del sitio. Una placa de acero, una regla, así como otras herramientas de nivelación, adecuadas para aplanar el sitio de ensayo, hasta darle la tersura requerida.

7.- Sonda. (Aplicable al método de transmisión directa). Cualquier fuente gamma o el detector deberán alojar una sonda para ser insertada en un hueco pre-elaborado en el material que va a ser ensayado. La sonda deberá tener marcas con incrementos

de 50 mm (2") para ensayos con profundidades de la sonda de 50 a 300 mm (2 a 12"). La sonda deberá ser operada mecánicamente, de manera que, cuando se mueva manualmente hasta la profundidad marcada deseada, se mantenga en su posición, a dicha profundidad.

8.- Guía. (Aplicable al método de transmisión directa). Para formar un agujero perpendicular a la superficie preparada.

9.-Herramientas para hacer el hueco, en el material que se va a ensayar, como un barreno o una punta con un diámetro nominal, igual o ligeramente mayor que el de la sonda, pero que no exceda el de ésta en más de 3 mm (1/8"). (Aplicable al método de transmisión directa).

10.- Soportes espaciadores. (Aplicables al método del colchón de aire). Sirven para sostener el medidor con vacío óptimo de aire por encima del material que se está ensayando. Los soportes espaciadores deberán diseñarse para que soporten el medidor a una altura óptima sin interferir la base del mismo.

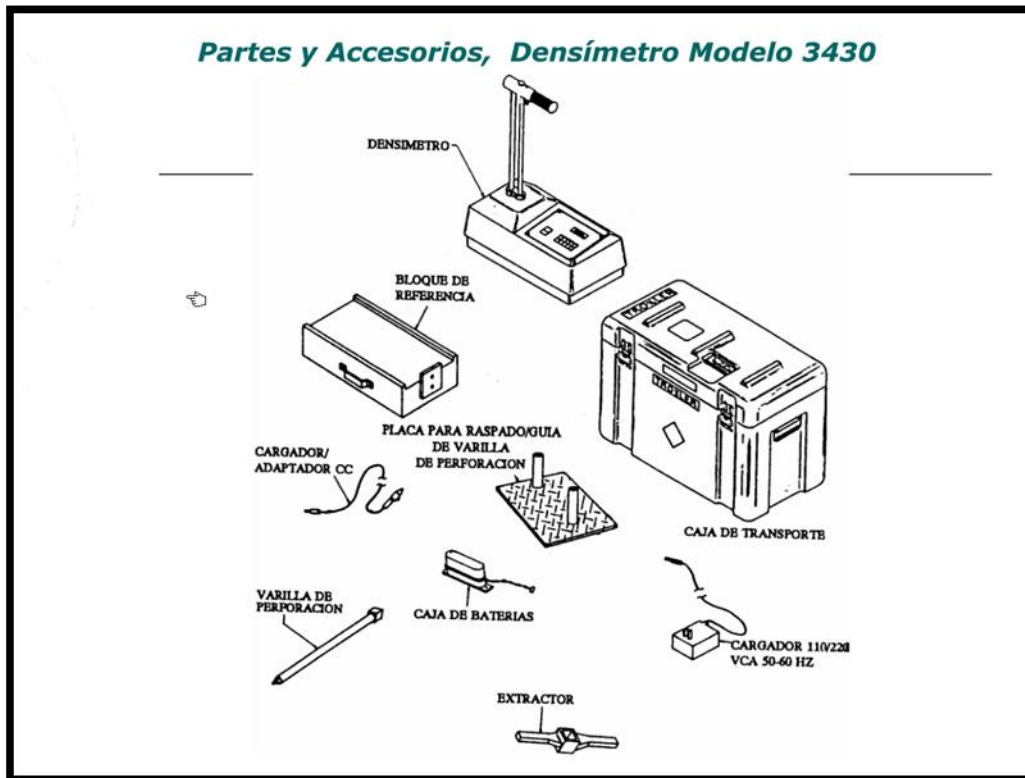
Nota: Las curvas de calibración pueden adquirirse del fabricante para cada medidor y deben ser fácilmente comprobadas.

3. NORMALIZACIÓN

1.-Es necesaria la normalización del equipo sobre un patrón de referencia, al inicio de cada día de uso y deberá mantenerse un registro permanente de tales datos.

2.-Póngase a funcionar el equipo y déjese estabilizar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

GRAFICO 4.3.12.1: EQUIPO PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD POR EL MÉTODO NUCLEAR



FUENTE: NORMA AASHTO T 238

MÉTODO A - RETRODISPERSOR

PROCEDIMIENTO

1.- Escójase un sitio para la prueba, donde el medidor en posición de ensayo se halle al menos a 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.

2.- Prepárese el sitio de ensayo de la manera siguiente:

- Remuévase todo el material suelto y alterado y el material adicional, en cuanto sea necesario, para exponer la parte superior del material que va a ser ensayado.

Las dispersiones espaciales deberán considerarse para determinar la profundidad a la cual se va a colocar el medidor.

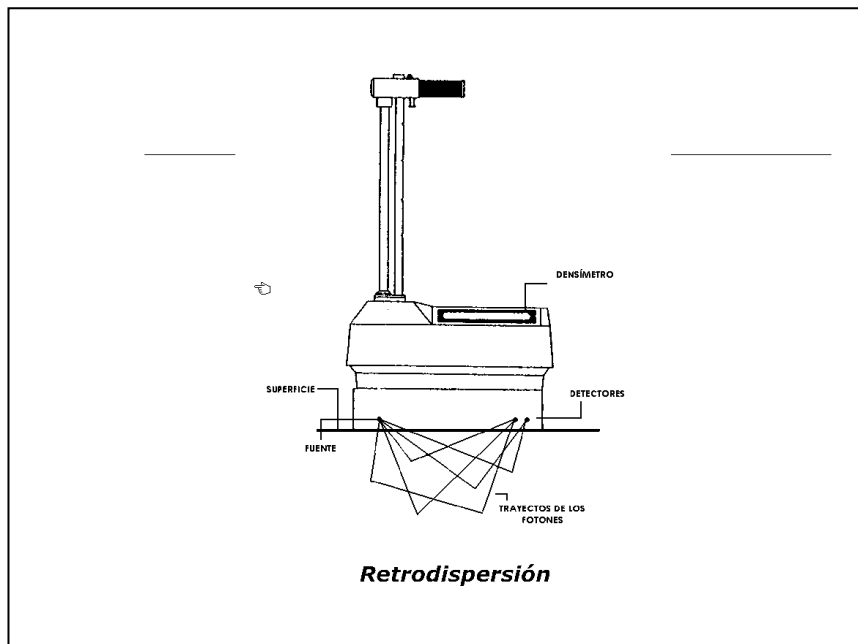
- Prepárese un área horizontal suficiente en tamaño para acomodar el medidor, aplanando el área hasta una condición lisa, de tal manera que se obtenga el contacto máximo entre el medidor y el material que está siendo ensayado.

- El vacío máximo por debajo del medidor no deberá exceder de 3 mm (1/8"). Úsense materiales del sitio o arena fina para llenar los vacíos y alísese la superficie, con una placa rígida o mediante otra herramienta adecuada.

3.- Procédase para el ensayo de la manera siguiente: Asiéntese el medidor firmemente Manténgase por fuera del alcance de éste, cualquier otra fuente radiactiva, para evitar que se afecten las medidas.

- Caliéntese el equipo según la recomendación del fabricante.
- Obténganse y regístrense una o más lecturas de un minuto.
- Determínese el peso unitario húmedo en el sitio, mediante el empleo de la curva de calibración establecida previamente.

GRAFICO 4.3.12.2: RETRO DISPERSIÓN



FUENTE: NORMA AASHTO T 238

MÉTODO B - TRANSMISIÓN DIRECTA

PROCEDIMIENTO

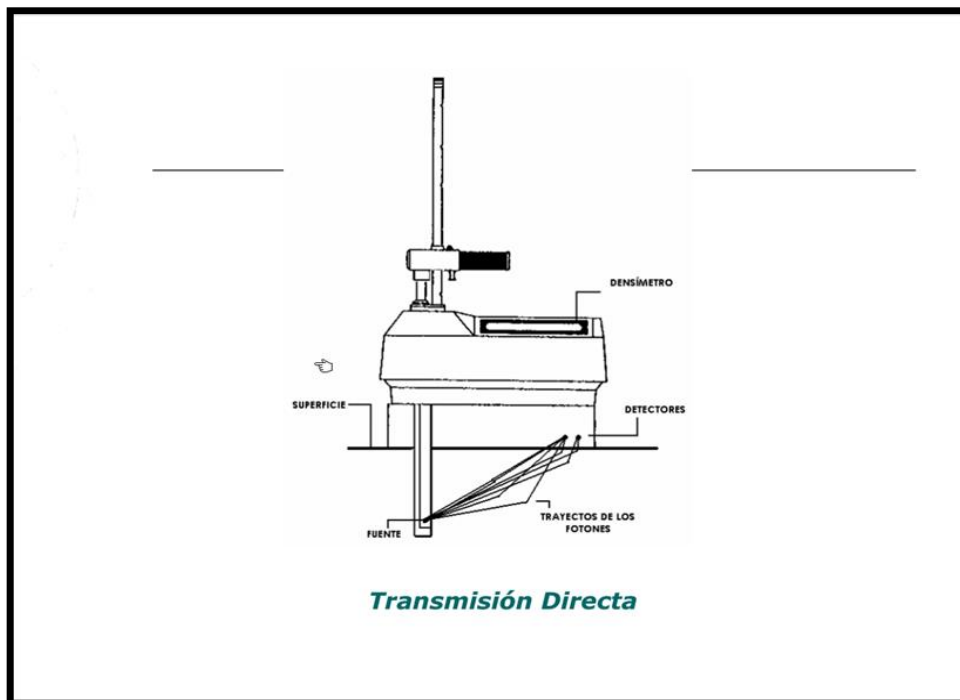
1. -Escójase un sitio donde el medidor quede en posición de ensayo al menos 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.
- 2.- Prepárese el sitio de ensayo siguiendo los mismos pasos del método A-Retro dispersor adicionalmente, excávase un orificio de al menos 50 mm (2") de profundidad mayor que la profundidad a la cual se coloca la sonda y que sea perpendicular a la superficie preparada, empleando la guía y el dispositivo para formar el hueco con un alineamiento tal, que la inserción de la sonda no haga inclinar el medidor con respecto al plano del área preparada.
- 3.- Procédase para el ensayo de la manera siguiente:
 - Colóquese el medidor sobre la superficie alineada cuidadosamente con marcas y extiéndase la sonda en la posición requerida, para la profundidad deseada de ensayo
 - Insértese la sonda en el orificio.
 - Asíéntese firmemente el medidor, rotándolo alrededor de la sonda, con un movimiento hacia atrás y hacia adelante.
 - Empújese suavemente el medidor en la dirección que colocaría el lado de la sonda, contra el lado del orificio más próximo a la localización del detector o la fuente en la caja del medidor.
 - Manténgase cualquier otra fuente radiactiva fuera del medidor, para evitar que afecte la medida.
 - Caliéntese el equipo según la recomendación del fabricante.
 - Obténganse y regístrense una o más lecturas de un minuto.

- Determinése el peso unitario húmedo en el sitio, mediante el uso de la curva de calibración establecida previamente.

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T 238
ASTM	D 2922

GRAFICO 4.3.12.3: TRANSMISION DIRECTA



FUENTE: NORMA AASHTO T 238

4.3.13.-CBR DE SUELOS (LABORATORIO)

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 1883 y AASHTO T 193, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. -OBJETIVO

1.1.-Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

1.2.-Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

1.3.-Este modo operativo hace referencia a los ensayos para determinación de las relaciones de Peso Unitario - Humedad, usando un equipo modificado.

2. APARATOS Y MATERIALES

2.1.-Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión, utilizada para forzar la penetración de un pistón en el espécimen. El pistón se aloja en el cabezal y sus características deben ajustarse a las especificadas.

El desplazamiento entre la base y el cabezal se debe poder regular a una velocidad uniforme de 1,27 mm (0.05") por minuto. La capacidad de la prensa y su sistema para la

medida de carga debe ser de 44.5 kN (10000 lbf) o más y la precisión mínima en la medida debe ser de 44 N (10 lbf) o menos.

2.2.- Molde, de metal, cilíndrico, de $152,4\text{mm} \pm 0,66\text{ mm}$ ($6 \pm 0,026''$) de diámetro interior y de $177,8 \pm 0,46\text{ mm}$ ($7 \pm 0,018''$) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm ($3/8''$) de espesor. Las perforaciones de la base no excederán de 1,6 mm ($28\ 1/16''$) las mismas que deberán estar uniformemente espaciadas en la circunferencia interior del molde de diámetro. La base se deberá poder ajustar a cualquier extremo del molde.

2.3.- Disco espaciador, de metal, de forma circular, de 150.8 mm ($5\ 15/16''$) de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127\text{ mm}$ ($2,416 \pm 0,005''$) de espesor, para insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico durante la compactación.

2.4.- Pisón de compactación como el descrito en el ensayo de ensayo Proctor Modificado, (equipo modificado).

GRAFICO 4.3.13.1: EQUIPO PARA EL ENSAYO DE CBR.



FUENTE: LABORATORIO MTOP-CHIMBORAZO

2.5.- Aparato medidor de expansión compuesto por:

- Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1,6 mm (1/16") de diámetro. Estará provista de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que permita regular su altura .

- Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago coincida con el de la placa, de forma que permita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025 mm (0.001") .

2.6.-Pesas. Uno o dos pesas anulares de metal que tengan una masa total de $4,54 \pm 0,02$ kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de $2,27 \pm 0,02$ kg. Las pesas anular y ranurada deberán tener 5 7/8" a 5 15/16" (149,23 mm a 150,81 mm) en diámetro; además de tener la pesa, anular un agujero central de 2 1/8" aproximado (53,98 mm) de diámetro.

2.7.-Pistón de penetración, metálico de sección transversal circular, de $49.63 \pm 0,13$ mm ($1,954 \pm 0,005$ "") de diámetro, área de 19.35 cm² (3 pulg²) y con longitud necesaria para realizar el ensayo de penetración con las sobrecargas precisas de acuerdo con el numeral 3.4, pero nunca menor de 101.6 mm (4").

2.8.-Dos diales con recorrido mínimo de 25 mm (1") y divisiones lecturas en 0.025 mm (0.001"), uno de ellos provisto de una pieza que permita su acoplamiento en la prensa para medir la penetración del pistón en la muestra.

2.9.-Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.

2.10.-Estufa, termostáticamente controlada, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

2.11.-Balanzas, una de 20 kg de capacidad y otra de 1000 g con sensibilidades de 1 g y 0.1 g, respectivamente.

2.12.-Tamices, de 4.750 mm (No. 4), 19.05 mm (3/4") y 50,80 mm (2").

2.13.-Misceláneos, de uso general como cuarteador, mezclador, cápsulas, probetas, espátulas, discos de papel de filtro del diámetro del molde, etc.

3. PROCEDIMIENTO

El procedimiento es tal que los valores de la relación de soporte se obtienen a partir de especímenes de ensayo que posean el mismo peso unitario y contenido de agua que se espera encontrar en el terreno. En general, la condición de humedad crítica (más desfavorable) se tiene cuando el material está saturado. Por esta razón, el método original del Cuerpo de Ingenieros de E.U.A. contempla el ensayo de los especímenes después de estar sumergidos en agua por un período de cuatro (4) días confinados en el molde con una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material.

1.- Preparación de la Muestra.- Se procede como se indica en las normas mencionadas (Relaciones de peso unitario-humedad en los suelos, con equipo estándar o modificado). Cuando más del 75 % en peso de la muestra pase por el tamiz de 19.1 mm (3/4"), se utiliza para el ensayo el material que pasa por dicho tamiz. Cuando la fracción de la muestra retenida en el tamiz de 19.1 mm (3/4") sea superior a un 25% en peso, se separa el material retenido en dicho tamiz y se sustituye por una proporción igual de material comprendido entre los tamices de 19.1 mm (3/4") y de 4.75 mm (No. 4), obtenida tamizando otra porción de la muestra.

De la muestra así preparada se toma la cantidad necesaria para el ensayo de apisonado, más unos 5 kg por cada molde CBR.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de agua, con el fin de establecer definitivamente la humedad óptima y el peso unitario máximo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación. Normalmente, se usan la energía del Proctor Estándar, la del Proctor Modificado y una Energía Inferior al Proctor Estándar. De esta forma, se

puede estudiar la variación de la relación de soporte con estos dos factores que son los que la afectan principalmente. Los resultados se grafican en un diagrama de contenido de agua contra peso unitario.

Se determina la humedad natural del suelo mediante secado en estufa, según la norma.

Conocida la humedad natural del suelo, se le añade la cantidad de agua que le falte para alcanzar la humedad fijada para el ensayo, generalmente la óptima determinada según el ensayo de compactación elegido y se mezcla íntimamente con la muestra.

2.-Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco espaciador y, sobre éste, un disco de papel de filtro grueso del mismo diámetro.

Una vez preparado el molde, se compacta el espécimen en su interior, aplicando un sistema dinámico de compactación (ensayos mencionados, ídem Proctor Estándar o Modificado), pero utilizando en cada molde la proporción de agua y la energía (número de capas y de golpes en cada capa) necesarias para que el suelo quede con la humedad y densidad deseadas (véase Figura 2a). Es frecuente utilizar tres o nueve moldes por cada muestra, según la clase de suelo granular o cohesivo, con grados diferentes de compactación. Para suelos granulares, la prueba se efectúa dando 55, 26 y 12 golpes por capa y con contenido de agua correspondiente a la óptima. Para suelos cohesivos interesa mostrar su comportamiento sobre un intervalo amplio de humedades. Las curvas se desarrollan para 55, 26 y 12 golpes por capa, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte.

Nota. En este procedimiento queda descrito cómo se obtiene el índice CBR para el suelo colocado en un solo molde, con una determinada humedad y densidad. Sin embargo, en cada caso, al ejecutar el ensayo deberá especificarse el número de

moldes a ensayar, así como la Humedad y Peso Unitario a que habrán de compactarse.

Si el espécimen se va a sumergir, se toma una porción de material, entre 100 y 500g (según sea fino o tenga grava) antes de la compactación y otra al final, se mezclan y se determina la humedad del Suelo de acuerdo con la Norma. Si la muestra no va a ser sumergida, la porción de material para determinar la humedad se toma del centro de la probeta resultante de compactar el suelo en el molde, después del ensayo de penetración. Para ello el espécimen se saca del molde y se rompe por la mitad.

Terminada la compactación, se quita el collar y se enrasa el espécimen por medio de un enrasado o cuchillo de hoja resistente y bien recta. Cualquier depresión producida al eliminar partículas gruesas durante el enrase, se rellenará con material sobrante sin gruesos, comprimiéndolo con la espátula.

Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Se pesa.

3.-Inmersión. Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago, y, sobre ésta, los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal, que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan de ir encima del suelo que se ensaya, la aproximación quedará dentro de los 2,27 kg (5,5 lb) correspondientes a una pesa. En ningún caso, la sobrecarga total será menor de 4,54 kg (10 lb).

Nota: A falta de instrucciones concretas al respecto, se puede determinar el espesor de las capas que se han de construir por encima del suelo que se ensaya, bien por estimación o por algún método aproximado. Cada 15 cm (6") de espesor de estructura del pavimento corresponde aproximadamente a 4,54 kg (10 lb) de sobrecarga.

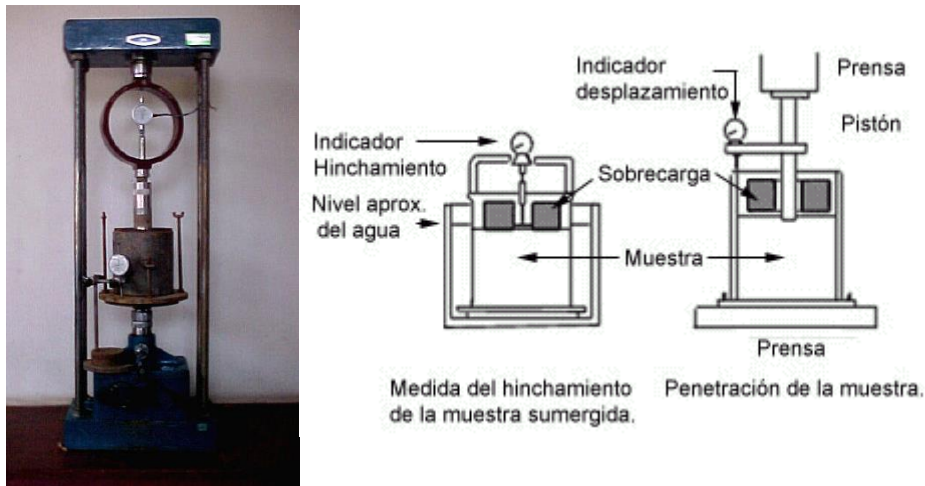
Se toma la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde, haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se anota su lectura, el día y la hora. A continuación, se sumerge el molde en el tanque con la sobrecarga colocada dejando libre acceso al agua por la parte inferior y superior de la muestra. Se mantiene la probeta en estas condiciones durante 96 horas (4 días) "con el nivel de agua aproximadamente constante. Es admisible también un período de inmersión más corto si se trata de suelos granulares que se saturan de agua rápidamente y si los ensayos muestran que esto no afecta los resultados.

Al final del período de inmersión, se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento. Si es posible, se deja el trípode en su posición, sin moverlo durante todo el período de inmersión; no obstante, si fuera preciso, después de la primera lectura puede retirarse, marcando la posición de las patas en el borde del molde para poderla repetir en lecturas sucesivas. La expansión se calcula como un porcentaje de la altura del espécimen.

Después del periodo de inmersión se saca el molde del tanque y se vierte el agua retenida en la parte superior del mismo, sosteniendo firmemente la placa y sobrecarga en su posición. Se deja escurrir el molde durante 15 minutos en su posición normal y a continuación se retira la sobrecarga y la placa perforada. Inmediatamente se pesa y se procede al ensayo de penetración según el proceso

Es importante que no transcurra más tiempo que el indispensable desde cuando se retira la sobrecarga hasta cuando vuelve a colocarse para el ensayo de penetración.

GRAFICO 4.3.13.2: EQUIPO PARA MEDIR DEFORMACIONES



FUENTE: AASHTO T193

3.4.-Penetración. Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb).

Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, Llévese el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm

(0.05") por minuto. Las prensas Manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

TABLA 4.3.13.1
PENETRACIÓN

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

* Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Finalmente, se desmonta el molde y se toma de su parte superior, en la zona próxima a donde se hizo la penetración, una muestra para determinar su humedad.

4.- CÁLCULOS

4.1.- Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada

h = Humedad natural

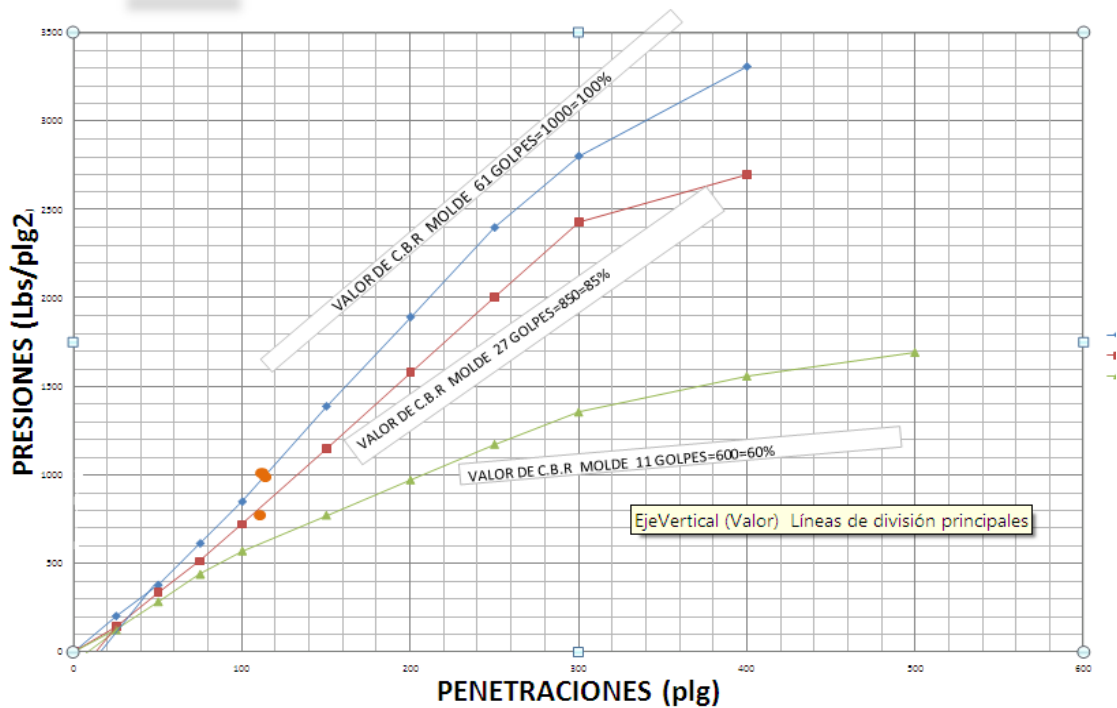
4.3.-Agua absorbida. El cálculo para el agua absorbida puede efectuarse de dos maneras. Una, a partir de los datos de las humedades antes de la inmersión, la diferencia entre ambas se toma normalmente como tanto por ciento de agua absorbida. Otra, utilizando la humedad de la muestra total contenida en el molde. Se calcula a partir del peso seco de la muestra (calculado) y el peso húmedo antes y después de la inmersión.

Ambos resultados coincidirán o no, según que la naturaleza del suelo permita la absorción uniforme del agua (suelos granulares), o no (suelos plásticos). En este segundo caso debe calcularse el agua absorbida por los dos procedimientos.

4.4.-Presión de penetración. Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva.

4.5.-Expansión. La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, numeral 3.2. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm .

GRAFICO 4.3.13.2: CURVA DE PENETRACIONES Vs PRESIONES



FUENTE: NORMA AASHTO T193

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.
- De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (10001b/plg2) y 10,3 MPa (1500 lb/plg 2) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de

penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0,2") de penetración.

5. INFORME

Presentación de informe de acuerdo al ejemplo de cálculo del anexo final de la tesis

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	D 1883
AASHTO	T 193

4.3.14.-PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

Este ensayo está basado en las Normas ASTM C 128 y AASHTO T 84, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán la obra básica (base, subbase) y Diseño del Pavimento, dentro de una construcción vial

1.1.- Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del peso específico aparente y real a 23/23 °C (73.4/73.4 °F) así como la absorción después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño inferior a 4.75 mm

2.- DEFINICIONES

2.1.-Volúmenes aparentes y nominales. En un sólido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacíos accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado "aparente"; si se excluye este volumen de vacíos, al volumen resultante se denomina "nominal".

2.2.-Peso específico aparente y nominal. En estos materiales, se define el peso específico aparente como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente y peso específico nominal a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen nominal.

3.- APARATOS

3.1.- Balanza, con capacidad mínima de 1000 g y sensibilidad de 0.1 g.

3.2.- Matraz aforado o picnómetro, en el que se puede introducir la totalidad de la muestra y capaz de apreciar volúmenes con una exactitud de ± 0.1 cm³. Su capacidad hasta el enrase será, como mínimo, un 50 por ciento mayor que el volumen ocupado por la muestra.

Para los tamaños de agregados más finos puede emplearse un matraz aforado de 500 cm³ de capacidad, o un frasco de La Chatelier.

3.3.- Molde cónico. Un tronco de cono recto, construido con una chapa metálica de 0.8 mm de espesor como mínimo, y de 40 ± 3 mm del diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.

3.4.- Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de 340 ± 15 g y terminada por uno de sus extremos en una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.

3.5.- Bandejas de zinc, de tamaño apropiado.

3.6.- Un dispositivo que proporcione una corriente de aire caliente de velocidad moderada.

4.- PROCEDIMIENTO

1.- Después de homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior a 4.75 mm (tamiz No. 4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad aproximada de 1 Kg., que se seca en el horno a 100 - 110 °C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante. A continuación se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante 24 ± 4 horas.

Cuando los pesos específicos y la absorción vayan a utilizarse en el proyecto de mezclas de concretos hidráulicos, en las que los agregados son utilizados normalmente en estado húmedo, puede prescindirse del secado previo hasta peso constante.

Además, si los agregados se han mantenido previamente con su superficie continuamente mojada, se puede igualmente omitir el periodo de 24 h de inmersión. Los valores que se obtienen para la absorción y el peso específico aparente saturado con superficie seca, pueden ser significativamente más altos si se omite el secado previo antes del periodo de inmersión, por lo cual deberá consignarse siempre en los resultados cualquier alteración introducida en el proceso general.

2.- Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente, mientras se agita continuamente para que la desecación sea uniforme, y continuando el secado hasta que las partículas puedan fluir libremente.

3.- Para fijar este punto, cuando se empiece a observar visualmente que se está aproximando el agregado a esta condición, se sujeta firmemente el molde cónico con su diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana no absorbente, echando en su interior a través de un embudo y sin apelmazar, una cantidad de muestra suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación, con cuidado, verticalmente el molde. Si la superficie de las partículas conserva aún exceso de humedad, el cono de agregado mantendrá su forma original, por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial, indicativo de que finalmente ha alcanzado el agregado la condición de superficie seca. El procedimiento descrito anteriormente solamente es válido cuando el desmoronamiento superficial no se produce en la primera prueba, por la falta de seguridad en el estado de humedad superficial que ello comportaría. En este caso, deberán añadirse al agregado algunos centímetros cúbicos de agua, mezclar completamente toda la muestra y dejarla

tapada para evitar la evaporación durante una media hora. A continuación se repiten de nuevo los procesos de secado y pruebas del cono, hasta determinar el estado correcto de saturado con superficie seca.

4.- Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, 500.0 g del agregado fino, preparado como se ha descrito anteriormente, y se le añade agua hasta aproximadamente un 90 por ciento de su capacidad; para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, e incluso agitando o invirtiéndolo si es preciso, introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura entre 21° y 25°C durante 1 hora, transcurrida la cual se enrasa con agua a igual temperatura, se saca del baño, se seca rápidamente su superficie y se determina su peso total (picnómetro, muestra y agua), con una aproximación de 0.1 g.

Pueden emplearse cantidades de muestra inferiores a los 500 g especificados en el procedimiento general (aunque nunca menos de 50 g). En los casos en que se utilice una cantidad inferior a 500 g, los límites de exactitud para las pesadas y medidas deberán reducirse en las proporciones correspondientes.

Si se desea, el peso de agua necesaria para el enrase final del picnómetro aforado puede determinarse volumétricamente con una bureta que aproxime 0.1 cm³.

En estos casos, el peso total del picnómetro enrasado será:

$$C = 0.9975.V_a + S + M$$

En la cual:

C = Peso total del picnómetro con muestra y agua hasta el enrase, en gramos.

S = Peso de la muestra saturada, con superficie seca, en gramos.

V_a = Volumen de agua añadida, en cm³.

M = Peso del picnómetro vacío, en gramos.

Tomándose el valor 0.9975 como promedio del peso específico del agua en el intervalo de temperaturas utilizado.

5.- Se saca el agregado fino del matraz y se deseca en el horno a 100 - 110 °C, hasta peso constante; se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 1-½ horas y se determina finalmente su peso seco.

6.- Si no se conoce, se determinará el peso del picnómetro aforado lleno de agua hasta el enrase, sumergiéndolo en un baño de agua a la temperatura de ensayo y siguiendo en su determinación un procedimiento paralelo, respecto a tiempos de inmersión y pesadas.

5. -RESULTADOS

5.1.- Llamando:

- A.- Peso en el aire de la muestra secada al horno
- V.- Volumen de la probeta
- W.- Peso en gr.o volumen en ml del agua añadida

Se calculan los pesos específicos aparente a 23/23 °C (73.4/73.4 °F), saturado superficie seca así como la absorción, por las siguientes expresiones (se expresarán siempre las temperaturas a las cuales se hayan realizado las medidas):

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V-W) - (500-A)}$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{500}{V-W}$$

$$\text{Peso específico nominal} = A / V - W$$

$$\text{Absorción}=(500 -A)/A)*100$$

Nota S.S.S. = Saturado con Superficie Seca.

6.- RECOMENDACIONES PARA EL ENSAYO:

- ❖ Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

Para evitar errores posibles en un análisis de ensayos de suelos y pavimentos.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	C 128
AASHTO	T 84

4.3.15.-PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

Este ensayo está basado en las Normas ASTM C 127 y AASHTO T 85, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán la obra básica (base, subbase) y Diseño del Pavimento, dentro de una construcción vial

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm .

2.- DEFINICIONES

2.1.- Volúmenes aparentes y nominales. En un sólido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacíos accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado "aparente"; si se excluye este volumen de vacíos al volumen resultante, se denomina "nominal".

2.2.- Peso específico aparente y nominal. En estos materiales, se define el peso específico aparente como la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen aparente, y peso específico nominal a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso de agua correspondiente a su volumen nominal.

3.- APARATOS

3.1.- Balanzas, con capacidad igual o superior a 5000 g, según el tamaño máximo de la muestra para ensayo, con sensibilidad de 0.5 g para pesos hasta de 5000 g, o 0.0001 veces el peso de la muestra, para pesos superiores.

3.2.- Canastillas metálicas, como recipientes para las muestras en las pesadas sumergidas. Se dispondrá de dos tipos de canastillas metálicas, de aproximadamente igual base y altura, fabricadas con armazón de suficiente rigidez y paredes de tela metálica con malla de 3 mm. Para agregados con tamaño máximo inferior a 38 mm (1 ½") se utilizarán canastillas con capacidades de 4 a 7 dm³ y para tamaños superiores canastillas con capacidades de 8 a 16 dm³ (litros).

3.3.- Dispositivo de suspensión. Se utilizará cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergida.

4.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

4.1.- Se comienza por mezclar completamente los agregados, cuarteándolos a continuación, hasta obtener aproximadamente la cantidad mínima necesaria para el ensayo, después de eliminar el material inferior a 4.75 mm. Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la Tabla 4.3.15. 1, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

TABLA 4.3.15.1: CANTIDADES MÍNIMAS PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

Tamaño máximo nominal		Cantidad mínima de muestra
mm	(pulg)	Kg
Hasta 12,5	½	2
19,0	¾	3
25,0	1	4
37,5	1 ½	5

50,0	2	8
63,0	2 ½	12
75,0	3	18
90,0	3 ½	25

4.2.-Si se desea, puede fraccionarse la muestra y ensayar separadamente cada una de las fracciones; cuando la muestra contenga más de un 15 por ciento retenido en el tamiz de 38.10 mm (1 ½ "), se separará entonces siempre por este tamiz al menos en dos fracciones.

Cuando se fracciona la muestra, las cantidades mínimas para ensayo de cada fracción se ajustarán, según su tamaño máximo particular.

5.-PROCEDIMIENTO

1.- La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en una estufa a 100° - 110 °C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24 ± 4 horas.

Cuando se vayan a utilizar los valores de la absorción y pesos específicos en concretos hidráulicos con agregados normalmente empleados en estado húmedo, se puede prescindir del secado hasta peso constante. Además, si los agregados se han mantenido con su superficie continuamente mojada hasta el ensayo, pueden también suprimirse las 24 horas de inmersión en agua. Los valores obtenidos para la absorción y el peso específico aparente con agregados en el estado de saturados con superficie seca, pueden ser significativamente más altos si antes de mojarlos se ha omitido el secado previo, por lo cual deberá consignarse en los resultados cualquier alteración que se introduzca en el procedimiento general.

2.- Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un pifio absorbente de gran tamaño, hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar cualquier evaporación de la superficie de los agregados. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.). Estas y todas las pesadas subsiguientes se realizarán con una aproximación de 0.5 g para pesos hasta 5000 g y de 0.0001 veces el peso de la muestra para pesos superiores.

3.- A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura entre 21° y 25 °C y un peso unitario de $0.997 \pm 0.002 \text{ g/cm}^3$. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando convenientemente. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergidas durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas.

4.- Se seca entonces la muestra en horno a 100° - 110 °C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.

6.- RESULTADOS

6.1.- Llamando:

A = Peso en el aire de la muestra seca en gramos

B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C = Peso sumergido en agua de la muestra saturada, en gramos.

Se calculan los pesos específicos aparente, saturado con superficie seca y nominal así como la absorción, por medio de las siguientes expresiones:

Peso específico aparente = $A / (B-C)$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

Nota S.S.S. = Saturado con Superficie Seca.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	C 127
AASHTO	T 85

4.3.16.-ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS

Este ensayo está basado en las Normas ASTM C 131, AASHTO T 96 y ASTM C 535, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1.- OBJETIVO

Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán la obra básica (base, subbase) y Diseño del Pavimento, dentro de una construcción vial

1.1.- Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los Ángeles.

1.2.- El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva.

2.- APARATOS Y MATERIALES

2.1.- Balanza, que permita la determinación del peso con aproximación de 1 g.

2.2.- Estufa, que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

2.3.- Tamices.

2.4.- Máquina de Los Ángeles: la máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características .Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 ") y un diámetro, también interior, de 711 ± 5 mm. Dicho cilindro lleva sus extremos cerrados y en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en

posición horizontal alrededor de este eje. El cilindro estará provisto de una abertura, para introducir la muestra que se desea ensayar, y un entrepaño, para conseguir la rotación de la mezcla y de la carga abrasiva. La abertura podrá cerrarse por medio de una tapa con empaquetadura que impida la salida del polvo, fijada por medio de pernos. La tapa se diseñará de manera tal que se mantenga el contorno cilíndrico interior. El entrepaño se coloca de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo, ni se ponga en contacto con ella en ningún momento. El entrepaño será desmontable, de acero, ocupando longitudinalmente toda una generatriz del cilindro y se proyectará radialmente, y hacia el centro de la sección circular del cilindro, en longitud de 89 ± 2 mm ($3,5 \pm 0.1$ "). Tendrá un espesor tal que permita montarlo por medio de pernos u otro medio apropiado, de forma que quede instalado de un modo firme y rígido. La distancia del entrepaño a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del cilindro y en el sentido de la rotación, será mayor de 1.27 m (50").

GRAFICO 4.3.16.1: MAQUINA DE LOS ANGELES



FUENTE: NORMA AASHTO - T96

Nota 1. Es preferible el empleo de un entrepaño de acero resistente al desgaste de sección rectangular y montado independientemente de la tapa. No obstante, puede usarse una sección angular montada adecuadamente en la parte interior de la tapa,

teniendo en cuenta la dirección de rotación para la que la carga sea recogida por la cara exterior del ángulo.

La superficie del entrepaño de la máquina de Los Ángeles está sometida a un fuerte desgaste y al impacto de las bolas, originándose en ella un relieve a una distancia aproximadamente de 32 mm (1 ¼") desde la unión del entrepaño con la superficie interior del cilindro. Si el entrepaño está hecho de una sección angular, no solamente puede formarse este relieve, sino que aquél se puede llegar a doblar longitudinal o transversalmente y con respecto a su correcta disposición, por lo cual debe ser revisado periódicamente. Si se observa alguno de estos defectos, el entrepaño debe ser reparado o reemplazado antes de realizar nuevos ensayos. La influencia de todos estos factores sobre los resultados del ensayo no es conocida; sin embargo, para uniformar las condiciones de ensayo se recomienda eliminar el relieve formado cuando su altura sea superior a 2 mm (0.1").

La máquina será accionada y contrabalaceada en forma tal, que debe mantener la velocidad periférica básicamente uniforme.

La pérdida de velocidad y el deslizamiento del mecanismo de transmisión son causa frecuente de que los resultados del ensayo no coincidan con los obtenidos en otra máquina de desgaste de Los Ángeles con velocidad periférica constante.

2.5.- Carga abrasiva. La carga abrasiva consistirá en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16") y 47.63 mm (1 7/8") y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, de acuerdo con la Tabla siguiente:

TABLA 4.3.16.1: CARGA ABRASIVA

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso Total gr
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

3.-PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

3.1.-La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas . La granulometría o granulometrías elegidas serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1 g.

Tabla 4.3.16.2

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37,5	(1 1/2")	-25,0	(1")	1250 ± 25			
25,0	(1")	-19,0	(3/4")	1250 ± 25			
19,0	(3/4")	-12,5	(1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	(1/2")	-9,5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	(3/8")	-6,3	(1/4")			2500 ± 10	
6,3	(1 1/4")	-4,75	(N° 4)			2500 ± 10	
4,75	(N° 4)	-2,36	(N° 8)				5000 ± 10
Totales				5000 ± 10	2500 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

3.2.-Cuando se triture la muestra en el laboratorio, se hará constar esto en el informe, debido a la influencia que tiene la forma de las partículas en el resultado del ensayo.

4.- PROCEDIMIENTO

1.- Ejecución del ensayo. La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante. Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12. La fracción fina que pasa, se tamiza a continuación empleando el tamiz de 1.70 mm (No. 12). El material más grueso que el tamiz de 1.70 mm (No. 12) se lava, se seca en el horno, a una temperatura comprendida entre 105 a 110 °C (221 a 230 °F), hasta peso constante, y se pesa con precisión de 1 g.

2.- Cuando el agregado esté libre de costras o de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavarlo antes y después del ensayo. La eliminación del lavado posterior, rara vez reducirá la pérdida medida, en más del 0.2% del peso de la muestra original.

5. -RESULTADOS

5.1.-El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

5.2.- El resultado del ensayo (% desgaste) recibe el nombre de coeficiente de desgaste de Los Ángeles. Calcúlese tal valor así:

$$\% \text{ Desgaste} = 100 (P1 - P2) / P1$$

P1 = Peso muestra seca antes del ensayo.

P2 = Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12).

6.- RECOMENDACIÓN PARA EL ENSAYO:

- ❖ En el ensayo de abrasión se debe tener en cuenta que la máquina de los ángeles este bien recubierta con papel periódico y tapada para que no exista

salida de polvo en el momento del ensayo, puesto que esto resulte una falla en el porcentaje desgaste del agregado.

7. -PRECISIÓN

7.1.- Para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm ($\frac{3}{4}$ "), con porcentajes de pérdida entre 10 y 45%, el coeficiente de variación entre resultados de varios laboratorios, es del 4.5%. Entonces, resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno del otro en más del 12.7% de su promedio.

El coeficiente de variación de operadores individuales, se encontró que es del 2%. Entonces, los resultados de dos ensayos bien ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir, el uno del otro, en más del 5.7% de su promedio.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	C 131
AASHTO	T 96

4.4.- EVALUACIÓN FUNCIONAL DE LOS ENSAYOS EN PAVIMENTOS

4.4.1.-TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

Este ensayo está basado en la Norma AASHTO T 168, la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

1. -OBJETIVO

1.1.-Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán el Pavimento, dentro de una construcción vial

1.2.-El procedimiento para la toma de muestras de mezclas de materiales asfálticos con agregados minerales tal como son preparados para el uso en pavimentación. Las muestras pueden usarse para los dos propósitos siguientes:

- Como muestra representativa de las características o condiciones promedio de la mezcla asfáltica producida.
- Para controlar su uniformidad o sus variaciones

2.- SELECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras deben ser realmente representativas.

Se debe tener cuidado al hacer el muestreo para evitar la segregación del agregado grueso o de mezclas asfálticas también, debe evitarse la contaminación por polvo u otras materias extrañas.

Las muestras de mezclas asfálticas sobre las cuales se hará la aceptación o rechazo del lote, deben estar de acuerdo con los procedimientos descritos en esta norma.

3.- TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

El tamaño de la muestra estará determinando por el tamaño máximo del agregado dentro de la mezcla.

4.- TOMA DE MUESTRAS EN PLANTA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.1.- De una tanda recién descargada de la mezcladora deberá tomarse una muestra, por medio de una pala o cuchara, "raspando" la pila desde el fondo hasta la superficie en dos sitios a 180° uno del otro, y reduciendo al tamaño apropiado por medio de premezclado y cuarteo. Si la muestra va a representar más de una tanda de la mezcla, se deben tomar muestras a intervalos regulares, de acuerdo con el procedimiento que se acaba de mencionar; la muestra acumulativa será colocada en un recipiente. Después de que se haya tomado el número de muestras requeridas, la cantidad total se reduce al tamaño requerido, mezclándola y cuarteándola sobre una superficie lisa y limpia.

Una muestra no debe representar más de la producción de un día. Si es necesario puede ser calentada para facilitar su separación y cuarteo, evitando el sobrecalentamiento, usando solamente el calor necesario mínimo para permitir una mezcla satisfactoria.

Si se toman las muestras con el propósito de determinar la uniformidad de la producción de la planta no deben ser mezcladas entre sí, sino cada toma será ensayada por separado.

**TABLA 4.4.1.1:
TAMAÑO DE LA MUESTRA**

Tamaño nominal Máximo De los Agregados que pasan	Peso mínimo de las Muestra no compactada	Área mínima de la muestra de pavimento compactada cm²
Por el tamiz	kg (lb)	(pulg ²)
2.36 mm (N° 8)	18.(4)	232 (36)
4.75 mm (N° 4)	1.8 (4)	236 (36)
9.5 mm (3/8")	3.6 (8)	232 (36)

125 mm (1/2")	5.4 (12)	413 (64)
19.0 mm (3/4")	7.3 (16)	645 (100)
25.0 mm (1")	9.1 (20)	929 (114)
37.5 mm (1 1/2")	11.5 (25)	929 (114)
50.0 mm (2")	15.9 (35)	1453 (225)

4.2.- Las muestras tomadas de una pila de almacenamiento se obtendrán por la unión de cantidades iguales de mezclas tomadas de la superficie, centro y fondo de la pila, a través de huecos excavados en la misma.

4.3.- Las muestras tomadas de vehículos transportadores se sacarán de no menos de seis (6) puntos diferentes, aproximadamente a 305 mm (12") por debajo de la superficie, distribuidos sobre el vehículo de tal modo que queden en los puntos medios de las secciones que representan cada una la sexta parte del área superficial del vehículo y que se logran suponiendo una línea media a lo largo y dos líneas transversales que dividen la superficie en tres partes iguales.. Estas porciones se mezclarán y reducirán por cuarteo al tamaño requerido de la muestra.

5. -TOMA DE MUESTRAS ASFÁLTICAS IN SITU

5.1.- Las muestras tomadas del pavimento terminado, para la determinación de las características de la mezcla, deben tener un área medida sobre la superficie del pavimento no menor que la indicada y cubrir toda la profundidad de la capa que se está extendiendo. Debe tomarse por lo menos una muestra de la producción diaria, sacándola de tal manera que cause la menor perturbación en su densidad, y debe ser transportada firmemente envuelta y sujeta, para conservar su forma en caso de que se vaya a realizar la determinación de su densidad.

6. -TOMA DE MUESTRAS ASFÁLTICAS MEZCLADAS EN VIA

6.1.- Las muestras de mezclas asfálticas sobre la vía, se toman con el objeto de determinar estas propiedades físicas y contenido de ligante, así como la uniformidad del contenido de ligante después de haber sido incorporado a la mezcla.

6.2.-Si la mezcla se ha colocado en capas relativamente uniformes, las muestras se pueden obtener a intervalos no mayores de 150 m y si se quiere un control más riguroso de la uniformidad de la mezcla se tomarán muestras adicionales en cada uno de los intervalos de 150 m en puntos aproximadamente a 600 mm del borde del pavimento. Debe tenerse cuidado para no incluir materiales de la base sobre la cual se está construyendo el pavimento.

6.3.- Si la mezcla se ha colocado en capas relativamente uniformes, las muestras se pueden obtener a intervalos no mayores de 150 m y si se quiere un control más rigurosos de la uniformidad de la mezcla se tomarán muestras adicionales en cada uno de los intervalos de 150 m en puntos aproximadamente a 600 mm del borde del pavimento. Debe tenerse cuidado para no incluir materiales de la sub base o base sobre la cual se está construyendo el pavimento.

7.- IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Cada muestra vendrá acompañada de una descripción dando la siguiente información:

- Trabajo en el cual se va a usar el material, indicando nombre de la vía y otras identificaciones geográficas exigidas.
- Para muestras tomadas en planta, debe indicarse: nombre de la empresa, tipo, capacidad y ubicación de la planta; tipo de ligante asfáltico y agregados usados en la mezcla.
- Para muestras tomadas en la vía debe indicarse el número de la estaca y la localización transversal del pavimento; también si la muestra es del pavimento terminado o de las bermas, etc.

- Cantidad representada.
- Nombre y cargo de quien toma la muestra y quien la envía.
- Fecha del muestreo.
- Ensayos requeridos.
- Nombre y cargo de la persona a quien se le enviará el resultado.
- Cuando se trate de mezcla en frío, indicar fecha del mezclado.

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO

T-168

4.4.2.-EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 2172 y AASHTO T 164, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

1.- OBJETIVO

1.1.-Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán el Diseño del Pavimento, dentro de una construcción vial

1.2.-Describe métodos para la determinación cuantitativa del asfalto en mezclas asfálticas en caliente y en muestras de pavimentos. Los agregados obtenidos mediante estos métodos pueden emplearse para análisis granulométrico y otro tipo de ensayos.

2.-RESUMEN DEL MÉTODO

El ligante del pavimento es extraído con tricloroetileno, tricloroetano, cloruro de metileno, o benceno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular.

El contenido de asfalto se calcula por diferencia de peso del agregado extraído, del contenido de humedad y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso de las mezclas libres de humedad.

3.- USO Y SIGNIFICADO

Pueden emplearse todos los métodos para hacer determinaciones cuantitativas de asfalto en mezclas en caliente para pavimentos y en muestras de pavimento, para su aceptación, para su evaluación en el servicio, para control y para investigaciones Cada método prescribe el solvente o los solventes y cualquier otro reactivo que pueda utilizarse.

4.- APARATOS

- 4.1.- Estufa, que pueda mantener la temperatura a 110 ± 5 °C.
- 4.2.- Recipiente, de tamaño apropiado, para calentar los especímenes.
- 4.3.- Balanzas o básculas y pesas con aproximación mínima de 0.01%.
- 4.4.- Plancha de calentamiento eléctrica de 700 w u otra graduable
- 4.5.- Probetas de boca pequeña de 1 000 o de 2 000 ml de capacidad y opcionalmente, de 100 ml de capacidad.
- 4.6.- Cápsulas de porcelana de 125 ml de capacidad (para ignición).
- 4.7.- Desecador.

5. -REACTIVOS

- 5.1.- Solución saturada de carbonato de amonio $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$, químicamente puro.
- 5.2.- Cloruro de metileno, químicamente
- 5.3.- Tricloroetano químicamente puro
- 5.4.- Benceno químicamente puro

Nota 2. Puede requerirse tricloroetileno, cuando se recobre el asfalto a partir de la solución.

6. -PRECAUCIONES

Los solventes indicados en el numeral 5 deberán emplearse tan sólo bajo una campana o bajo una superficie con un sistema de desfogue efectivo en un área bien ventilada, por su toxicidad en algún grado, como se indica en seguida:

TABLA 4.4.2.1.- Máxima concentración

Solvente	Máxima concentración aceptable para Exposición durante 8 h ppm.
Benceno	25
Cloruro de metileno	200

Tricloroetileno	100
Tricloroetano	350

El tricloroetileno y el tricloroetano, en presencia del calor y humedad pueden formar ácidos que son extremadamente corrosivos para ciertos metales, particularmente cuando éstos se mantienen en contacto durante períodos prolongados. Deberá evitarse que estos solventes permanezcan en pequeñas cantidades en los tanques afluentes de los extractores de aluminio al vacío. Cuando se almacena tricloroetileno en un recipiente de acero y se halla en contacto continuo con humedad, puede descomponerse por deshidratación para formar líquidos hidrocarbonatos no saturados y cloruro de hidrógeno. Los tambores de acero que contengan tricloroetileno deberán almacenarse en un sitio frío y seco y deberán mantenerse herméticamente sellados y usarse tan poco como sea posible. El tricloroetileno deberá transferirse de los tambores a botellas de vidrio oscuras (carmelitas) y limpias para uso en el laboratorio.

7. -PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

7.1.- Obténganse las muestras de acuerdo con el ensayo

7.2.- Preparación de especímenes de ensayo.

Si la mezcla no es suficientemente blanda para separarla con una espátula, se la coloca en una bandeja y se calienta a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta que pueda manejarse o mezclarse.

Cuártese el material hasta que se obtenga el peso del material requerido para el ensayo (W1).

La cantidad de la muestra para el ensayo se determinará según el tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla, de acuerdo con la siguiente Tabla:

TABLA 4.4.2.2:
Tamaños de la muestra

Tamaño nominal máximo de agregado	Peso mínimo de la muestra
Mm	kg
4.7 5 (Nº 4)	0.5
9.5 (3/8")	1.0
12.5 (1/2")	1.5
19.0 (3/4")	2.0
25.0 (1")	3.0
37.5 (1 1/2")	4.0

Nota 3. Cuando el peso del espécimen de ensayo exceda la capacidad del equipo empleado (para un método particular), puede dividirse en porciones apropiadas y ensayarse, combinando luego adecuadamente los resultados para el cálculo del contenido de asfalto

Se necesita adicionalmente una muestra para la determinación de la humedad, en las mezclas. Tómese ésta del remanente de mezcla inmediatamente después de obtener el espécimen para el ensayo de extracción.

Nota 4. Si no se necesita la recuperación del asfalto a partir de la solución obtenida en la extracción, puede secarse hasta peso constante la muestra completa de ensayo en un horno entre 149 - 163 °C (300 - 325 °F) durante 2 a 2½ horas antes de la extracción, en lugar de determinar la humedad.

8. -HUMEDAD

Si se desea, determínese la humedad de la mezcla de acuerdo con el procedimiento descrito, "Humedad o destilados volátiles en mezclas asfálticas para pavimentos".

Calcúlese el peso del agua (W2), en la porción del ensayo de extracción, multiplicando el porcentaje en peso del agua, por el peso de la porción del ensayo de extracción (W1).

9.- APARATO

Adicionalmente a los aparatos enumerados en el numeral 5, para el Método A se requieren los siguientes:

Aparato de extracción, consistente en un aparato (tipo "Bowl"), en el cual se pueda rotar una taza de las características, a una velocidad variable y controlada hasta 3600 rpm. El aparato debe estar provisto de un recipiente para retener el solvente que escapa de la taza y un desagüe para remover dicho solvente. Debe tener también accesorios protectores para explosiones y deberá instalarse en una cámara con buena ventilación.

Nota 5. Pueden emplearse dispositivos similares de tamaños mayores.

Anillos filtrantes, de filtro o de papel, para el borde de la taza.

Pueden emplearse anillos filtrantes de papel de poca ceniza en lugar de anillos filtrantes de filtro.

Dichos anillos de papel de poca ceniza deberán conformarse a partir de una pila de papel de poca ceniza, de 0.05 a 0.005" de espesor. El peso nominal del papel deberá ser de 330 a 30 lb para una resma (500 hojas de 25" x 35"). El contenido de ceniza del papel no deberá exceder de 0.2% (aprox. 0.034 g/anillo)

10.- PROCEDIMIENTO (con extractor centrífugo)

- 1.-Determínese la humedad del material de acuerdo con el numeral 8.
- 2.-Colocar de 650 a 2500 gr. De la porción de ensayo en la taza y cúbrase con tricloroetileno, tricloroetano, o cloruro de metileno y déjese el tiempo suficiente para que el disolvente la desintegre (no más de 1 hora). Colóquese la taza que contiene la porción de ensayo y el solvente en el aparato de extracción. Séquese y determínese el peso del anillo filtrante y ajústese alrededor del borde de la taza. Apriétese la tapa firmemente sobre la taza y colóquese un recipiente bajo el desagüe para recoger el extracto.

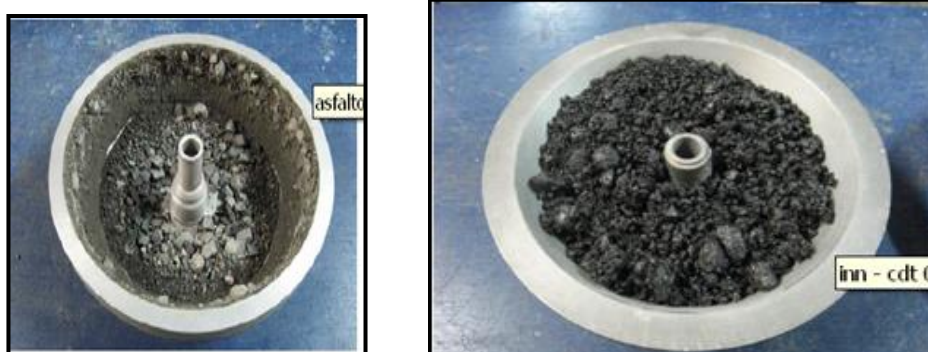
3.-Iníciase la centrifugación girando lentamente y aumentese gradualmente la velocidad a un máximo de 3600 rpm, hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe. Déjese que se detenga la máquina y agréguese 200 ml ó más como sea apropiado para el peso de la muestra del solvente empleado y repítase el procedimiento.

4.-Empléense suficientes adiciones de solvente (no menos de tres) de manera que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja. Recójase el extracto y las lavaduras en un recipiente apropiado.

5.-Remuévase el anillo filtrante de la taza y séquese al aire. Si se emplean anillos filtrantes de filtro, cepíllese la materia mineral adherida a su superficie y agréguese al material extraído. Séquese el anillo hasta peso constante en un horno a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$).

6.-Viértase, cuidadosamente todo el contenido de la taza en una cacerola metálica secándolo en un baño de vapor primero y luego hasta peso constante en un horno o en una placa de calentamiento a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$). Si se emplea tricloroetileno o tricloroetano como solvente para la extracción, puede omitirse el secamiento en el baño de vapor.

GRAFICO 4.4.2.1: SOLVENTE PARA EXTRACCIÓN



FUENTE: LABORATORIO MTOP CHIMBORAZO

7.-El peso del agregado extraído (W3) es igual al peso del agregado en la cacerola metálica más el aumento en el peso que experimenten los anillos filtrantes.

8.-Aplíquese el siguiente procedimiento alterno cuando se usen anillos filtrantes que produzcan poca ceniza. Colóquese el agregado y los anillos de filtro en una cacerola metálica limpia como se especifica arriba. Dóblese cuidadosamente el anillo filtrante seco y déjelo sobre el agregado.

9.-Quémese el anillo de filtro mediante ignición con un fósforo o un mechero bunsen. Determínese el peso del agregado extraído en la cacerola (W3).

Nota 6. Como el agregado seco absorbe humedad cuando se expone al aire húmedo, determínese el peso del agregado extraído, inmediatamente después de enfriado a una temperatura apropiada.

10.-Determínese la cantidad de material mineral en el extracto por medio de alguno de los métodos siguientes:

10.1.- Método de la ceniza. Anótese el volumen del extracto total recogido en el vaso graduado. Determínese el peso de una cápsula de porcelana. Agítese completamente el extracto y mídanse, aproximadamente 100 ml en la cápsula

Evapórese hasta secarse en un baño de vapor o placa de calentamiento. Caliéntese el residuo de ceniza a un calor al rojo apagado (500 a 600 °C), enfríese y agréguese 5 ml de solución de carbonato de amonio saturado por gramo de ceniza. Rebájese a la temperatura de la habitación por 1 hora; séquese en un horno a 110 °C a 5 °C hasta peso constante, enfríese en un desecador y determínese el peso.

Calcúlese el peso de la materia mineral en el volumen total del extracto (W4), así:

$$W4 = G [V1/(V1 - V2)]$$

Donde:

G = Cantidad de ceniza, en g.

V1 = Volumen total, ml.

V2 = Volumen después de remover la alícuota de ceniza, ml.

10.2.- Método de centrifugación. Empléese para este método cualquier centrifugadora adecuada de alta velocidad (hasta de 3600 r/min) del tipo de flujo continuo.

Determinese el peso de una taza limpia y vacía con aproximación a 0.01 ± 0.005 g y colóquese en la centrifugadora. Empléese un recipiente en el desagüe para recoger el efluente de la operación de la centrifugadora. Transfiérase todo el extracto (del método A o B, que sea apropiado) a un recipiente debidamente equipado con un control de alimentación (válvula o abrazadera, etc.). Para garantizar la transferencia cuantitativa del extracto al recipiente alimentador, deberá lavarse el recipiente que contiene el extracto, varias veces, con pequeñas cantidades de solvente limpio y agregarse las lavaduras al recipiente alimentador.

Iniciése la centrifugadora y déjese que alcance una velocidad constante (Por ejemplo 9,000 revoluciones por minuto para las del tipo SMM y más de 20,000 revoluciones por minuto para las del tipo Sharples). Abrase la línea de alimentación y aliméntese el extracto dentro de la centrifugadora a una rata de 100 a 150 ml/min. Después de que haya pasado todo el extracto a través de la centrifugadora, lávese el mecanismo de alimentación (con la centrifugadora todavía funcionando) con varias adiciones de solvente limpio, permitiendo que cada incremento corra a través de la centrifugadora hasta que el efluente sea esencialmente incoloro.

Déjese que la centrifugadora se detenga y remuévase la taza. Límpiense el exterior con solvente nuevo. Déjese evaporar el solvente residual en un embudo o en una caperuza para vapor y luego séquese el recipiente en un horno controlado a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Enfríese el recipiente y vuélvase a determinar inmediatamente el peso. El incremento representa el peso de materia mineral (W4) en el extracto

10.3.-Método volumétrico. Colóquese el extracto en un frasco previamente tarado y calibrado, el cual se deja en un baño de temperatura controlada dentro de una variación de ± 0.1 °C y déjese que alcance la temperatura a la cual fue calibrado.

Cuando se haya alcanzado la temperatura deseada, Llénese el frasco con el solvente que haya sido mantenido a la misma temperatura. Llévase el nivel del líquido en el frasco hasta el cuello; insértese el tapón, verificando que el líquido rebose el capilar, y remuévase el frasco del baño. Límpiase el frasco seco, determínese el peso con aproximación a 0.1 g y regístrese este peso como el peso del frasco más el extracto.

Calcúlese el volumen del asfalto y de los finos en el extracto en la siguiente forma:

$$V1 = V2 - \frac{M1 - M2}{G1}$$

Donde:

V1 = Volumen de asfalto y de los finos en el extracto. V2 = Volumen del frasco.

M1 = Masa de los contenidos del frasco.

M2 = Masa del asfalto y finos en el extracto o masa de la muestra total menos la masa del agregado extraído.

G1 = Peso específico del solvente determinado con aproximación a 0.001.

Calcúlese el peso de los finos en el extracto en la siguiente forma:

$$M3 = K (M2 - G3V1)$$

Donde:

M3 = Masa de los finos en el extracto.

M2 = Masa del asfalto y de los finos en el extracto.

V1 = Volumen del asfalto y de los finos en el extracto. G2 = Peso específico de los finos.

G3 = Peso específico de asfaltos.

$$K = \frac{G2}{G2 - G3}$$

10.4.-Método de solubilidad. Regístrese el peso del extracto total. Agítese completamente el extracto y médanse en seguida aproximadamente 100 g dentro de un frasco graduado

Calcúlese el peso de la materia mineral en el volumen total del extracto (W4) en la siguiente forma:

$$W4 = G \frac{W1}{W1 - W2}$$

Donde:

G = Ceniza como parte alícuota del espécimen, g.

W1 = Peso total en gramos.

W2 = Peso después de la remoción de la ceniza, g

11. -CALCULO DEL CONTENIDO DE ASFALTO

Calcúlese el porcentaje de asfalto en la porción de ensayo en la siguiente forma:

Contenido de asfalto

$$\% ASF = \frac{W1 - (W2 + W3 + W4) * 100}{1000}$$

Donde:

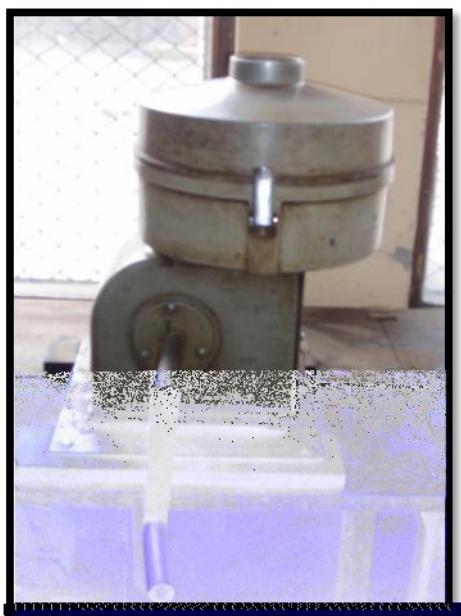
W1 = PESO MUESTRA + ASFALTO

W2 = PESO MUESTRA SIN ASFALTO

W3 = PESO EN DIFERENCIA FILTROS

W4 = PESO TOTAL CENIZAS

GRAFICO 4.4.2.2: EQUIPO PARA EXTRACCIÓN



FUENTE: LABORATORIO MTOP-CHIMBORAZO

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO

T 164

ASTM

D 2172

4.4.3.-ANÁLISIS MECÁNICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 546 y AASHTO T 30, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

1.- OBJETIVO

1.1.-Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán el Pavimento, dentro de una construcción vial

1.2.-Describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la granulometría de los agregados gruesos y finos recuperados de las mezclas asfálticas, empleando tamices con malla de abertura cuadrada.

2. -APARATOS

2.1- Balanzas. Una balanza con capacidad de 5.000 g y sensibilidad 0.1 g; otra con una capacidad mayor a 5000 g y sensibilidad de 1 g.

2.2.- Tamices. Los tamices empleados serán de mallas con aberturas cuadradas e irán montados sobre bastidores adecuados para evitar pérdidas de material durante el tamizado.

2.3.- Horno o Estufa. De temperatura regulable.

2.4.- Recipientes para mezcla, espátulas, cucharas, etc.

3. -PROCEDIMIENTO

1.-La muestra empleada será la totalidad del agregado de la mezcla asfáltica obtenida.

Los agregados se secan en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta

peso constante (variación de peso inferior al 0.1%; regístrese este peso). A continuación, se colocan en un recipiente apropiado y se cubren completamente con agua o solvente. Cuando se use agua, se le añadirá una pequeña cantidad de un agente humectante orgánico (metanol, abones líquidos, etc.) para facilitar el mojado de los agregados y asegurar una buena separación de las partículas finas

2.-Se agita vigorosamente el contenido del recipiente (Nota 1) y se vierte el líquido sobre el conjunto formado por un tamiz superior de 1.00 ó 2.00 mm (No. 18 o No.10) y el tamiz de 75 μm (No. 200).

Nota 1. Se ha encontrado que el empleo de una cuchara rígida de gran tamaño es muy útil para la agitación y dispersión de la muestra.

3.-La agitación debe ser vigorosa para lograr una separación de la fracción fina (75 μm) y conseguir que la suspensión se mantenga mientras se realiza el proceso de vertimiento. Durante esta operación se procurará evitar, en lo posible, la transferencia de material grueso en los tamices. Esta operación deberá repetirse las veces necesarias hasta que el líquido de lavado salga limpio.

4.-Todo el material retenido sobre el conjunto formado por los dos tamices se pasa de nuevo al recipiente de los agregados, el cual se secará en el horno a 110 ± 5 °C y se pesará finalmente con una aproximación de 0.1%.

A continuación se tamiza sobre una serie de tamices escogidos de acuerdo con las especificaciones de la mezcla empleada, incluyendo el tamiz de 75 μm (No. 200).

4.- CÁLCULOS Y RESULTADOS

Para determinar la cantidad de filler que contiene la muestra, se sumarán a la fracción obtenida por tamizado el material separado por lavado, el aumento de masa del papel de filtro o vaso de centrífuga (según el método de extracción) y finalmente la materia mineral o cenizas, obtenida por calcinación a partir de la disolución. Si se desea

comprobar el material eliminado por lavado, se pueden evaporar a sequedad los líquidos de lavado o filtrar a través del papel de filtro tarado, secando y pesando a continuación.

Las cantidades de las distintas fracciones retenidas en cada tamiz, así como la cantidad tamizada por el de 75 μm (No. 200), se convierten en los respectivos porcentajes dividiéndoles entre el peso total, de agregados.

Este peso total está constituido por la masa seca de los agregados antes de tamizar, más el peso total del filler

Los resultados del análisis granulométrico pueden expresarse de distintas formas, según los valores indicados en las correspondientes especificaciones:

En porcentaje, que pasa sobre la muestra total por cada uno de los tamices.

En porcentaje retenido sobre muestra total en cada uno de los tamices.

En porcentaje retenido entre cada dos tamices consecutivos.

Estos porcentajes se expresarán redondeando al número entero más próximo, excepto para el tamiz de 75 μm (No. 200) que se expresará con una aproximación del 0.1%.

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T 30
ASTM	D 546

4.4.4.-RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 1559, AASHTO T 245 y NLT 159/86, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

1.- OBJETIVO

1.1.- Este ensayo se utiliza para el control de agregados que constituirán el Pavimento, dentro de una construcción vial

1.2.- Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

2.-RESUMEN DEL MÉTODO

2.1.- El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 1/2") de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes.

2.2.- El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, deberá determinarse previamente el peso específico aparente de los agregados, así como el peso específico del asfalto, y el análisis de densidad-vacíos.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor "óptimo".

2.3.- Cuando se utilizan asfaltos líquidos, se preparan y compactan muestras de prueba con distintos porcentajes de asfalto líquido como en el caso del cemento asfáltico, excepto que la temperatura de compactación se toma con base en la viscosidad del asfalto después del curado o sea cuando ha liberado la cantidad especificada de solventes.

3. -APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS

a) Dispositivo para moldear probetas. Consistente en una placa de base Plana, con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir, ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer de tres (3) moldes.

Para facilidad de manejo, es conveniente que el molde este provisto de agarraderas.

b) Extractor de probetas. Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 13.0 mm (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del

molde, con la ayuda del collar de extensión. Se requiere de un elemento adecuado para transferir suavemente la probeta del molde al collar.

c) Martillo de compactación. Consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón de 4.53 kg (10 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 mm (18"), como se describe en la Figura 2. El martillo de compactación puede estar equipado con el protector de dedos.

d) Pedestal de compactación. Consistente en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado x 25.4 mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal,

e) Soporte para molde. Consistente en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición durante el proceso de compactación.

Nota 1. En lugar del martillo de operación manual y asociado con los equipos hasta ahora descritos, podrá usarse, un martillo mecánico, el cual haya sido calibrado para ofrecer resultados comparables con los del martillo manual.

f) Mordaza y medidor de deformación. La mordaza consistirá en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") finamente acabado. El segmento inferior, que terminará en una base plana, irá provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior.

El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable. El medidor de deformación consistirá en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior.

g) Prensa. Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm por minuto. Puede tener un motor eléctrico unido al mecanismo del pistón de carga.

h) Medidor de la estabilidad. La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 Kn (2039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

Nota 2. En lugar de medir la estabilidad con un anillo dinamométrico, se puede emplear cualquier otro dispositivo de medida de carga que cumpla los requisitos indicados anteriormente.

i) Elementos de calefacción. Para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra, se empleará un horno o placa de calefacción, provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 2.8 °C (5 °F).

j) Mezcladora. Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice con una mezcladora mecánica capaz de producir, en el menor tiempo posible, una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, para evitar el enfriamiento de los materiales, este proceso se realizará sobre una placa de calefacción o estufa, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

GRAFICO 4.4.4.1: MOLDES Y PROBETAS (BRIQUETAS DE ASFALTO)



FUENTE: LABORATORIO MTOP

GRAFICO 4.4.4.2: MARTILLO Y EQUIPO DE COMPACTACION DE PROBETAS DE ASFALTO



k) Tanque para agua, de 152.4 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ($140 \pm 1.8^{\circ} \text{F}$) o $37,8 + 1^{\circ} \text{C}$ ($100^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.

l) Tamices. Conjunto de: 50 mm (2"), 37.5 mm (1 1/2"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 12.5 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8); 300 mm (No. 50), 75 mm (No. 200).

- m) Cámara de aire para las mezclas con asfalto líquido, controlada termostáticamente y la cual debe mantener la temperatura del aire a $25^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$. ($77^{\circ} \pm 1.8^{\circ}\text{F}$).
- n) Termómetros blindados. De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8°C . Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20°C a 70°C y (68°F a 158°F) y sensibilidad de 0.2°C (0.4°F).
- o) Balanzas. Una de cinco (5) kg de capacidad, sensible a un (1) g para pesar agregados y asfalto; otra de dos (2) kg de capacidad, sensible a 0.1 g para las probetas compactadas.
- p) Guantes de soldador para manejar equipo caliente; guantes de caucho para sacar las muestras del baño de agua y crayolas para identificar las probetas.
- q) Bandejas metálicas, de fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas de 4 litros (1 galón) de capacidad, para mezclar asfalto y agregados, cucharones, recipiente con vertederos, espátulas, papel de filtro, etc.

4.-PREPARACION DE PROBETAS

4.1.-Número de probetas. Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (Con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos), de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "Óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo se prepararan tres probetas para cada contenido y preferiblemente cinco.

4.2.-Cantidad de materiales. Un diseño con tres a seis contenidos de asfalto, necesitará entonces por lo menos tres (3) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 1.2 kg de agregados: el mínimo necesario para una serie de muestras de una gradación dada será entonces de 23 kilos (50 lb) y alrededor de 4 lt (1

galón) de cemento asfáltico, asfalto líquido o de alquitrán. Se requiere, además, una cantidad extra de material para análisis granulométricos y determinación de pesos específicos.

4.3.-Preparación de los agregados. Los agregados se secarán hasta peso constante entre 105 C y 110 C (221 F y 230 F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. Se recomiendan las siguientes porciones:

- 25.0 a 19.0 mm (1" a 3/4");
- 19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8 ");
- 9.5 a 4.75 mm (3/8" a No. 4);
- 4.75 a 2.36 mm (No. 4 a No. 8);
- y pasa 2.36 mm (No. 8).

4.4.-Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación. La temperatura a la cual se calentará el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 centistokes (1 centistok = $1 \text{ mm}^2 / \text{S}$). La temperatura a la cual deberá calentarse el cemento asfáltico para que tenga una viscosidad de 280 ± 30 centistokes, será la temperatura de compactación.

Para asfaltos líquidos, la temperatura de mezclado, que es la que se debe alcanzar para que tenga una viscosidad de 170 ± 20 centistokes, puede determinarse a partir de la curva de viscosidad - temperatura del tipo y grado del asfalto que va a ser usado en cada caso particular.

Del diagrama de composición del asfalto líquido que se va a emplear, se determinará el porcentaje de solvente que contiene en peso, a partir de su viscosidad a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($140 \text{ }^\circ\text{F}$). Igualmente, se determinará la viscosidad a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($140 \text{ }^\circ\text{F}$) del asfalto líquido después de que haya perdido el 50% del solvente. La temperatura de compactación será determinada en el diagrama de viscosidad, como la temperatura a la cual deberá

calentarse el asfalto líquido para producir una viscosidad de 280 ± 30 centistokes, después de una pérdida del 50% del contenido original del solvente, cuando se trate de mezclas para pavimentación, para mezclas de conservación utilizando asfaltos líquidos, que se van a almacenar, se acepta hasta un 25% de pérdidas de solventes.

Las temperaturas a las cuales deberá calentarse el alquitrán para producir viscosidades específicas Engler de $25s \pm 3s$ y de $40s \pm 5s$, serán, respectivamente, las temperaturas, de mezcla y de compactación.

4.5.- Preparación de las mezclas. En bandejas taradas separadas para cada muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal forma que esta resulte con una altura de 63.5 ± 1.27 mm . Se calentarán los aireados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28°C (50°F) por encima de la temperatura de compactación, cuando son mezclas con cemento asfáltico o alquitranes, a 14°C (25°F) (por encima) para mezclas con asfalto líquido. Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla. A continuación se mezclan los materiales preferiblemente con mezcladora mecánica, o en su defecto, a mano con espátula. De todas formas, este proceso de mezclado deberá realizarse lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. El asfalto no deberá permanecer a la temperatura de mezcla por más de una hora.

Para el caso de asfaltos líquidos, una vez que la mezcla esta homogénea, se pesa la bandeja con la mezcla y la espátula usada, con aproximación a 0.2 g y se coloca en un horno con ventilación para el curado, manteniéndola a la temperatura de compactación

mas 11 °C (20 °F) para contrarrestar la pérdida de calor durante el manipuleo de la mezcla.

El curado se controla verificando el peso cada 10 o 15 minutos, haciendo comparación entre el peso de la mezcla y la pérdida de solvente. La mezcla se puede revolver con la espátula durante el curado para acelerar la pérdida de solvente. Todos los pesos deben hacerse con aproximación a ± 0.2 g.

4.6.- Compactación de las probetas. Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93 °C y 149 °C (200 °F y 300 °F).

Se monta el conjunto de compactación en la base y se sujeta rígidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.

Colóquese toda la mezcla recién fabricada en el molde, golpéese vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 Sobre el interior. Quítese el collar y alísese la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación.

Deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos.

Vuélvase a poner el collar y colóquese el conjunto en el soporte y sobre el pedestal de compactación.

Aplíquense 35, 50 o 75 golpes según se especifique (si no se indica, úsense 50 golpes; para asfalto líquido aplíquense 75 golpes), de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para el martillo de compactación una caída libre de 457 mm (18").

Manténgase el martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación

Retírense la placa de base y el collar e inviértase; vuélvase a montar el molde, y aplíquese el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

Para el caso de asfaltos líquidos, el ensayo no se debe efectuar sino pasadas 16 horas luego de la compactación. Si la muestra debe ser almacenada por más de 24 horas antes del ensayo, se debe proteger de la exposición al aire mediante sellado en un recipiente cerrado a prueba de aire.

Nota 4. Cuando el ensayo se realice con mezclas anteriormente fabricadas y frías, se comenzará calentando en estufa, a una temperatura de unos 30 C (54 *F) inferior a la especificada para la mezcla, la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones precisas para la fabricación de cada probeta.

Estas porciones se calentarán entonces a la temperatura especificada para la compactación durante 1 hora, realizándose luego la compactación de la forma general. Cuando las probetas se fabriquen con mezclas tomadas en obra, el proceso general de compactación será el mismo que se describe en este procedimiento, cuidando igualmente que la temperatura de compactación sea la adecuada al tipo de ligante empleado. No deberá emplearse una mezcla que haya sido recalentada más de una vez.

Después de la compactación, retírese la base y déjese enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Pueden utilizarse ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua, a menos que se coloque la muestra en una bolsa plástica. Sáquese la muestra del molde por medio de un gato u otro dispositivo apropiado, luego colóquese en una superficie plana, lisa. Generalmente se dejan enfriar las muestras durante la noche.

5.- ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

5.1.-Colóquense las muestras preparadas con cemento asfáltico a la temperatura especificada para inmersión en un baño de agua durante 30 o 40 minutos o en el homo

durante 2 horas. Manténgase en el baño o el horno a $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ($140^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$) para las muestras de cemento asfáltico y a $37.80^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$. Colóquense las muestras preparadas con asfalto líquido a la temperatura especificada en la cámara de aire por un mínimo de 2 horas. Manténgase la temperatura de la cámara a $25^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ($77^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$).

Límpiese perfectamente las barras guías y las superficies interiores del molde de ensayo antes de la ejecución de este, y lubríquense las barras guías de tal manera que el segmento superior de la mordaza se deslice libremente. La temperatura del molde de ensayo deberá mantenerse entre 21.1°C y 37.8°C (70°F y 100°F) empleando un baño de agua cuando sea necesario.

Retírese la probeta del baño de agua, horno o cámara de aire y colóquese centrada en el segmento inferior de la mordaza; se monta el segmento superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa.

Colóquese el medidor de flujo, en su posición de uso sobre una de las barras - guía y ajústese a cero, mientras se mantiene firmemente contra el segmento superior de la mordaza.

Manténgase el vástago del medidor de flujo firmemente en contacto con el segmento superior de la mordaza mientras se aplica la carga durante el ensayo.

5.2.- Aplíquese entonces la carga sobre la probeta con una prensa o gato de carga con cabeza de diámetro mínimo de 50.8 mm (2") a una razón de deformación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según se lea en el dial respectivo. Anótese este valor máximo de carga y, si es del caso, hágase la conversión. El valor total en newton (libras) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrar como su valor de estabilidad Marshall. Como se dijo antes, mientras se efectúa el ensayo de estabilidad deberá mantenerse el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra - guía;

libérese cuando comience a decrecer la carga y anotar la lectura. Este será el valor del "flujo" para la muestra, expresado en 0.25 mm (1/100"). Por ejemplo, si la muestra se deformó 3.8 mm (0.15") el valor del flujo será de 15. Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. El procedimiento completo, a partir de la sacada de la probeta del baño de agua, deberá realizarse en un periodo no mayor de 30 segundos.

6.- RECOMENDACIÓN PARA EL ENSAYO:

- ❖ En un ensayo de control de mezcla asfáltica se debe tener mucho en cuenta la compactación de la briqueta, para que no exista muchos vacíos de aire y de esta manera no exista resultados erróneos

REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T 245
ASTM	D 1559

4.4.5.-PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

ENSAYO RICE

Este ensayo está basado en las Normas ASTM D 2041 y AASHTO T 209, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este ensayo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este ensayo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

1.- OBJETIVO

1.1.- Este método se refiere a la determinación del peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimento sin compactar. El método incluye también una versión de ensayo rápido para determinar el peso específico relativo, que puede emplearse en un laboratorio de terreno o de planta.

2.- DEFINICIONES

2.1.-Peso específico. Como se determina mediante este método, es la relación del peso de un volumen dado de material a 25 °C (o a la temperatura establecida) con respecto al peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura.

3.- EQUIPO

3.1.- Recipiente. Se describen cuatro variantes de la técnica de saturación al vacío, empleando recipientes de diferentes tamaños y de un diseño funcional distinto.

Tipo A. Una taza de vidrio, plástico o de metal con una capacidad de por lo menos 2000 ml.

Tipo B. Un frasco volumétrico con una capacidad de por lo menos 2000 ml.

Tipo C. Un picnómetro de pared gruesa de vidrio de tamaño intermedio que tenga una Capacidad de aproximadamente de 4000 ml

Tipo D. Un picnómetro de plástico de tamaño grande que tenga una capacidad de por lo menos 4000 ml.

El tamaño del recipiente depende de los requerimientos para el tamaño mínimo. Los recipientes deberán ser suficientemente fuertes para resistir un vacío esencialmente completo y deberán tener tapas en la siguiente forma

Una tapa ajustada con empaquetadura de caucho y manguera de conexión, para emplear con la taza Tipo A.

Un tapón de caucho con una manguera de conexión, para emplear con el frasco volumétrico Tipo B.

Un conjunto adecuado de conexión de vacío consistente de un medidor de vacío, válvula de alivio, y tubo de conexión, además de un dispositivo de tapón para mantener regulación consistente del volumen, para emplear con el picnómetro Tipo C o D.

Una pequeña pieza de malla fina de alambre que cubra la abertura de la manguera, disminuirá la posibilidad de pérdida de material fino. A causa del peso involucrado, aproximadamente 20 kilogramos (44 lbs.), el recipiente para el picnómetro de mayor tamaño (Tipo D) deberá estar equipado con manijas adecuadas para facilitar el transporte y la agitación mientras se halla bajo vacío y para ayudar a la eliminación de burbujas. La construcción deberá permitir la observación visual de los efectos del vacío y de la agitación.

Nota 1. La sección del fondo de una olla de capacidad de 1.4 litros (1.5 cuartos de galón) de vidrio de boro silicato constituye una taza satisfactoria (Tipo A)

Nota 2. Se ha hallado que el plástico policarbonato es un material adecuado, cuando se fabrica

apropiadamente, para picnómetros de plástico de tamaño grande (Tipo D). Los ensayos han mostrado que este es seguro para emplear bajo vacío esencialmente completo dentro de un intervalo de temperatura desde 15 hasta 80 C (60 a 175 F).

3.2.-Balanza. Debe tener capacidad amplia y sensibilidad suficiente para que el peso específico de muestras de mezclas no compactadas de pavimento pueda ser calculado al menos con cuatro cifras significativas (3 decimales). Para el método de la taza (Tipo A), la balanza deberá estar equipada con un dispositivo sostenedor adecuado de suspensión que permita pesar la muestra mientras se halle suspendida del centro del platillo de la balanza.

Nota 3. Puesto que no hay mas cifras significativas en el cociente (peso específico) de las que aparecen ya sea en el dividendo (peso de la muestra en el aire) o en el divisor (el peso del agua desalojada), esto significa que la balanza debe tener una capacidad de lectura que proporcione pesos con al menos cuatro cifras. Recomendaciones específicas son:

Una balanza que pueda pesar 1500 g con precisión de 0.1 g para la tasa de 1000 ml (Tipo A) o para el frasco (Tipo B); una balanza que pueda pesar 10 kg con precisión de 0.5 g para el picnómetro de vidrio de 4000 ml (Tipo C); una balanza que pueda pesar 20 kg con precisión de 1 g para el picnómetro plástico de 10000 ml (Tipo D),

3.3.- Bomba de vacío o aspirador de agua. Debe ser tal que pueda evacuar el aire del recipiente hasta una presión residual de 4.0 kPa (30 mm de Hg) o menos. (Preferiblemente de cero) Puede emplearse un aspirador de agua o bomba de vacío con menor capacidad para la versión rápida del ensayo (numeral 11)

3.4.- Manómetro o medidor de vacío. Será adecuado para medir el vacío especificado.

3.5.- Baño con agua. Para los tipos A y B o para los recipientes de Tipo C, deberá emplearse un baño de temperatura constante (entre 20 y 30 ° C) de tamaño adecuado al recipiente. Para los picnómetros plásticos de tamaño grande, Tipo D, no se necesita baño de agua.

Cuando se emplea la técnica de pesar dentro del agua (6.4), se necesita un baño de agua para la inmersión del recipiente suspendido y de la muestra desaireada.

3.6.-Equipo misceláneo. Se recomienda un dispositivo adecuado (frasco Erlenmeyer) instalado en la línea para evitar que el agua entre a la bomba de vacío. Igualmente, el uso de un grifo de giro de plástico, en la línea adyacente al frasco o al picnómetro, disminuirá la pérdida del agua durante la agitación y proporcionará una desconexión rápida en caso de que se forme espuma o de funcionamiento deficiente. Para emplear con recipientes de vidrio, se requiere un esterilla de caucho o de plástico resistente como precaución de seguridad para evitar impacto sobre una superficie dura mientras están bajo vacío.

4. -CALIBRACIÓN DEL FRASCO Y DE LOS PICNOMETROS

4.1.-Calíbrese el frasco volumétrico (Tipo B) determinando adecuadamente el peso del agua a 25 ± 0.5 C (77 ± 0.9 F) requerido para llenarlo exactamente, lo cual debe asegurarse mediante el empleo de una placa de vidrio que sirve de cubierta.

Para el método de pesar en agua (numeral 6.4), debe calibrarse el frasco (Tipo B) para permitir el ajuste por temperatura determinando su peso sumergido en agua en el intervalo de las temperaturas del baño que probablemente se encontrarán en servicio.

4.2.-Calíbrese el picnómetro de pared gruesa de vidrio o de metal (Tipo C) determinando exactamente el peso del agua a 25 ± 0.5 C (77 ± 0.9 F) requerida para llenarlo.

Permítase que algo del agua rebose a través del tubo capilar mientras se inserta el tapón. Asegúrese de que el tubo capilar esté lleno hasta la parte superior y que no se presenten burbujas de aire después de que el picnómetro de vidrio se mantenga sumergido en el baño de agua de temperatura constante durante una hora.

4.3.-Calíbrese el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo D) determinando exactamente el peso del agua requerido para llenarlo en un rango de temperatura de 20 a 65 °C (70 a 150 °F) y elabórese una curva de calibración de peso contra temperatura .

Debe tenerse cuidado de seguir exactamente el mismo procedimiento para la calibración que el seguido para el ensayo. El tapón en forma de domo se cierra y se coloca en el picnómetro (Tipo D) casi lleno con agua. Déjense sin llenar alrededor de 50 milímetros (2"). Debe facilitarse la expulsión de las burbujas de aire aplicando vacío y sacudiendo, dejando caer el picnómetro primero sobre un lado y luego sobre el otro (Tipo D) alrededor de 10 mm (1/2 ") sobre la superficie del banco.

Esta aplicación de vacío y el procedimiento de eliminar burbujas deberán tomar alrededor de 10 minutos, de tal manera que el equilibrio de temperatura entre la cubierta y el agua se aproxime a la que se tenga durante la ejecución del ensayo.

El agua final es entonces vertida suavemente hasta que el nivel se halle alrededor de la mitad del cuello. Todas las burbujas de aire recogidas contra el domo que no pudieran eliminarse mediante sacudidas o giros del agua deben deshacerse o empujarse hacia la superficie con un alambre doblado. Insértese el tapón con ventilación empleando fuerza suficiente apenas para asentarlos e inmediatamente, límpiense el exceso de agua de la parte superior.

El exterior del picnómetro (Tipo D) se seca entonces, se pesa el picnómetro completo y se mide la temperatura del agua.

4.4 .-Mientras que la calibración del frasco (Tipo.B) o de cualquiera de los picnómetros (tipos C ó D) necesita efectuarse tan solo una vez, la calibración deberá comprobarse ocasionalmente, particularmente a 25 °C (77° F). El equipo debe mantenerse limpio y libre de cualquier acumulación que pueda cambiar el peso del volumen de calibración si este ha de mantenerse constante. Debe tenerse cuidado de emplearse solventes adecuados, especialmente con recipientes plásticos y los vasos de vidrio no deberán someterse a un vacío elevado si se han rayado o han sufrido cualquier clase de daño.

5.-MUESTREO

El tamaño de la muestra deberá estar de acuerdo con los siguientes requerimientos.

Muestras mayores que la capacidad del recipiente pueden ensayarse en una porción cada vez.

TABLA 4.4.5.1: TAMAÑO MINIMO DE MUESTRAS Y TAMAÑO MAYOR DE LOS AGREGADOS

Tamaño de la partícula de mayor tamaño del agregado en la mezcla, mm (“)	Tamaño mínimo de muestra, g
50.0 (2")	6000
37.7 (1 ½")	4000
25.4 (1")	2500
19.1 (¾")	2000
12.5 (½")	1500
9.5 (3/8")	1000
4.75 (N°8)	500

6.- PROCEDIMIENTO

1.-Sepárense las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, de tal manera que las de la porción fina del agregado no sean mayores de 6.3

mm (1/4"). Si la mezcla no está suficientemente floja para separarla manualmente, colóquese en una cubeta grande y plana y caliéntese en un horno hasta que pueda manipularse.

2.- Enfríese la muestra hasta la temperatura ambiente, colóquese en un recipiente y pése.

Desígnese el peso neto de la muestra como A, agréguese agua suficiente aproximadamente a 25 °C. (27 °F) para cubrir la muestra. Con el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo A, B, C, D,), la muestra no tiene que ser enfriada y el agua agregada a cualquier temperatura conveniente puede llevarse hasta alrededor de la mitad del domo de la tapa para disminuir el tiempo de evacuación.

3.- Remuévase el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un período de 5 a 15 minutos (véase numeral 5). Un vacío parcial de 4 kPa (30 mm de Hg) de presión absoluta es aproximadamente equivalente a 730 mm de Hg (28.7 pulgadas de Hg) de lectura sobre un medidor de vacío al nivel del mar. Agítese el recipiente con los contenidos, ya sea continuamente mediante un dispositivo mecánico o manualmente mediante agitación vigorosa, a intervalos de alrededor de dos minutos. Los vasos de vidrio deben manipularse sobre una superficie resistente, tal como caucho o esterilla plástica, y no sobre una superficie dura, para evitar impacto mientras esta bajo vacío.

El vacío puede aplicarse y disminuirse gradualmente empleando la válvula de sangría.

4.- Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado (numeral 3), procédase a una de las siguientes determinaciones:

Peso en el aire $A / (A + D - E)$

Donde:

A = Peso de la muestra g.

D = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C (77° F), g.

E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25° C (77° F), g.

REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM	D 2041
AASHTO	T 209

4.5.-TERMINOLOGIA REFERIDA A DEFINICIÓN DE LOS TERMINOS MÁS USUALES DEL MANUAL DE ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS.

ABRASIÓN.- Desgaste mecánico de agregados gruesos y rocas resultante de la fricción o impacto dentro de la maquina denominada LOS ANGELES, la que rota alrededor de su eje.

ABSORCIÓN.- Agua que es retenida en el suelo o roca, después de 24 h.

ACEITE DE CARRETERA.- Un aceite pesado de petróleo, generalmente del tipo de los asfaltos de curado lento (SC).

ADHESIÓN.- Resistencia al corte entre el suelo y otro material cuando la presión que se aplica externamente es cero.

ADHESIVIDAD.- (de los ligantes bituminosos a los áridos finos) En base al procedimiento Riedel Weber se determina la adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos.

AGREGADO.- Un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

AGREGADO ANGULAR.- Son aquellos que poseen bordes bien definidos formados por la intersección de caras planas rugosas.

AGREGADO BIEN GRADADO.- Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

AGREGADO DE GRADACIÓN ABIERTA.- Agregado que contiene poco o ningún relleno mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

AGREGADO DE GRADACIÓN FINA.-Agregado cuya gradación es continúa desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan estas últimas

AGREGADO DE GRADACIÓN GRUESA.-Agregado cuya gradación es continúa desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

AGREGADO DENSAMENTE GRADADO.-Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

AGREGADO FINO.-Agregado que pasa el tamiz (N°4).

AGREGADO GRUESO.- Agregado retenido en el tamiz (N°4).

AGUA ABSORBIDA.-Agua que es retenida mecánicamente en el suelo o roca.

AGUJAS DE GILLMORE.- Es un aparato que se utiliza para determinar los tiempos de fraguado.

AHUELLAMIENTO.-Surcos que pueden desarrollarse sobre un pavimento en las huellas de las ruedas. Los ahuellamientos pueden ser el resultado de una consolidación o movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tránsito, o pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Pueden ocurrir en pavimentos asfálticos nuevos que han tenido muy poca compactación durante su construcción, o como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el movimiento vehicular.

ALUVIAL.-Suelo que ha sido transportado en suspensión por el agua y luego depositado sedimentándose.

ANÁLISIS MECÁNICO.-Sirve para determinar la granulometría en un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

ANGULO DE FRICCIÓN EXTERNA.- entre la abscisa y la tangente de la curva que representa la relación de la resistencia al corte entre el esfuerzo normal que actúa entre el suelo y la superficie a otro material.

Nota: Se recomienda consultar un texto de Mecánica de Suelos.

ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA ó ROZAMIENTO INTERNO (grados).- (ángulo de resistencia al corte), es aquel que se produce entre la tensión normal y la tangente de la envoltura del círculo de MOHR, en el punto que representa una condición de falla en un material sólido.

Nota: Se recomienda consultar un texto de Mecánica de Suelos.

ANGULO DE REPOSO, α (grados).- El que se produce entre lo horizontal y el talud máximo que el suelo asume a través de un proceso natural

APARATO DE VICAT.- Instrumento que sirva para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico.

APARATO A VAPOR.- Se utiliza para determinar la estabilidad de volumen (método del agua hirviendo por el procedimiento de las “galletas”).

ARENA MOVEDIZA.-Condición según lo cual el agua fluye hacia arriba con velocidad suficientemente como para reducir significativamente la capacidad de soporte del suelo con un decrecimiento de su presión intergranular.

ASFALTO.-Un material cementante, entre carmelita oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de los petróleos crudos.

ASFALTO DE CURADO LENTO (SC).-Asfalto diluido compuesto de cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad.

ASFALTO DE CURADO MEDIO (MC).-Asfalto diluido compuesto de cemento asfáltico y un diluyente tipo Kerosene de volatilidad media.

ASFALTO DE CURADO RÁPIDO (RC).-Asfalto diluido compuesto de cemento asfáltico y un diluyente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

ASFALTO DILUIDO.-Cemento asfáltico que ha sido licuado al mezclarlo con solventes de petróleo (también llamados diluyentes), en lo que se refiere a los asfaltos diluidos RC y MC. Los diluyentes se evaporan una vez expuestos a las condiciones atmosféricas, permitiendo así que el cemento asfáltico realice su función.

ASFALTO EMULSIONADO (EMULSIÓN ASFÁLTICA).-Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua) en donde el agua forma la fase continua de la emulsión, y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto pueden ser de tipo aniónico (glóbulos cargados negativamente) o cationico (glóbulos cargados positivamente), dependiendo del agente emulsificante.

ASFALTO EN PELÍCULA DELGADA.- Ensayo que permite determinar el efecto del calor y del aire sobre una película de materiales asfálticos semi-sólidos (TFOT). También se puede hacer en horno rotatorio.

ASFALTO NATURAL.-Asfalto que ocurre en la naturaleza y que ha sido derivado del petróleo por procesos naturales de evaporación de las fracciones volátiles, dejando así las fracciones asfálticas. Los asfaltos naturales de mayor importancia se encuentran en los depósitos de los lagos de Trinidad y Bermúdez.

ASFALTOS DE ROCA.- Roca porosa, tal como la arenisca o la caliza, que ha sido impregnada con asfalto natural mediante un proceso geológico.

AUTOCLAVE.- Aparato que se usa para determinar la expansión potencial de un cemento.

BALANZA DE "MICHAELIS".- Que se utiliza para el ensayo de tracción de testigo de montos de cemento, moldeados en moldes especiales que tienen forma de "ochos".

BANCO DE GRAVA.- Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclada en mayor ó menor cantidad con material fino, como la arena o la arcilla, resultando en diferentes combinaciones; por ejemplo arcilla gravosa, arena gravosa, grava arcillosa, grava arenosa, etc.

BAÑO DE AGUA.- Elemento (baño) provisto de termostato.

BARRENO.- Instrumento en forma de espiral, con un elemento helicoidal.

BITUMEN.- Un tipo de substancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semi-sólida, o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas (o alquitranes), los betunes y las asfálticas.

CAL- Oxido de calcio CaO: Adopta la denominación de cal rápida e hidratada, según su proceso de producción.

CALICATA.- (Perforación): Que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

CANTABRO.- (ensayo): Procedimiento para determinar la pérdida por desgaste de una probeta de ensayo elaborado con mezcla asfáltica.

CANTO RODADO.- Partícula de roca redondeada o semi-redondeada que pasa la zaranda de 3" y son retenidas en la malla N° 4.

CAPA ASFÁLTICA DE FRICCIÓN DE GRADACIÓN ABIERTA.- Una capa superficial de pavimento que consiste de una mezcla de planta con muchos vacíos, y

que permite el drenaje rápido de aguas de lluvia a través de la capa y hacia la berma. La mezcla se caracteriza por un alto porcentaje de agregado grueso de un solo tamaño. Proporciona una superficie resistente al desgaste.

CAPA ASFÁLTICA DE NIVELACIÓN.-Una capa (mezcla de asfalto y agregado) de espesor variable usada para eliminar irregularidades en el contorno de una superficie existente, antes de un tratamiento o de una construcción.

CAPA DE BASE.-La capa de material que se encuentra inmediatamente debajo de la capa superficial o la capa intermedia (binder). Puede estar compuesta de roca triturada, grava y arena triturada, o cualquier combinación de estos materiales. También puede estar confinada con asfalto.

CARBURO DE CALCIO.-Material utilizado en instrumentos destinados a medir el porcentaje (%) de humedad de suelos, materiales, etc., en forma rápida y muy aproximada.

CBR (California Bearing Ratio).-Valor soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

CEMENTO ASFÁLTICO.- Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

CEMENTO (Portland) TIPOS:

Tipo I: Es el común para todo uso de construcción.

Tipo II: Resistente moderadamente a los sulfatos

Tipo III: De alta resistencia inicial.

Tipo IV: Que desarrolla su velocidad de resistencia y velocidad lenta Tipo V : Que resista la acción de los sulfatos.

CHANCADO (Triturado).- La porción total sin tamizar que resulta de un triturador de piedra.

COHESIÓN.- La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

COHESIÓN.- (aparente).- En suelos granulares debido a fuerzas de capilaridad.

COLOIDALES (partículas).-Tamaño tan pequeños que ejercen una actividad superficial apreciable sobre las propiedades del agregado.

COMPACTACIÓN.-Densificación de un suelo por medio de una manipulación mecánica.

COMPRESIÓN: Acción de comprimir un material aplicando una carga que puede ser axial, existiendo variantes en ensayos como: no confinada, triaxial y entre estos el ensayo consolidado no drenado; el ensayo drenado, el ensayo no consolidado no drenado y que sirven para medir el ángulo de fricción interna F); la cohesión (c), cuyos valores se emplean en análisis de estabilidad en estructuras (fundaciones), cortes, taludes, muros de contención, etc.

COMPRESIÓN NO CONFINADA.-Procedimiento para determinar la resistencia al corte de un suelo.

CONSISTENCIA.- Relativa facilidad con que el suelo puede fluir y deformarse.

CONSOLIDACIÓN.-Reducción gradual en volumen de un suelo, como resultado de un incremento de las tensiones de compresión.

Puede haber:

Consolidación Inicial (compresión inicial)

Consolidación Primaria.

Consolidación Secundaria.

CONSOLIDACIÓN (ensayo).-Es una prueba en la cual el espécimen está lateralmente confinado en una arcilla y es comprimido entre dos superficies porosas.

CONTRACCIÓN.-Esfuerzo lineal asociado con un decrecimiento en longitud.

CONTRACCIÓN (factores).-Parámetros relativos a cambios de volumen de un suelo.

CORTE (directo).-Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra.

CUARTEO.-Procedimiento de reducción del tamaño de una muestra.

CURVA DE COMPACTACIÓN (curva de Proctor).-que relacione el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua del suelo para un determinado esfuerzo de compactación.

DENSIDAD EN EL SITO (in situ).-Procedimiento para determinar el peso unitario de los suelos en el terreno.

DESTILACIÓN (de emulsiones).-Procedimiento de separación del residuo, aceite destilado. También hay de asfaltos líquidos.

DOBLAMIENTO.-Ensayo de productos metálicos.

DRILL.-Máquina o pieza de equipo diseñado para penetrar en la tierra o formación de roca.

DUCTILIDAD.-En los materiales asfálticos, permite determinar la elasticidad (ductilidad), de los materiales asfálticos de consistencia sólida y semi-sólida.

DUREZA BRINELL.-Ensayo para determinar la resistencia a la penetración de una esfera dura dentro de la superficie.

ELASTICIDAD.-Propiedad del material que hace que retorne a su forma original después que la fuerza aplicada se mueve o cesa.

EMULSIFICANTE.-Substancia que modifica la tensión superficial de gotas microscópicas (coloidales).

ENSAYO DE LA MANCHA.-Procedimiento que permite comprobar si un asfalto ha sufrido un recalentamiento en su proceso de obtención.

ENSAYO MARSHALL.- Procedimiento para obtener diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

ENSAYO SPT.- Medida de la resistencia de un suelo al ser hincado en el terreno, un muestreador ó instrumento.

EQUIVALENTE DE ARENA.-Determinación del contenido de polvo fino nocivo (sucio) en un material ó medidor de la cantidad de limo y arcilla según el ensayo respectivo.

ESTABILIDAD.-La habilidad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.-Una estructura de pavimento con todas sus capas compuestas de mezclas de asfalto y agregado, o con una combinación de capas de asfalto y capas de agregado sin tratar, colocadas sobre una subrasante tratada o sin tratar.

EXTRACCIÓN (cuantitativa) del asfalto.- Sirve para determinar el porcentaje (%) de bitumen de una mezcla asfáltica.

FINOS.-Porción de suelo más fino que la malla N° 200.

FRAGILIDAD FRAAS.-Ensayo que permite determinar el punto de fragilidad Fraas (temperatura).

GRADOS DE PENETRACIÓN.-En los cementos asfálticos es un sistema de clasificación basado en la penetración a una temperatura de 25°C. Existen cinco grados patrones de clasificación: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

GRADOS DE VISCOSIDAD.-Es un sistema de clasificación de cementos asfálticos basado en rangos de viscosidad a una temperatura de 60°C (140°F). Usualmente también se especifica una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es de

establecer valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Los 60°C (140°F) se aproximan a la máxima temperatura de servicio de la superficie del pavimento asfáltico. Los 135°C (275°F) se aproximan a la temperatura de mezclado y colocación de pavimentos de mezclas en caliente. Existen cinco grados de cemento asfáltico basado en la viscosidad del asfalto original a 60°C (140°F).

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO.- Determina el Peso Específico de un suelo con el Picnómetro, siendo la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidas a una temperatura dada.

$$\text{b) Gravedad Específica Nominal} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen Nominal}}$$

Significa lo anterior que para (a), será necesario calcular el volumen aparente que está dado por los vacíos accesibles al agua y que para (b), hay que excluir aquellos vacíos.

GRIETA (crack).- Pequeña fractura que es pequeña con respecto a la dimensión del área en la cual cierre.

HIDRATACIÓN.-Formación de un compuesto por combinación de agua en otras sustancias.

HIDRÓMETRO.-Instrumento de laboratorio que permite determinar el porcentaje de partículas de suelo dispersado que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

HORIZONTE (suelo).- Una de las capas de un perfil de suelos.

HUMEDAD.-Porcentaje de agua en suelo o material

ÍNDICE DE FORMA (agregados).- Permite medir las características de forma y textura.

INERTE.- Que no participa en alguna forma en una reacción química.

INFLAMACIÓN (Punto de).- Es la respuesta del bitumen, al calor de una llama o fuente para tener la temperatura a la cual se produce la ignición. Puede hacerse con la copia abierta TAG.

LÍMITE LÍQUIDO.- Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO.- Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido

LIQUEFACCION.-Proceso de transformación del suelo del estado sólido al estado líquido.

MALLA.-La abertura cuadrada de un tamiz.

MATERIA ORGÁNICA (suelos).-Elementos perjudiciales en un suelo o material: turba, raíces, etc.

MÉTODOS NUCLEARES.- Determinación de densidades en los terraplenes, bases y superficies, utilizando procedimientos nucleares. Asimismo para determinación de humedad.

MISCIBILIDAD (con agua).-Fenómeno de coagulación cuando se diluye la emulsión en agua.

MODULO DE FINURA.-Un número empírico que se obtiene sumando los porcentajes retenidos en cada una de las mallas que se indican más abajo y luego dividiendo el resultado entre 100.

Las mallas son:

Nº 100	Nº 8
50	4/8
30	¾
16	1 ½

MODULO RESILIENTE (suelos).-Procedimiento para medir el módulo elástico dinámico (resiliencia) en un suelo.

MUESTRAS DE CAMPO.- Materiales obtenidos de un yacimiento, de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativos y más pequeñas según procedimientos establecidos.

MUESTREADORES.-Instrumentos que permiten obtener muestras, existiendo: los muestradores de pistón y los de tubo abierto. Los primeros son los mejores.

MUESTREO.-Investigación de suelos, materiales, etc., con la finalidad de su mejor empleo y utilización.

MU METER.-Aparato similar a un remolque que se utiliza para determinar la fuerza en fracción lateral sobre superficies pavimentadas.

PAVIMENTO (drenante).-Determinado tipo de mezcla asfáltica elaborado con predominio de piedras sobre arena.

PH.- Índice de acidez o alcalinidad de un suelo o concentración de ion hidrógeno.

PH (emulsiones).-Proceso por medio de diferencia de potencias.

PICNÓMETRO.- Recipiente de vidrio, forma cilíndrica o cónica.

PIEZÓMETRO.-Aparato que mide la carga en un punto por debajo de la superficie.

POIS.-Una unidad de centímetro-gramo-segundo de viscosidad absoluta, correspondiente a la viscosidad de un fluido en donde un esfuerzo de una dina por centímetro cuadrado es requerido para mantener una diferencia de velocidad de un centímetro por segundo entre dos planos paralelos del fluido, orientados en la dirección del flujo y separados por una distancia de un centímetro.

POROSIDAD – RELACIÓN.-Entre el volumen de vacíos del agregado dentro de los intersticios de la roca y el volumen total.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO (anillo y bola).-Ensayo que permite la determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos.

REACTIVIDAD (agregado/álcali del cemento).-Método para medir la posible reactividad de los agregados con los álcalis del aglomerante.

RECUPERACIÓN (elástica).-Sirve para determinar el grado de elasticidad de los asfaltos modificados.

RELACIONES HUMEDAD/DENSIDAD (Proctor).-Humedad vs. P.U. de suelos compactados.

RELLENO MINERAL.-Un producto mineral finamente dividido en donde más del 70 por ciento pasa el tamiz de 0.075 mm (#200). La caliza pulverizada constituye el relleno mineral fabricado más común. También se usan otros polvos de roca, cal hidratada, cemento Portland, y ciertos depósitos naturales de material fino.

REFRENTAR EL CONCRETO (los testigos).-Acción de colocar una cubierta sobre los testigos antes de ser ensayados a la comprensión.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.- Es la habilidad de una superficie asfáltica de pavimento, particularmente cuando esta mojado, para resistir el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Los factores que conducen a una alta resistencia al deslizamiento son generalmente los mismos que conducen a una alta estabilidad. Entre los factores que más contribuyen esta un apropiado contenido de asfalto en la mezcla y una textura superficial rugosa del agregado.

El agregado, en particular, también debe ser capaz de resistir el pulimento. Los agregados que contienen minerales que no pueden ser pulidos, y con diferentes características de desgaste y abrasión, proporcionan una continua regeneración de la

textura del pavimento y, por lo tanto, mantienen una superficie resistente al deslizamiento.

SALES SOLUBLES (en agregados de pavimentos flexibles).-Procedimiento para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados.

SECADOR.-Un aparato que seca los agregados y los calienta a la temperatura especificada.

SEDIMENTACIÓN (de emulsiones).-Valora el asentamiento que se produce durante el almacenamiento de las emulsiones asfálticas.

SOLUBILIDAD.-Una medida de la pureza de un cemento asfáltico. La porción del cemento asfáltico que es soluble en un solvente específico tal como el tricloroetileno.

La materia inerte, tal como las sales, el carbón libre, o los contaminantes inorgánicos, es insoluble.

STOKE.-Una unidad de viscosidad cinemática, igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida por la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.

SUB-BASE.-La capa de una estructura de pavimento asfáltico que se encuentra inmediatamente debajo de la capa de base. Si el suelo de subrasante es adecuado, puede servir como capa de subbase.

SUBRASANTE.-El suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento. El suelo de subrasante es llamado a veces suelo de fundación.

SUBRASANTE MEJORADA.-Subrasante mejorada como plataforma de trabajo mediante (1) el uso de materiales granulares o estabilizantes como el asfalto, la cal, o el cemento Portland, o (2) el uso de cualquier capa o capas de material seleccionado o mejorado y colocado directamente sobre el suelo de subrasante existente.

SUELOS INALTERADOS (No disturbados).-Generalmente son cohesivos que conservan su estructura y humedad.

TAMIZ.-Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

TENSIÓN.- Ensayo que se practica en barras y alambres de acero, determinando parámetros que hacen a la calidad del producto, como son: alargamiento, área y su reducción, carga máxima, carga final, etc.

TENSIÓN DE COMPRESIÓN.-Esfuerzo normal que tiende a acortar el cuerpo en la dirección en la que actúa.

TESTIGO.-Una muestra cilíndrica de concreto endurecido, de mezcla bituminosa compactada y endurecido usualmente obtenida por medio de una broca diamantina de una máquina extractora.

TOLERANCIAS DE ENTREGA.-Variaciones permitidas en las proporciones exactas de asfalto y agregado que se descargan en el amasadero.

TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE AGREGADO.- Tolvas que almacenan los tamaños necesarios de agregado y los alimentan al secador en las mismas proporciones requeridas por la mezcla final.

TOLVAS DE ALMACENAMIENTO DE AGREGADO CALIENTE.- Tolvas que almacenan los agregados calientes ya separados antes de su proporcionamiento final en el mezclador.

TORONES.- Elementos constitutivos de los cables de acero.

TRABAJABILIDAD.- La facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

VACIOS.-Espacios en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

CAPITULO V

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS.

El Manual de Ensayos de Mecánica de Suelos y Pavimentos para el Laboratorio de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, es enfocado como una herramienta de fácil manejo para docentes, y estudiantes, cuyos ensayos fueron aplicados a través de un solo procedimiento, resumido de diferentes normas como la ASTM , INEN , AASHTO , entre otros, dando un efectivo resultado en control de agregados en las etapas de construcción de una obra en ejecución, así tenemos:

Los ensayos de control más utilizados en la etapa de construcción de la obra básica en una vía son: Granulometría fina, Granulometría gruesa, Clasificación de suelos, Limites de Attemberg, Abrasión, Proctor Modificado, CBR, siendo este un referente tanto para su aceptación o rechazo en obra.

Los ensayos de control más utilizados en la etapa de construcción de un pavimento flexible son: Gravedad específica de agregado fino y grueso, ensayos de control de mezclas asfálticas por el método Marshall, método de Extracción, método Rice, y Análisis mecánico de los agregados, siendo este un referente esencial para la determinación de las cantidades necesarias de agregados, para de esta manera cumplir con las normas de diseño

5.2.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Se realizó la investigación mediante ensayos de control en cada uno de los materiales constitutivos de obra básica y del pavimento, cuyos resultados de los ensayos obtenidos de los diferentes métodos fueron validados y comprobados por los técnicos del MTOP-CHIMBORAZO, técnicos de las Cía. contratistas COVIPAL y CONSERMIN, los cuales están ejecutando la construcción de la carretera Riobamba –Cebadas y la carretera Riobamba- Zhud respectivamente ,se adjunta en el anexo un resumen de los ensayos .

CAPITULO VI

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1- CONCLUSIONES

- Se cumplió con los objetivos planteados al inicio de esta investigación, de tal manera que en este manual se recomiendan los ensayos más idóneos para nuestros suelos y materiales , recopilados de las normas como la INEN, ASTM, AASHTO ,INSTITUTO DEL ASFALTO, uniformizando en un solo procedimiento para cada ensayo de este manual , los mismos que fueron revisados y validados por los técnicos del MTOP-CHIMBORAZO, técnicos de las Cía. contratistas COVIPAL y CONSERMIN. Los ensayos fueron experimentados y aprobados en la construcción de la carretera Riobamba – Cebadas y la carretera Riobamba- Zhud respectivamente, por tanto satisfacen y justifican la utilización de este Manual de ensayos de Mecánica de Suelos y Pavimentos para el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad de Chimborazo
- Los resultados de un ensayo pueden arrojar resultados erróneos si no se toman en cuenta las recomendaciones en la ejecución de los diferentes ensayos, así como en el cuidado que se debe tener en la transportación, conservación de muestras y en las definiciones, pasos y instrucciones que se debe seguir previo a un ensayo.
- Con la compactación variamos la estructura del suelo y algunas de sus características mecánicas. Algunos de los parámetros que varían con la compactación son: permeabilidad, peso específico y resistencia al corte. A través de la compactación buscamos las propiedades adecuadas para el suelo de una determinada fundación, así como una buena homogenización del mismo, lo

cual causará una reducción de la posibilidad de producirse asentamientos diferenciales.

- El peso específico de los agregados es una característica generalmente empleada para cálculos relacionados con el desplazamiento del agregado en hormigones asfálticos.
- Algunos suelos absorben el agua lentamente, por lo tanto es posible obtener valores falsos del límite líquido si se añaden los incrementos de agua demasiado rápido, puede evitarse esto aumentando el mezclado o se lo da mayor tiempo.

6.2.-RECOMENDACIONES.-

- ❖ Es importante que los profesionales a cargo de obras, cuenten con el equipo de laboratorio necesario para facilitar el control de la consistencia, resistencia, estabilidad de los agregados y de la misma forma la mezcla asfáltica los cuales proporcionen la trabajabilidad requerida en el proyecto.
- ❖ En la elaboración del Manual de ensayo de Mecánica de Suelos y Pavimentos para el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo se debe tomar en cuenta los procedimientos que se realizan en cada ensayo para que los agregados tomen los resultados ideales para que sean aceptados en la ejecución de un proyecto.
- ❖ Los ensayos de compactación no es el único método de mejora de suelos, aún si es uno de las más económicos y populares. Existen varios otros métodos, por ejemplo: las inyecciones, el congelamiento, la vibro fluctuación, el pre compresión, los drenes, la estabilización con materiales como la cal o las cenizas.
- ❖ En la actualidad se recomienda realizar el ensayo de compactación modificado ya que su energía de compactación es equivalente a los equipos de compactación que se utiliza en la ejecución de la construcción de una carretera.

BIBLIOGRAFIA.-

1. MOP-OO1-F-2000: Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes. Edición 2000.
2. www.carreteros.org/index.html
3. Libro de JUÁREZ BADILLO, “mecánica de suelos” .Editorial limusa. Edición 2003.
4. Libro de LAMBE, WHITMAN, WILEY, “mecánica de suelos”. Editorial limusa. Edición 2000.
5. Libro de BERRY, “mecánica de suelos”. Editorial McGraw-Hill. Edición 2001.
6. Libro de ZEEVAERT, “mecánica de suelos”. Editorial Crecer. Edición 2004.
7. Libro de PERLOFF, BARON, “mecánica de suelos”. Editorial Giley. Edición 2002.
8. BOWLES. “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil”. Editorial McGraw-Hill. Edición 2000.
9. Tesis: ”Apuntes para la cátedra de laboratorio de mecánica de suelos “dé: Ing. ROQUE SÁNCHEZ RÚELAS
10. JOSEPH BOLEES. Manual de suelos en ingeniería civil. Editorial Crecer .Edición 2003

ANEXOS

EJEMPLOS DE HOJAS DE CÁLCULO:

▪ EJEMPLOS DE CÁLCULO DE ENSAYOS EN MECANICA DE SUELOS

- ✚ Ensayos de Clasificación de suelos
- ✚ Ensayos de Granulometría
- ✚ Ensayos de Limites de líquido
- ✚ Ensayos de Limites de Plástico
- ✚ Ensayos de Abrasión
- ✚ Ensayo de Proctor modificado
- ✚ Ensayo de C.B.R.
- ✚ Datos de esponjamiento de C.B.R
- ✚ Grafica: Curva Presiones Vs Penetraciones
- ✚ Grafica: Curva Valor C.B.R. Al 100% de su máxima densidad
- ✚ Densidad de campo.

▪ EJEMPLOS DE CÁLCULO HOJAS DE CÁLCULO DE ENSAYOS EN PAVIMENTOS

- ✚ Ensayos Gravedad específica o peso específico
- ✚ Ensayos de Abrasión.
- ✚ Ensayos de Granulometría
- ✚ Ensayo de preparación de probetas
- ✚ Ensayo Marshall (ensayo de estabilidad y flujo)
- ✚ Tabla de valores de las relaciones de correlación de la estabilidad
- ✚ Grafica: Curvas de Propiedades Marshall
- ✚ Ensayo RICE o Ensayo de Peso Especifico Máximo de la Mezcla Asfáltica Suelta
- ✚ Ensayo de extracción de la mezcla asfáltica.
- ✚ Ensayo análisis mecánico de la mezcla asfáltica.

EJEMPLOS DE CÁLCULO DE ENSAYOS EN MECANICA DE SUELOS

EJEMPLOS DE CÁLCULO DE ENSAYOS EN PAVIMENTOS