



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“EL LABORATORIO PARTE FUNDAMENTAL
DE LA OBRA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
JOSÉ PAULINO HUERTA GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:
ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO



2009



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/025/08

Señor
JOSÉ PAULINO HUERTA GARCÍA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"EL LABORATORIO PARTE FUNDAMENTAL DE LA OBRA"

- INTRODUCCIÓN
- I. HISTORIA DEL LABORATORIO EN MÉXICO
- II. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO
- III. OTRAS PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO
- IV. PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO
- V. PRUEBAS DE TERRACERÍAS
- VI. PRUEBAS AL ACERO
- VII. PRUEBAS AL ASFALTO
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 11 de Marzo del 2008.
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
GGZ/RSU/gar.

Alba B. Vázquez
Alba B. Vázquez
29 mayo 2009.

V. B. B.
16/06/2009
Ing. Carlos M. Chávarri Maldonado
03-06-09

08/06/2009
Roberto Carvajal R.
V. B. B.
08/06/09
A. Daninghi C

CON GRATITUD A:

A MI MAMÁ:

Victorina García Orozco

Por ser la primera persona en confiar y creer en mí y siempre darme su apoyo en toda mi vida. Gracias a ella y por ella termino esta etapa de mi vida.

LA AMO

A MI PAPÁ:

Paulino Huerta Hernández

Por su carácter y fortaleza de salir adelante, fue un modelo a seguir. Gracias y Dios lo tenga en su Santa Gloria.

LO QUIERO

A MI ESPOSA

Irma Jaimes Serrato

Por ser mi apoyo y estar siempre a mi lado en las buenas y malas y por ser la impulsora de este último paso de finalizar esta meta. Gracias Chapayita.

TE AMO

A MI HERMANA

Ma. De Lourdes Huerta García

Por ser una hermana excepcional de una gran actitud y la cual siempre me apoyo moral y económicamente en mis estudios. Gracias Negrita, que dios te tenga en su Santa Gloria.

TE QUIERO MUCHO

A MIS HERMANOS (AS)

Por estar siempre juntos y salir de todas las dificultades unidos. Por apoyarme en todas las etapas de mi vida muchas gracias.

LOS QUIERO

A MIS SOBRINOS

Por ser una parte importante de mi vida y esperando que esto les sirva de aliciente para continuar con sus metas.

LOS QUIERO MUCHO

A MIS PROFESORES

Agradezco la formación que recibí en todo mi trayecto escolar desde el inicio de mi educación básica hasta esta meta que hoy veo culminar.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
I. HISTORIA DEL LABORATORIO EN MÉXICO	2
I.1 Antecedentes	2
I.2 ¿Qué y para qué es un laboratorio?	5
I.3 Normas y especificaciones	6
I.4 Implicaciones al no contar con un laboratorio acreditado	7
II. PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO	8
II.1 Concreto fresco-muestreo	8
II.2 Determinación del revenimiento en el concreto fresco	10
II.3 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto fresco	12
II.4 Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros en concreto	18
II.5 Cabeceo de especímenes cilíndricos	21
III. OTRAS PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO	23
III.1 Temperatura	23
III.2 Masa unitaria y rendimiento	24
III.3 Contenido de aire	26
IV. PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO	33
IV.1 Extracción de núcleos	33
IV.2 Esclerómetro	35
IV.3 Ultrasonido	36
V. PRUEBAS DE TERRACERÍA	42
V.1 Muestreo del material	42
V.2 Obtención de la cala	53

	Pág.
V.3 Obtención de la masa volumétrica seca máxima	54
V.4 Obtención del contenido de agua	64
V.5 Obtención del grado de compactación	66
VI. PRUEBAS AL ACERO	68
VI.1 Muestreo del material	68
VI.2 Tensión	68
VI.3 Doblado	70
VII. PRUEBAS AL ASFALTO	74
VII.1 Muestreo del material	74
VII.2 Obtención del grado de compactación	77
VII.3 Estabilidad	78
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
GLOSARIO	84

INTRODUCCIÓN

Dentro de la ingeniería civil se encuentra el área de la construcción donde es de suma importancia el verificar la calidad de los materiales para evitar hundimientos, caídas del inmueble, etc. ya que un accidente de este tipo provocaría la muerte de seres humanos que en algunos casos sería una gran cantidad de ellos. De aquí que surge la necesidad de la creación de los laboratorios de prueba a dichos materiales para determinar la calidad y a futuro evitar accidentes donde haya pérdida de vidas humanas.

Mi experiencia de trabajo en Laboratorios de Alto Nivel en Calidad (LANC) acreditado legalmente por un organismo especializado para ello, motivó la inquietud para enfocarme en el tema del presente documento como parte final de la carrera de ingeniería civil. En el transcurso de los 10 años de laborar pude darme cuenta de lo importante que es contar con un laboratorio, para determinar la calidad de los materiales para dicha construcción incluyendo el terreno donde se cimentará la misma; cabe mencionar que éstos laboratorios deben contar con la acreditación correspondiente por un organismo reconocido para ello, en México actualmente este reconocimiento es emitido por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Si no existe esta acreditación el laboratorio carece de credibilidad y confiabilidad lo que a su vez en caso de algún accidente no habría a quién responsabilizar directamente y que ello procediera. También en la experiencia vivida nos podemos encontrar con el soborno y corrupción en el caso de que alguna prueba determine que no existe calidad y por lo tanto con el tiempo provocaría un accidente donde como ya se mencionó podría morir gente o en el mejor de los casos tener poca duración.

Por todo lo antes mencionado, decidí realizar el presente trabajo de investigación documental y de campo con el fin de hacer notar la importancia de los laboratorios de prueba (acreditado) como parte fundamental de una obra; ya que en algunos casos la existencia de un laboratorio de prueba acreditado se ve sólo como un requisito y no como el poder resguardar la vida humana y la duración de lo construido de la obra realizada; por lo mismo existen laboratorios que prestan sus servicios sin ser acreditados.

Para explicar y se pueda observar la importancia de los laboratorios de prueba al realizar una obra, el presente documento se organizó en VII capítulos donde se aborda lo siguiente:

El primero da un panorama general acerca de la historia y antecedentes de los laboratorios, así como qué son y su función.

En los seis capítulos restantes se puntualiza el tipo de pruebas más relevantes que se realizan en estos laboratorios, detallando cómo se determina la calidad de determinados materiales.

Finalmente se escribió una conclusión después de haber terminado el presente documento para reflejar lo que aprendí con esta investigación y se anexa un glosario para su mejor comprensión.

I- HISTORIA DEL LABORATORIO EN MEXICO

Desde tiempos remotos han existido materiales para uso de la humanidad y conforme transcurre el tiempo se va haciendo necesario el que esos materiales tengan calidad para optimizar su utilidad.

Por ello surge la necesidad de crear laboratorios que realicen pruebas para determinar dicha calidad y así detectar los que no cubren con lo necesario y evitar consecuencias negativas posteriores.

De igual forma conforme los laboratorios empiezan a cobrar importancia y son tomados en cuenta para brindar sus servicios, nace el requisito de que sean acreditados para tener credibilidad y dicha acreditación debe ser por un organismo acreditado para ello. El ser certificado implica cumplir con un nivel de calidad en los servicios prestados y hacer frente a las demandas del cliente.

En México existe un organismo certificado para ello así como laboratorios acreditados por dicho organismo; esto es en lo que se refiere a la construcción.

I.1 Antecedentes.

Los seres humanos practican la ingeniería desde hace aproximadamente 10 000 años con el hombre del Neolítico. En lo que corresponde a las culturas antiguas de México como son La Prehispánica, La Maya, La Azteca, La Zapoteca, La Tolteca..... etc., sabemos sobre sus prácticas ingenieriles para la construcción de sus civilizaciones.

De igual forma conocemos que desde la llegada de los conquistadores al continente americano, éstos se interesaron por los metales preciosos de estas tierras y de ahí surgió el interés por desarrollar nuevas técnicas para poder explotar de forma adecuada estos recursos, para ello se plantearon la necesidad de preparar gente con los conocimientos y las técnicas adecuadas.

En el año de 1774, Joaquín Velázquez Cárdenas de León y Juan Lucas de Lassaga, redactan su Representación, en la que señalaron y pedían al Rey la creación de un Real Tribunal de Minería y un Real Seminario, en 1777, se establece el Real Tribunal General de Minería y el 1 de enero de 1792, Fausto Elhuyar inaugura el Real Seminario de Minería en el Hospicio de San Nicolás, con esto se inicia también la enseñanza formal de la ingeniería minera y da inicio a la formación de todas las instituciones educativas de nuestro país.

Lo que compete a la ingeniería en la rama de la construcción desde los tiempos antiguos los seres humanos han utilizado gran variedad de materiales para la construcción, sin tener en cuenta si son los apropiados y de mejor utilidad, si no que solamente hacen uso de ellos por tenerlos a disposición y por la experiencia de trabajarlos sin tener un control de calidad para unificar criterios.

El control de calidad tuvo su origen durante la segunda guerra mundial. Inicialmente fue aplicado sobre el producto final, con base en la calificación cuantitativa y/o cualitativa de las características del producto y su comparación con los requerimientos del cliente.

En la actualidad, el mejoramiento de productos, procesos y servicios, ya no es suficiente con sólo el control de calidad, sino que se ha vuelto imprescindible que la alta dirección se involucre activamente en los aspectos que afectan la calidad de los procesos, de modo que sea ésta quien gestione la mejora continua.

En México, los estándares de producción han sido desarrollados por las dependencias gubernamentales, contando con el apoyo de la iniciativa privada. En esencia, las empresas de la iniciativa privada son, a final de cuentas, los interesados directos en aplicar dichos estándares. Además, la firma de tratados y convenios comerciales internacionales ha hecho necesario que los países tiendan a armonizar sus normas, tanto en la fabricación de productos, como en la forma en que éstos han de ser certificados.

Durante una reunión llevada a cabo en Londres en 1946, delegados de 25 países decidieron crear una organización mundial, con objeto de facilitar la coordinación internacional y la unificación de estándares industriales. La nueva organización fue llamada International Organization for Standardization y denotada por la palabra ISO, tomada del prefijo griego isos, que significa igual. ISO es una organización no gubernamental; actualmente reúne a las entidades nacionales de estandarización de alrededor de 140 países del mundo.

México es representado por la Dirección General de Normas (DGN), la cual fue creada con este fin. Estas normas y reglamentos emanan de la unificación de criterios, a través de reuniones de grupos de trabajo formados por organismos nacionales. De esta manera se aseguran que los valores de referencia sean los mismos, Independientemente del lugar y el tiempo en el que apliquen.

La Secretaria de Comunicaciones fue pionera en México en la instalación de laboratorios para el control de calidad de los materiales de la construcción y para la implantación de las normas correspondientes. Los laboratorios independientes empezaron a aparecer en México durante la década de los cincuentas, respondiendo así a la demanda de servicios técnicos que imponía el crecimiento de la industria de la construcción. Antes de su aparición, este tipo de servicios los proporcionaba en su totalidad los laboratorios de organismos oficiales. Los primeros laboratorios comerciales sufrieron el rechazo de diferentes sectores de la industria de la construcción, considerando innecesarios los servicios de laboratorio, diciendo que no requerían ninguna asistencia en procesos de construcción que supuestamente dominaban con su amplia experiencia. El proveedor de materiales sentía como un estorbo los laboratorios que ensayaban sus materiales y en ocasiones los rechazaba. El dueño consideraba superfluo el gasto de estos servicios y era común que diera más crédito a los argumentos del constructor y del proveedor que a los del laboratorio que sólo trataba de proteger sus intereses.

Así, el 30 de Enero de 1971 se constituye ANALISEC, con el propósito de ofrecer alternativas a los constructores y analizar los problemas comunes de sus asociados. Los laboratorios de pruebas y calibración juegan un papel muy importante dentro de una organización, ya que son elementos muy importantes de apoyo para determinar o verificar las propiedades de los productos, de acuerdo a criterios establecidos, siempre y cuando estén acreditados por un organismo certificado para ello.

Acreditación de Laboratorios: ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) Cooperación Internacional para la acreditación de Laboratorios. ILAC, fue fundada en 1978, siendo formalizada como un organismo de cooperación en 1996, cuando 44 naciones firmaron en Amsterdam un Memorándum de entendimiento.

ILAC es el principal foro internacional en el mundo para exponer el desarrollo de procedimientos y prácticas de acreditación de laboratorios, así como para la promoción de su acreditación.

Siendo México miembro de ILAC y a la inminente importancia que adquirieron los laboratorios de pruebas, el país se vio en la necesidad de crear un sistema propio para evaluar la conformidad de sus laboratorios. El Sistema Nacional para la Acreditación de Laboratorios de Prueba (SINALP) fue creado por decreto presidencial y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1980, elevándose a rango de Ley el 28 de enero de 1988. Años después, el 1 de julio de 1992, el SINALP fue reconocido como único organismo de acreditamiento de laboratorios de pruebas, a través de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

El SINALP fue creado como un organismo de naturaleza mixta (oficial y privada), cuyo objetivo principal era el de estimular el desarrollo industrial del país. Este estímulo se llevaba a cabo mediante el reconocimiento y la aceptación de los resultados de pruebas obtenidas en laboratorios confiables, basándose en directrices internacionales como las normas emitidas por ISO, por los trabajos de ILAC, por normas regionales, industriales, Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX).

Poco después de la creación de SINALP, se establece el Sistema Nacional de Calibración (SNC), con el fin de que el trabajo conjuntado de ambos fuera la base del sistema mexicano de evaluación de la conformidad.

Las primeras reformas a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), junto con la creación del Centro Nacional de Metrología (CENAM) y el nacimiento de los Organismos de Certificación de Productos, Sistemas y Personal, vinieron a imprimirle mayor fuerza.

Finalmente, a partir de las reformas aplicadas a la LFMN el 20 de mayo de 1997, se crea la figura denominada Entidad de Acreditación, misma que absorbería las funciones y actividades relacionadas con el acreditamiento que la Dirección General de Normas venía desarrollando. En noviembre de 1998 surge y es evaluada la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). La evaluación es realizada por un grupo de evaluadores de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y un evaluador líder de sistemas de calidad; este último, externo a la Secretaría. El 15 de enero de 1999, EMA quedó plenamente autorizada para operar como entidad de acreditación, dándose a conocer mediante publicación en el Diario Oficial de la Federación. Con la autorización de EMA como entidad de acreditación, se ha iniciado una nueva etapa en el establecimiento de la actividad de acreditación en nuestro país, con base en el sistema precedente administrado por DGN-SECOFI. Desde entonces, es EMA quien proporciona la acreditación de los laboratorios de prueba en México.

En México, como en muchos países alrededor del mundo existen una o más organizaciones responsables de otorgar el reconocimiento a los laboratorios de pruebas. Estos organismos han adoptado la norma internacional ISO/IEC17025:1999 como la base para comprobación del desempeño de los laboratorios de su país de origen.

EMA cuenta con la aprobación de todas las dependencias gubernamentales para otorgar tal reconocimiento de aptitudes a un laboratorio. Lo anterior, tiene como finalidad garantizar tanto la confiabilidad de los procedimientos de pruebas ejecutados, como los resultados obtenidos, por partes de todos los laboratorios de la misma rama.

Aunque hasta agosto del 2001 la norma oficial mexicana aplicable para obtener la acreditación de un laboratorio en México era la NMX-CC-013:1982, a partir de esa fecha entró en vigencia la NMX-EC-025:2000 “Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Calibración y prueba”.

Las normas NMX-EC-025 y NMX-EC-17025 se publicaron con poco tiempo de diferencia. Sin embargo, la NMX-EC-025 es la regente durante el 2001, mientras que la NMX-EC-17025 es opcional. Pero a partir del año 2002, la NMX-EC-17025 será la única vigente. La diferencia entre ambas normas radica esencialmente en que la norma 17025 incluye los requisitos administrativos de la norma ISO 9001:2000, no contemplados en la 025.

En esta serie de normas NMX-EC de acreditación de laboratorios, tanto la 025 como la 17025, contienen los requisitos que los laboratorios (de ensayo o de calibración) tienen para demostrar que:

- Su sistema de Calidad opera confiablemente, de acuerdo a la actividad económica que desarrolla.
- El laboratorio es técnicamente competente.
- El resultado de sus pruebas es técnicamente válido.

1.2 ¿Qué y para qué es un laboratorio?

¿Qué es un laboratorio?

Los laboratorios de pruebas (ensayos), son aquellas instalaciones fijas o móviles que cuentan con la capacidad técnica, material y humana para efectuar las mediciones, análisis o determinar las características de materiales, productos o equipos de acuerdo a especificaciones establecidas. Pueden ser instituciones de primera, segunda y tercera parte, y pertenecer a los sectores: productor, distribuidor, comercializador, prestador de servicios, consumidor, instituciones educativas o científicas. Los laboratorios de pruebas (ensayos) coadyuvan en la evaluación de la conformidad a través del desarrollo de métodos de prueba (ensayos).

En México existen laboratorios de pruebas acreditados y los que no están acreditados. La Acreditación de laboratorios de prueba se basa en la evaluación de la conformidad de un Sistema de Calidad, que cumpla con los requisitos administrativos y técnicos establecidos en una norma de referencia.

¿Para qué es un laboratorio?

Los laboratorios de pruebas (ensayos) juegan un papel muy importante dentro de una organización, ya que son elementos de apoyo para determinar o verificar las propiedades de los productos, de acuerdo a criterios establecidos. Para poder garantizar tanto la confiabilidad de los procedimientos de pruebas ejecutados como de los resultados obtenidos, es necesario contar con el reconocimiento, por parte de un organismo pertinente, de la capacidad técnica y administrativa del personal del laboratorio para el desarrollo de las pruebas, en las cuales se declara apto.

La organización de un laboratorio es la parte fundamental del sistema de calidad. Para cumplir con este requisito, el laboratorio o la organización de la cual forma parte, debe ser legalmente responsable. Lo anterior implica que el laboratorio o la organización, tengan la personalidad para responder a las exigencias y demandas de los clientes, de las autoridades reguladoras, de su propia administración y empleados, de la sociedad dentro de la cual se desarrolla y de las organizaciones que proporcionan el acreditamiento.

El laboratorio debe estar organizado de tal forma que garantice que se cumplen las condiciones de las pruebas, tanto en las instalaciones permanentes del laboratorio, como en aquellas que se llevan a cabo fuera de las mismas, ya sean asociadas, móviles o temporales.

En México existen laboratorios acreditados para determinar la calidad de los materiales de construcción como son: Laboratorios de Alto Nivel en Calidad (LANC)....los cuales su función es realizar pruebas (ensayos) para detectar la calidad y durabilidad de los distintos materiales con los que se construye o bien, el suelo donde se cimentará una construcción.

I.3 Normas y Especificaciones

Norma: Una norma es un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que establece, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para ciertas actividades o sus resultados, con el fin de conseguir un grado óptimo de orden de un contexto dado.

Existen diferentes tipos de normas según la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN):

Norma Oficial Mexicana (NOM): Es la regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias de normalización competentes a través de sus respectivos Comités Consultivos Nacionales de Normalización, de conformidad con el artículo 40 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se le refieran a su cumplimiento o aplicación.

Norma Mexicana (NMX): La elaboración de esta norma está a cargo de algún organismo nacional de normalización (que son las personas morales que tengan por objeto elaborar normas mexicanas) o bien de la Secretaría de Economía en ausencia de ellos, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 54 de la Ley Federal de Metrología y Normalización. Este tipo de norma prevé para uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

Norma de Referencia (NRF): Su elaboración esta a cargo de las entidades de la administración pública de conformidad con lo dispuesto por el artículo 67 de la Ley Federal de Metrología y Normalización, para aplicarlas a los bienes o servicios que se adquieran, arrienden o contraten cuando las Normas Mexicanas

o Internacionales no cubran los requerimientos de las mismas o sus especificaciones resulten obsoletas o inaplicables.

Norma Internacional (NI): La norma que emite un organismo internacional de normalización u otro organismo internacional relacionado con la materia, reconocido por el gobierno mexicano en los términos del Derecho Internacional.

Especificación

En la ingeniería, el término especificación representa un documento técnico oficial que establezca de forma clara todas las características, los materiales y los servicios necesarios para producir componentes destinados a la obtención de productos. Estos incluyen requerimientos para la conservación de dichos productos, su empaquetamiento, almacenaje y marcado así como los procedimientos para determinar su obtención exitosa y medir su calidad.

I.4 Implicaciones al no contar con un laboratorio acreditado

Si al seleccionar o simplemente al escoger al laboratorio que se encargara de realizar las pruebas pertinentes en un proyecto, este no cuenta con la acreditación se corre el riesgo de:

- No tener los medios para demostrar la confiabilidad técnica de un laboratorio para ejecutar algún determinado tipo de prueba, mediciones o calibraciones, en las cuales se dice competente.
- El laboratorio no ejecuta su trabajo correctamente, porque no se sigue algún procedimiento normalizado.
- No cuenta con el reconocimiento formal de otros laboratorios competentes.
- No cuenta con un Sistema de Calidad, que cumpla con los requisitos administrativos y técnicos establecidos en una norma.

Los laboratorios que no están acreditados no cuentan con una política acerca de la Imparcialidad, Independencia, Integridad y Confidencialidad, en el desarrollo de las actividades de cada miembro del laboratorio.

II.- PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

El concreto fresco es uno de los materiales al cual el laboratorio acreditado le realiza pruebas para determinar su calidad.

Se ensaya para determinar su resistencia y si el concreto es el adecuado de acuerdo a las características solicitadas por el constructor para ser empleado en la obra correspondiente.

II.1 Concreto fresco-muestreo

Para realizar este tipo de prueba es indispensable enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco, en las condiciones en que se entrega en la obra, en las cuales se efectuarán ensayos para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad de las especificaciones bajo las cuales se suministra dicho concreto, este tipo de prueba incluye la toma de muestras en mezcladoras estacionarias, pavimentadoras y camiones mezcladores, así como en aquellos equipos, provistos o no con agitadores, que se utilizan para transportar concreto mezclado en planta, ya que de no ser así, se corre el riesgo de que los resultados no sean objetivos ni creíbles para el control de calidad; dicha muestra no debe tomarse antes de que se haya agregado toda el agua de mezclado y la mezcla esté homogénea. Las muestras deben tomarse de forma aleatoria y se debe evitar el muestreo selectivo que podría no representar resultados reales y si engañosos. También es importante destacar que el lapso para la obtención de la muestra compuesta (producida con dos o más porciones) entre la primera toma hasta la última, no debe exceder de 15 minutos. Rápidamente obtenga y utilice la muestra y protéjala del sol, del viento y de otras fuentes que provoquen una rápida evaporación, así como la contaminación. Los procedimientos utilizados en el muestreo deben incluir todas las precauciones necesarias.

Las muestras (individuales) se deben transportar al lugar donde se les realizarán las pruebas o donde los especímenes de ensaye han de ser moldeados, sin pérdida de material además de remezclarse para asegurar su uniformidad.

Comience las pruebas de revenimiento, temperatura y contenido de aire, dentro de los cinco minutos siguientes a la obtención de la última porción de la muestra compuesta.

El moldeo de los especímenes para las pruebas de resistencia debe realizarse dentro de los 15 minutos siguientes a la integración de la muestra compuesta.

El tamaño de la muestra, para el moldeo de especímenes se requiere un volumen mínimo de 28 litros (un pie³). Se pueden permitir muestras más pequeñas para pruebas rutinarias por ejemplo: la de revenimiento, temperatura y contenido de aire; se recomienda que la muestra sea superior al volumen requerido y debe estar en función del tamaño máximo del agregado.

El método nos proporciona los requisitos y procedimientos estándar, para tomar muestras de concreto fresco recién mezclado en los diferentes contenedores utilizados en la producción o transportación del concreto.

El muestreo se realiza de acuerdo al medio de fabricación o transportación del concreto fresco. Sin embargo, las especificaciones pueden requerir otros puntos de muestreo, por ejemplo, la descarga de una bomba de concreto, estos métodos de muestreo a continuación se describen:

Muestreo de mezcladoras estacionarias (fijas y basculantes)

La muestra se obtiene interceptando el flujo completo de descarga de la mezcladora, con el recipiente aproximadamente a la mitad de la descarga del tambor de la mezcladora o desviando el flujo completamente, de tal modo que descargue en el recipiente. Se debe tener cuidado de no restringir el flujo de la descarga del concreto desde la mezcladora o unidad de transporte con compuertas u otros medios que provoquen segregación. Estos requerimientos se aplican tanto a mezcladoras que se inclinan como a mezcladoras fijas.

Muestreo en mezcladoras pavimentadoras.

La muestra se tomará después de que la mezcladora pavimentadora haya descargado el concreto en algún recipiente. La muestra se toma con el cucharón (no debe utilizarse pala) de por lo menos 5 puntos diferentes distribuidos razonablemente en toda el área del volumen descargado e intégrelas después en una sola muestra para propósitos de las pruebas.

Debe evitarse la contaminación con material de sub-base o con un contacto prolongado con la sub-base absorbente. En algunos casos sobre la sub-base se debe colocar algún recipiente y/o aislante para evitar la contaminación.

Muestreo de camiones revolvedora con tambores mezcladores o agitadores.

La muestra se debe tomar después de que se haya agregado toda el agua de mezclado y la mezcla esté homogénea, se debe tomar en tres o más intervalos, interceptando todo el flujo de la descarga y se debe tener precaución de no tomarla antes del 15% ni después del 85% del contenido total del tambor del camión revolvedora.

El muestreo se realiza pasando repetidamente un recipiente que intercepte por completo el flujo de la descarga, o bien, desviando completamente la dirección del flujo de la descarga hacia el recipiente de la muestra compuesta. La velocidad de la descarga se debe regular mediante el control del número de revoluciones del tambor y no por medio de la disminución del tamaño de la abertura de la compuerta.
Procedimiento para concreto con agregado grueso de gran tamaño

Muestreo de camiones mezcladores con tapa abierta, agitadores, equipo no agitador, u otros tipos de contenedores con tapa abierta.

La muestra en este tipo de equipo se tomará por cualquiera de los métodos descritos anteriormente y el que mejor se ajuste a las condiciones dadas.

Procedimiento para concreto con agregado grueso de gran tamaño

Este procedimiento se emplea cuando el concreto posea agregado de tamaño mayor al apropiado para los moldes o equipo a emplear, se debe cribar en húmedo la muestra, excepto cuando se realicen pruebas para obtener el peso unitario para el cálculo del rendimiento de la mezcla total.

El cribado en húmedo se realiza después de muestrear el concreto y antes de ser remezclado, se toma un poco del concreto muestreado y se coloca en la malla correspondiente se sacude o se vibra, de forma manual o mecánica, hasta que no quede en la malla, material de tamaño menor a la abertura de la criba. El mortero adherido al agregado retenido en la criba no debe sacudirse del agregado antes de que éste sea desechado. Coloque sobre la criba la cantidad de concreto suficiente para que al ser cribado el espesor de la capa del agregado retenido no exceda su propio tamaño. El concreto que pasa por la criba debe caer en un recipiente para mezclas de tamaño conveniente, previamente humedecido, o en una superficie limpia, húmeda y no absorbente. Raspe todo el mortero que se adhiera a los lados del equipo de cribado en húmedo e intégrele a la mezcla. Después de haber quitado el agregado grueso mayor de la abertura de la criba mediante el cribado en húmedo, se remezcla el concreto con una pala durante el tiempo mínimo necesario para asegurar uniformidad en la muestra y se proceda inmediatamente a realizar las pruebas.

Equipo para cribado en húmedo. Una malla de tamaño adecuado, recipiente para muestra. Herramientas manuales. Pala, cuchara de mano, llana metálica y guantes de hule.

II.2 Determinación del revenimiento en el concreto fresco

Este método de prueba sirve para la determinación del revenimiento o asentamiento del cono de Abrams en el concreto elaborado con cemento hidráulico, tanto en laboratorio como en campo, es el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto fresco y es la primera prueba que se le realiza al concreto fresco para la aceptación o rechazo del mismo antes de ser colocado o vaciado, este método en condiciones de laboratorio y con un control estricto de todos los materiales constituyentes del concreto, se ha observado que por lo general el revenimiento aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en la mezcla de concreto dada, y por lo tanto, es inversamente proporcional a la resistencia del concreto. Sin embargo, en condiciones de campo, esta relación con la resistencia no es tan clara y consistente. Por lo tanto se deberá tener cuidado al correlacionar los resultados de revenimiento obtenidos de campo, con la resistencia.

Este método de prueba se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 1½ pulgadas (37.5 mm) de tamaño. Si el tamaño del agregado grueso es mayor de 1½ pulgadas (37.5 mm), el método de prueba solo será aplicable a la fracción del concreto que pasa la malla de 1½ pulgadas (37.5 mm), con la eliminación de los tamaños mayores, de acuerdo al procedimiento para concreto con agregado grueso de gran tamaño. Este método no se considera aplicable a los concretos no plásticos y no cohesivos.

Los concretos que presentan revenimientos menores de ½ pulgada (15 mm) pueden no ser lo suficientemente no plásticos, y los concretos que presentan revenimientos mayores de 9 pulgadas (230 mm) pueden no ser suficientemente cohesivos para que este método de prueba tenga importancia. Se debe tener cuidado al interpretar los resultados.

Equipo

Molde. De metal u otro material no absorbente y no susceptible de ser atacado por la pasta de cemento, debe ser rígido y tener la forma lateral de un cono truncado, con la base de 8 pulgadas (200

mm) de diámetro, la parte superior de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro, y una altura de 12 pulgadas (300 mm). Los diámetros y las alturas individuales deben tener una tolerancia de $\pm \frac{1}{8}$ de pulgada (3 mm) de cada una de estas dimensiones.

La base y la parte superior deben estar abiertas y ser paralelas entre sí y formar un ángulo recto con el eje longitudinal del cono. El molde debe estar provisto de dos estribos para apoyar los pies y de dos asas para levantarlo. La superficie interior del molde no debe presentar ni una costura y debe ser lisa y libre de imperfecciones así como de abolladuras, deformaciones o mortero adherido. El molde puede estar provisto de abrazaderas o bridas para sujetarse a una base no absorbente, en lugar del ilustrado, siempre y cuando el sistema de fijación se pueda liberar sin movimiento del molde y la base sea lo suficientemente grande para contener todo el desplazamiento del concreto en una prueba aceptable.

Varilla de apisonamiento. Es una barra de acero, de sección circular, recta y lisa de $\frac{3}{8}$ de pulgada (16 mm) de diámetro y aproximadamente 24 pulgadas (600 mm) de longitud, con uno o ambos extremos redondeados con punta semiesférica.

Equipo auxiliar. Pala, cucharón, guantes de hule y escala.

Procedimiento: La muestra debe obtenerse de acuerdo al método de muestreo de concreto fresco como se indico anteriormente.

Después de haberse obtenido la muestra de concreto fresco, se remezcla con una pala o cucharón lo suficiente para homogeneizarla y se procede a hacer la prueba inmediatamente. Se humedece el molde y se coloca en una superficie plana, horizontal, rígida, húmeda y no absorbente. Quien realice la prueba debe mantener el molde firme con los pies sobre los estribos y sin moverse de su lugar durante el llenado del molde, el cual se realiza en tres capas, cada una aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen del molde. Cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla de el lado de la punta semiesférica y se distribuyen uniformemente los golpes en toda la superficie de cada capa, aproximadamente la mitad de los golpes se realizan en la periferia del molde y el restante de los golpes se dan en forma de espiral hacia el centro. La primera capa se llena aproximadamente $2\frac{1}{2}$ pulgadas (70 mm) posteriormente se compacta con ayuda de la varilla introduciéndola hasta el fondo y tratando de evitar golpear tanto a la base como al cono con la varilla durante los 25 golpes de la compactación para la segunda capa se llena el cono hasta una altura aproximada de 6 pulgadas (160 mm) se compacta todo el espesor de la capa procurando que la varilla penetre apenas en la capa inferior tratando de no golpear al cono y para la tercera capa se llena dejando un excedente de concreto por encima del borde superior del cono si durante la compactación de la tercera capa el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior entonces se debe agregar más concreto para mantener en todo momento un exceso de concreto sobre el borde superior del cono se procura que la varilla penetre parte de la capa anterior y evitando golpear con la varilla el cono, después de haber compactado la tercera capa se enraza la superficie del concreto mediante el rodamiento de la varilla. Se limpia el concreto que queda alrededor de la base del cono de revenimiento para evitar una posible interferencia con el concreto que se descargara. Inmediatamente levante el cono cuidadosamente en dirección vertical para ello se sujeta con una mano una de las asas y se retira uno de los pies contrario a la mano de uno de los estribos y posteriormente con la otra mano se sujeta la otra asa y se retira el otro pie del estribo en turno por lo que con ambas manos en las asas se sujeta y se presiona al cono sobre su base para que no se salga el concreto por el empuje del mismo. Se levanta el cono a una altura aproximada de 12 pulgadas (300 mm) en 5 ± 2 segundos, alzándolo sin

movimientos laterales o torsionales. La prueba se realiza sin interrupciones desde el inicio del llenado hasta que se levante el cono en un período de 2.5 minutos. Se mide inmediatamente el revenimiento, colocando el cono sobre la superficie horizontal y libre de concreto de forma invertida se coloca la varilla de forma horizontal sobre la base del cono y con ayuda de una escala se mide la diferencia de altura que hay de la parte superior de la base del cono al centro original desplazado de la superficie del espécimen de concreto fresco. Si alguna porción del concreto se desliza o desmorona hacia un lado, se desecha la prueba y se realiza otra con una nueva porción de la misma muestra. Si dos pruebas consecutivas de la misma muestra presentan la falla de desmoronarse parte del concreto a un lado, probablemente dicho concreto le falta plasticidad y cohesión para que la prueba de revenimiento sea aplicable. Para confirmar esto es necesario obtener una nueva muestra de la misma entrega. El revenimiento debe medirse con una aproximación de $\frac{1}{4}$ de pulgada (5 mm). En esta prueba se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 0.82 de pulgada (20 mm) a 8 pulgadas (200 mm).

Otro método de prueba para la fluidez del concreto fresco es el uso del medidor k de revenimiento. Éste es un aparato de sondeo que se introduce dentro del concreto en cualquier localización donde haya una profundidad de concreto mínima de 7 pulgadas (175 mm) y un radio de concreto alrededor del medidor de 3 pulgadas (75 mm). La cantidad de mortero fluyendo para adentro de las aberturas del medidor es la medida de fluidez.

Pruebas adicionales de consistencia son: el aparato de vibración inclinada de la FHWA (Administración de las Autopistas Federales), prueba del factor de compactación británico, prueba de remoldeo de Powers, prueba alemana de la mesa de flujo, el consistómetro Vebe para el concreto compactado con rodillos, prueba de penetración de la esfera de Kelly, el medidor de Thaulow, el cono de revenimiento invertido para el concreto reforzado con fibras, el plastómetro de Powers y Wiler, el aparato de trabajabilidad de Tattersall, viscómetro BMI, el reómetro BTRHEOM para concreto fluido, medidor del torque del tambor de entrega, prueba de penetración del anillo y el consistómetro de Wigmore. La prueba de Vebe y la prueba de Thaulow se aplican principalmente a mezclas ásperas de consistencia seca mientras que la mesa de flujo se aplica principalmente a concretos fluidos.

II.3 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto fresco

Este método de prueba se utiliza para la fabricación de especímenes de forma de cilindro y prisma rectangular (viga) para conocer la resistencia a compresión simple y la resistencia a flexión. La elaboración de los especímenes debe empezar, como máximo, 15 minutos después de obtener la muestra del concreto fresco en el lugar de entrega.

En las especificaciones del proyecto se hace referencia al número mínimo de especímenes requerido por muestra, pero por lo general y si el proyecto no solicita otra cosa, el número de especímenes de cilindros y vigas por muestra es de 2 a la edad especificada, es decir, cuando el concreto haya adquirido la resistencia máxima y se toman especímenes adicionales para edades tempranas, es decir, antes de la edad especificada que regularmente es de 14 ó 28 días a fin de proporcionar una indicación del comportamiento del concreto antes de ponerlo a trabajar.

Los especímenes estándar para la resistencia a compresión deben ser cilindros de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro por 12 pulgadas (300 mm) de longitud y deben de ser colados en posición vertical y el tamaño máximo nominal del agregado es de 2 pulgadas (50 mm) o menor.

Para agregados mayores, el diámetro del molde cilíndrico debe ser, por lo menos, tres veces el tamaño máximo nominal del agregado; cuando esto último no sea posible, será necesario cribar el concreto y eliminar el material mayor de 2 pulgadas (50 mm). A menos que se requiera por las especificaciones de proyecto. El molde cilíndrico con 4 pulgadas (100 mm) de diámetro por 8 pulgadas (200 mm) de longitud está siendo utilizado comúnmente para los concretos de alta resistencia que contienen agregado de tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm). El cilindro de 4 x 8 pulgadas (100x200 mm) es más fácil de moldear, pesa mucho menos y por lo tanto es mucho más fácil de manejarlo y la sección transversal menor permite que se alcance una resistencia a compresión mayor por una máquina de ensayo que tenga una capacidad de carga menor.

Los especímenes para determinar la resistencia a la flexión deben de ser vigas rectangulares de concreto, moldeados y fraguados en posición horizontal. La longitud debe ser por lo menos 2 pulgadas (50 mm) mayor que tres veces el peralte en la posición de ensaye. La relación entre el ancho y el peralte, no debe exceder de 1.5 veces. La viga estándar debe ser de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) en su sección transversal, y debe utilizarse para concreto con agregado grueso, cuyo tamaño máximo nominal no exceda las 2 pulgadas (50 mm). Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso exceda las 2 pulgadas (50 mm), la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe de ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. No se deben elaborar en campo vigas con un ancho o peralte menor de 6 pulgadas (150 mm) a menos que se requiera por especificaciones de proyecto.

Equipo

Moldes. Los moldes y los accesorios para elaborar los especímenes de concreto deben ser de acero, fierro fundido u otro material no absorbente y no reactivo con el concreto de cemento Pórtland u otros cementantes hidráulicos, no se deben deformar bajo condiciones severas de uso y ser impermeables, lo cual puede juzgarse por su habilidad para retener totalmente el agua que se vierta en ellos. En caso contrario debe usarse un material sellador adecuado, tal como una grasa pesada, plastilina o parafina para prevenir filtraciones a través de las juntas. Deben proporcionarse los medios adecuados para sujetar firmemente las placas base a los moldes. Antes de usarse, los moldes reutilizables deben estar ligeramente cubiertos con aceite mineral o con un desmoldante no reactivo.

Moldes cilíndricos. Las dimensiones del molde no deben variar de los valores especificados, en más de 1% en su diámetro, ni en 1% del valor nominal en su altura, ningún diámetro nominal debe diferir de cualquier otro en más del 2%. Deben estar provistos de una base metálica maquinada, en el caso de moldes metálicos, o en el caso de otros materiales, la base debe ser del mismo material que el de las paredes del molde o metálicas, con planos lisos y con elementos para sujetarlas firmemente al molde, con su plano perpendicular al eje del molde.

Moldes para vigas. Los moldes para vigas deben ser horizontales de forma rectangular y de las dimensiones de longitud de 2 pulgadas (50 mm) mayor que 3 veces el peralte, y la relación de ancho y peralte no debe de excederse de 1.5 veces. La superficie interior de los moldes debe ser lisa y estar libre

de protuberancias. Los lados, la parte inferior y los extremos deben formar ángulos rectos entre sí y deben ser planos y libres de alabeos. La variación máxima de la sección transversal nominal no debe exceder de 3 mm para moldes de 6 pulgadas (150 mm) o más de peralte o ancho y no deben tener una longitud menor en 1.5 mm de la longitud requerida.

Ambos tipos de moldes deben cumplir con los requisitos de permeabilidad, es decir, deben ser estancos y esto es que los moldes deben llenarse con agua en un 90% a 95% de su altura y después de una hora debe examinarse el molde para determinar si hay fugas visibles. La pérdida del agua estancada, expresada en por ciento de volumen inicial, no debe ser mayor de 2%.

Varilla para la compactación. Debe ser lisa, de sección circular, de acero, recta, de 5/8 de pulgada (16 mm) de diámetro y una longitud de 24 pulgadas (600 mm). Cuando menos con uno de los extremos semiesféricos, del mismo diámetro.

Vibradores. Se utilizarán vibradores internos. La frecuencia de vibración debe ser de por lo menos 7 000 vibraciones por minuto, mientras el vibrador este dentro del concreto. El diámetro de un vibrador redondo debe ser no mayor que un cuarto del diámetro del molde cilíndrico, ni un cuarto del ancho del molde de la viga. La longitud total considerando la flecha y el elemento vibrador debe exceder la profundidad máxima de la sección que se esté vibrando por lo menos en 3 pulgadas (75 mm). La frecuencia del vibrador deberá ser verificada periódicamente.

Mazo de hule. Se debe usar un mazo con cabeza de hule o cuero que tenga una masa de 1.25 ± 0.5 de libra (0.6 ± 0.2 kg).

Recipiente para el muestreo. Puede ser una charola metálica o carretilla, limpia, no absorbente, de capacidad suficiente para permitir el remezclado de la muestra completa con una pala o cucharón.

Herramientas menores. Se deben suministrar pala, llana de mano o chuchara de albañil y cucharón.

Elaboración de especímenes

Los especímenes deben elaborarse, sobre una superficie horizontal rígida, nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en el lugar donde se almacenen cubiertos durante las primeras 24 horas y deben evitarse golpes, inclinaciones del espécimen o alteraciones de su superficie.

Debe vaciarse con un cucharón el concreto en los moldes, es necesario remezclar el concreto en la charola o carretilla con una pala o el cucharón para prevenir la segregación durante la elaboración de los especímenes; debe moverse el cucharón alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto vaya descargándose con el fin de asegurar una distribución uniforme del mismo y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente debe distribuirse el concreto usando la varilla de compactación antes de iniciar la misma. Durante el colado de la última capa el operador debe añadir una cantidad de concreto tal que sobrepase el cupo del molde y lo llene totalmente después de la compactación. El número de capas para llenar el molde y compactarlas debe efectuarse según lo indicado en la tabla 1.

TABLA 1.- Número de capas requeridas por los especímenes

Tipo y altura del espécimen pulg. (mm)	Forma de compactación	Número de capas	Espesor aproximado de la capa pulg. (mm)
Cilindros			
12 (300)	Varillado	3 iguales	4 (100)
Más de 12 (300)	Varillado	Las que se requieran	4 (100) o fracción
De 12 (300) a 18 (450)	Vibrado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen
Más de 18 (450)	Vibrado	3 ó más	6 (150) ó lo más cercano posible
Vigas			
De 6 (150) a 8 (200)	Varillado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen
Más de 8 (200)	Varillado	3 ó más	4 (100) ó fracción
De 6 (150) a 8 (200)	Vibrado	1	Profundidad del espécimen
Más de 8 (200)	Vibrado	2 ó más	8 (200) ó lo más cercano posible

Varillado. Después de haber obtenido la muestra de concreto fresco este se coloca dentro del molde en el número de capas que se especifique, de aproximadamente igual volumen cada una.

Se varilla cada capa con el extremo redondeado, efectuando el número de compactaciones especificado en la tabla 2. En el caso de vigas, el número de compactaciones con la varilla por capa requerida es uno por cada 2 pulg² (1 400 mm²) de superficie del espécimen.

Se varilla la capa inferior en todo su espesor y se distribuyen las compactaciones uniformemente en toda la sección transversal del molde; en forma de espiral de la periferia hacia el centro del molde cilíndrico, se procura que la varilla penetre aproximadamente 1 pulgada (25 mm) dentro de la capa inmediata inferior. Si la varilla produce oquedades se golpean ligeramente con el mazo las paredes exteriores del molde de 10 a 15 veces para cerrar cualquier oquedad durante el varillado y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. En el caso de las vigas, después de que cada capa se ha varillado, debe introducirse y sacarse repetidamente una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada en la zona de contacto del concreto y el molde en su perímetro.

TABLA 2.- Número de penetraciones de la varilla para el moldeado de especímenes cilíndricos

Diámetro del cilindro pulg. (mm)	Número de penetraciones por capa
6 (150)	25
8 (200)	50
10 (250)	75

Vibrado. Se debe mantener una duración especificada de vibrado para cada clase de concreto, de vibrador y de molde de cada espécimen empleado, La duración requerida para la vibración depende de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Se efectúa la vibración solo el tiempo necesario para lograr una compactación apropiada del concreto; generalmente la vibración es suficiente cuando el agregado grueso comienza a desaparecer de la superficie y esta empieza a tener un aspecto liso. El exceso de vibración puede producir segregación. Al llenar los moldes se vibran empleando el

número de capas especificadas en la tabla 1, con volúmenes aproximadamente iguales. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa antes de iniciar la vibración de la misma. Se coloca la última capa en tal forma que se evite rebosar el molde en más de $\frac{1}{4}$ de pulgada (6 mm), se enrasa la superficie ya sea durante la vibración, cuando esta se aplique exteriormente, o después cuando se aplique interiormente. Cuando se enrasa después de la vibración, se agrega solamente la cantidad de concreto necesario con el cucharón, para rebosar el molde en $\frac{1}{8}$ de pulgada (3 mm) aproximadamente, distribuyéndolo y enrasándolo en la superficie.

Vibración interna. El diámetro de la flecha del vibrador interno debe ser, como máximo, la tercera parte del ancho del molde, en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al del vibrador debe ser de 4 ó mayor. Al compactar el espécimen el vibrador no debe tocar el fondo o los lados del molde. Se extrae cuidadosamente el vibrador en tal forma que no produzca oquedades en el espécimen. Después de vibrar cada capa se golpean ligeramente los lados del molde para asegurar la eliminación de burbujas de aire atrapadas en el espécimen.

La vibración interna para cilindros, se introduce el vibrador siempre en forma vertical, tres veces en diferentes puntos de cada capa. Se deja que el vibrador penetre a través de la capa que se esta vibrando y dentro de la capa inferior aproximadamente 1 pulgada (25 mm) y para vigas también en forma vertical en distancias que no excedan de 6 pulgadas (150 mm) a lo largo de la línea central de la dimensión longitudinal del espécimen. Para especímenes cuyo ancho sea mayor que 6 pulgadas (150 mm) se hacen inserciones en forma alternada a lo largo de dos líneas de referencia.

Para ambos casos, se deja que la flecha del vibrador penetre 1 pulgada (25 mm) aproximadamente en la capa anterior.

Vibración externa. Cuando se use el vibrador externo, debe tenerse cuidado para asegurar que el molde este firmemente fijado o asegurado contra el elemento vibratorio. El molde debe ser lo suficientemente rígido para asegurar la transmisión de la vibración al concreto y no perder su forma durante el vibrado.

Acabado. Después de la compactación con cualquiera de los métodos anteriores, a menos que el enrasado se haya efectuado durante la vibración descrita anteriormente se enrasa la superficie del concreto y se termina de acuerdo con el método empleado. Si no se especifica el tipo de acabado se termina la superficie con un enrasador de metal, se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que este a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promontorios de más de 3 mm.

Curado de especímenes. Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar deben cubrirse inmediatamente después de terminados, de preferencia con una placa no absorbente y no reactiva o con una tela de plástico resistente, durable e impermeable. Cuando los especímenes no se pueden moldear en el sitio donde recibirán el curado inicial, inmediatamente después del acabo, se deben mover los especímenes al lugar de almacenaje para el curado inicial. La superficie de apoyo sobre la que se almacenen los especímenes, deberá ser nivelada. Curado inicial inmediatamente después del moldeado y el acabado los especímenes deben ser almacenados por un período de hasta 48 horas en un rango de temperatura de 16 a 27 °C y en un medio ambiente que evite la pérdida de humedad de los especímenes. Se pueden usar varios procedimientos durante el período del curado inicial para mantener la humedad específica y condiciones de temperatura. Puede crearse un ambiente de humedad

satisfactorio durante el curado inicial de los especímenes con uno o más de los siguientes procedimientos: (1) almacénelos en cajas de madera apropiadamente construidas, (2) colocarlos en pozos de arena húmeda, (3) colóquelos dentro de bolsas de plástico, (4) cúbralos con placas no absorbentes u hojas plásticas; tome las precauciones para evitar el secado cuando se usen yutes húmedos dentro del confinamiento, pero evite el contacto entre el yute y la superficies del concreto. Se puede controlar un ambiente de temperatura satisfactorio durante el curado inicial de los especímenes por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) uso de ventilación, (2) uso de hielo, (3) uso de dispositivos de calentamiento o enfriamiento termostáticamente controlados, (4) uso de métodos de calentamiento tales como estufas o focos de luz. Proteja todos los especímenes contra la luz directa del sol y, contra los dispositivos de irradiación de calor, en caso de usarse. La temperatura del almacenamiento debe ser controlada mediante el uso de dispositivos de calentamiento y enfriamiento, según sea necesario. Registre la temperatura usando un termómetro con puntos máximo y mínimo.

Curado de especímenes cilíndricos. Los especímenes deben retirarse de los molde, de preferencia a las 24 horas después del moldeo, permitiéndole un margen de entre 20 horas y 48 horas y deben almacenarse de inmediato en una condición húmeda manteniendo agua libre en las paredes del cilindro todo el tiempo a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el momento de la prueba, usando un cuarto húmedo o un tanque de almacenamiento con agua de cal. El agua de cal debe estar saturada de cal hidratada no cal agrícola para prevenir la lixiviación de la cal del espécimen de concreto.

Los especímenes elaborados para determinar cuando puede retirarse la cimbra o cuando puede ponerse en servicio una estructura, deben almacenarse en o sobre la estructura o lo más cerca que sea posible y recibir la misma protección que los elementos de la estructura que represente. Mantenga los especímenes en las mismas condiciones de humedad y temperatura como los que prevalecen en la estructura de la obra. Se debe ensayar los especímenes en las condiciones de humedad que resulten del tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones, los especímenes elaborados para determinar el tiempo en el que una estructura puede ser puesta en servicio deben retirarse del molde al mismo tiempo que se retiren las cimbras en la obra.

Curado de vigas. Las vigas deben curarse de la misma forma que los cilindros, excepto que al menos 24 horas antes de la prueba deben almacenarse en agua saturada de cal hidratada y a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debe evitarse el secado de cualquiera de las superficies de la viga durante el lapso que se tiene entre el momento del retiro del espécimen de su curado, hasta el inicio de la prueba. Zonas secas de la superficie de los especímenes para flexión inducen esfuerzos de tensión en las fibras extremas que marcadamente reducen resistencias a la flexión de los especímenes.

Curado de vigas para determinar cuando puede ponerse en servicio una estructura. Tanto como sea posible, las vigas deben curarse de la misma forma que el concreto de la estructura. Transcurridas 48 horas \pm 4 horas después del moldeo, traslade los especímenes al lugar de almacenaje y retírelos de sus moldes. Los especímenes que representan pavimentos o losas apoyadas sobre el suelo deben almacenarse colocándolos sobre el suelo, en la posición como fueron moldeados, con su cara superior hacia arriba. Cubra los lados y los extremos de los especímenes con tierra o arena húmeda, dejando la cara superior expuesta al tratamiento de curado especificado. Los especímenes que representan concreto de la estructura deben almacenarse lo más cercano posible a la estructura que representen y deben recibir la misma protección contra la temperatura y humedad ambiente. Al final del período del curado, los especímenes deben dejarse en el lugar expuesto a la intemperie en las mismas condiciones

que la estructura. Todos los especímenes de vigas deben retirarse del almacenamiento en el campo y almacenarse en agua saturada de cal a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un período de 24 horas \pm 4 horas previo a la hora de ensaye para asegurar una condición uniforme de humedad de un espécimen a otro. Deben tomarse las precauciones ya especificadas en el curado tanto de cilindros como de vigas para prevenir el secado entre el momento de retiro del curado hasta el inicio de la prueba.

Transportación de los especímenes al laboratorio. Antes de transportarse, los especímenes deben curarse y protegerse como se especifico anteriormente. Los especímenes no se transportarán sino hasta al menos 8 horas después de su fraguado final; durante su traslado, los especímenes deben estar protegidos con un material acojinado y adecuado, que evite daños por las sacudidas propias del transporte y los proteja también de temperaturas de congelación o pérdida de humedad. Durante el clima frío, proteja los especímenes contra la congelación con un material aislante adecuado. Evite la pérdida de humedad durante el transporte envolviendo los especímenes en plástico, yute mojado, o rodeándolos con arena húmeda, o bien tapándolos perfectamente con tapas de plástico en moldes del mismo material. Al recibirlos en el laboratorio deben colocarse inmediatamente en el cuarto de curado o tanque de curado, las vigas deben transportarse con el eje longitudinal en posición vertical. La base de apoyo de los especímenes debe tener el amortiguamiento necesario para evitar dañarlos. También durante la entrega de los especímenes en el laboratorio se debe informar lo siguiente:

- ✓ Identificación de los especímenes.
- ✓ Localización del concreto representado por las muestras.
- ✓ Fecha y hora de la elaboración de las muestras individuales.
- ✓ Revenimiento.
- ✓ Resultado de cualquier otra prueba hecha al concreto.
- ✓ Método de curado.

II.4 Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto

Los especímenes (probetas) moldeados para los ensayos de resistencia a la compresión se deben de preparar. De acuerdo al capítulo de elaboración y curado de especímenes mencionado anteriormente. Se deben tomar las dimensiones, el diámetro y la altura del espécimen de prueba y se determinan promediando dos diámetros perpendiculares entre si a una altura media del espécimen y dos alturas opuestas del espécimen. Cuando la altura promedio del espécimen es menor de 1,8 veces el diámetro, el resultado de la resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo a la tabla los valores intermedios que no aparecen en la tabla deben calcularse por interpolación y no deben ensayarse especímenes con relación diámetro/altura menor de 1.

Relación Altura – Diámetro Del espécimen	Factor de correlación a la resistencia
2,00	1,00
1,75	0,99
1,50	0,97
1,25	0,94
1,00	0,91

Los especímenes que se ensayan a la resistencia a la compresión y que son curados en húmedo se probarán tan pronto como sea posible después de retirarlos de la piletta o del cuarto húmedo y una vez que el material de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida. Durante el tiempo transcurrido entre el retiro del almacenamiento húmedo y el ensaye, se debe prevenir la pérdida excesiva de humedad en los especímenes. En el caso de especímenes sometidos en condiciones de curado especiales, curado a vapor o curado ambiente, los especímenes se deben ensayar con la condición de humedad resultante del curado especificado.

Después de haber ensayado el espécimen se realiza el cálculo para obtener la resistencia a la compresión y esta se obtiene, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medido del espécimen.

La probeta estándar para la resistencia a la compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de 50 mm (2 pulgadas) o menor es un cilindro de 150 mm (6 pulgadas) de diámetro por 300 mm (12 pulgadas) de altura. El cilindro de 100 x 200 mm (4 x 8 pulgadas) se está usando comúnmente para los concretos de alta resistencia que contienen agregado de tamaño máximo de 19 mm (3/4 de pulgada), además su sección transversal menor permite que se alcance una resistencia a compresión mayor por una máquina de ensayo tenga una capacidad de carga menor.

La resistencia del concreto se considera satisfactoria si se cumple con las siguientes condiciones: el promedio del conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia igual o superior al especificado para la resistencia a los 28 días f'_c y ningún ensayo individual de resistencia (promedio de dos cilindros) con resistencia de 35 kg/cm² o 3.5 MPa menor que la especificada. Si los resultados de los cilindros no cumplen con estos criterios, se debe evaluar la resistencia del concreto en situ a través de otra prueba como la extracción de núcleos de concreto endurecido.

Además de dos cilindros con 28 días de edad, las especificaciones de obra normalmente requieren uno o dos cilindros con 7 días o más cilindros “de espera”. Los cilindros con 7 días se utilizan para tener un control del desarrollo de la resistencia en edades tempranas. Los cilindros “de espera” se usan comúnmente para tener información adicional, en el caso de que los cilindros a la edad especificada no cumplan con la resistencia a compresión requerida. Cuando ocurren resultados bajos de resistencia a compresión a los 28 días los cilindros “de espera” se prueban a los 56 días de edad.

Para el ensayo de los cilindros se debe contar con una máquina de prueba y esta puede ser de tipo a compresión o universal, con capacidad suficiente y que pueda funcionar a la velocidad de aplicación de la carga, es decir, se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 84 kgf/cm²/min a 210 kgf/cm²/min equivalente para un diámetro estándar de 15 cm.

Se permite una velocidad mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada siempre y cuando durante la segunda mitad se mantenga la velocidad especificada; se puede utilizar máquinas operadas manualmente o motorizadas que permitan cumplir con lo anterior, teniendo en cuenta que solo se harán los ajustes necesarios en los controles de la máquina de prueba para mantener uniforme la velocidad de aplicación de carga hasta que ocurra la falla, es decir, se debe aplicar la carga hasta que aparezca la falla de ruptura.

Los especímenes elaborados con concreto fresco, para su aceptación o rechazo deben ensayarse a la edad de 14 días para resistencias rápidas o 28 días para resistencias normales.



1 Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



2 Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada o excediendo esta.



3 Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo, también por concavidad del plato de cabeceo o concavidad en una de las placas de carga.



4 Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.



5 Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.



6 Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo o del plato cabeceador.



7 Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecidas, por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen para la aplicación de la carga.

Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión

II.5 Cabeceo de especímenes

Los resultados de las pruebas para el ensayo de resistencia a compresión se ven influenciados considerablemente por las condiciones de las caras de los cilindros y de los núcleos de concreto endurecido por lo que los especímenes deben ser pulidos o cabeceados. El cabeceo es la preparación con cemento puro o mortero de azufre de las bases de los especímenes cilíndricos para lograr el paralelismo entre las caras para su prueba y debe estar plano a una tolerancia de 0,05 mm perpendicular al eje del cilindro y también contiene límites de tolerancia de la resistencia y el espesor para el material de cabeceo. El cabeceo con materiales adheribles o cemento puro se realiza a los especímenes cilíndricos de concreto recién elaborados y el cabeceo con mortero de azufre se realiza a los especímenes cilíndricos de concreto endurecido, actualmente el método de cabeceo con mortero de azufre es el más conveniente. Estos procedimientos se realizan cuando las bases de los cilindros no cumplen con los requisitos de planicidad y perpendicularidad en las especificaciones aplicables.

Para llevar a cabo esta prueba se utiliza el equipo y los aparatos siguientes:

- Placas cabeceadoras: Cuando en el cabeceo se ha empleado cemento puro, se debe usar una placa de vidrio o una placa metálica maquinada y pulida de por lo menos 13 mm. de espesor, o placas de granito o diabasa pulidas, de por lo menos 75 mm. de espesor.
- Platos metálicos: Para el cabeceo con mortero de azufre se debe emplear platos metálicos, cuyo diámetro sea por lo menos 5 mm. mayor que el del espécimen por cabecear y su superficie de asiento no debe apartarse de un plano en más de 0,05mm. en 150 mm. La superficie de los platos debe estar libre de estrías, ranuras o depresiones mayores de 0,25 mm. de profundidad en un área geométrica regular de 32 mm². El espesor de la placa debe ser de acuerdo a lo siguiente; en platos nuevos 13 mm. o más, en platos usados 11 mm. mínimo. En ningún caso la depresión debe reducir el espesor mínimo de 11 mm. Se sugiere que tenga una dureza Rockwell C-48 mínimo.
- Dispositivos para cabeceo vertical: También se puede emplear un plato formado de dos piezas metálicas que faciliten el refinado de la superficie de cabeceo, lo cual puede ser necesario. En tal dispositivo la sección inferior es una placa sólida y la sección superior es un anillo circular maquinado, que forma el borde del plato, estas piezas se fijan con tornillos.
- Dispositivos de alineamiento: Deben emplearse dispositivos de alineación, tales como barras guía o niveles de “ojo de buey”; en unión con las placas de cabeceo, para asegurar que ninguna capa se aparte de la perpendicularidad al eje del espécimen cilíndrico en más de 0,5 (aproximadamente 3 mm. en 300 mm.).
- El mismo requisito es aplicable a la relación entre el eje del dispositivo de alineamiento y la superficie de la placa de cabeceo cuando se empleen las barras guía. Más aún, la localización de cada barra respecto a su placa debe ser tal, que ninguna capa esté fuera del centro de un espécimen, por más de 2 mm.
- Recipiente para fundir azufre: Existen dos tipos, los recipientes equipados con dispositivos que controlen automáticamente la temperatura y los recipientes sometidos a calor externo. En ambos casos los recipientes deben ser fabricados o forrados de algún material que no sea reactivo con el mortero de azufre fundido.

Para realizar la operación de fundido se debe contar con una campana de extracción de gases.

Los morteros de azufre comerciales o preparados en el laboratorio deben alcanzar una resistencia de 350 kg/cm² a las 2 horas como máximo para concretos de 350 kg/cm² a 500 kg/cm² y los especímenes deben tener una capa con un espesor de 8 mm como máximo y para resistencias mayores de 500

kg/cm² de los especímenes de concreto la capa del mortero de azufre debe tener un espesor de 5 mm como máximo y se debe mantener 16 horas antes del ensayo.

Para determinar la resistencia del azufre que se emplea para el cabeceo se realiza una prueba a la compresión a tres cubos de 5 cm por lado. Estos cubos se fabrican en un molde de tres compartimentos los cuales se llenan con el azufre que se calienta a una temperatura de 130 °C a 150 °C, se retiran los cubos del molde sin romper la colada se limpian, se raspan y se les retira el sobrante de las aristas y se verifican los planos de las superficies de contacto, después se almacenan a la temperatura del laboratorio durante 2 horas mínimo para resistencias de 35 MPa (350 kg/cm²) o de 16 horas para resistencias mayores, se prueban los cubos a la compresión aplicando la carga en dos de las caras laterales y se calcula su resistencia en MPa (kg/cm²).

Las condiciones ambientales son la temperatura y la humedad relativas que prevalezcan en el lugar y deben registrarse.

Los especímenes endurecidos que sean ensayados en condiciones de secos al aire o que se deban mojar durante 20 horas a 28 horas antes de la prueba, se cabecean con mortero de azufre.

Para el cabeceo de especímenes cilíndricos recién moldeados. Se emplea pasta elaborada con cemento Pórtland puro, se hacen las capas tan delgadas como sea posible, sobre la cara opuesta después de 2 horas a 4 horas del moldeo, la pasta debe tener una consistencia normal, aproximadamente entre 0,25 y 0,35 de la relación agua/cemento. Es conveniente que después de 30 minutos de su aplicación se enrace con una placa, en este procedimiento es necesario retirar el agua de sangrado antes de aplicar la pasta de cemento.

Otra alternativa es la de espolvorear cemento sobre la superficie expuesta aún fresca y después de 1 hora a 2 horas enrasar. Las capas de cemento requieren generalmente de un mínimo de 7 días para alcanzar una resistencia aceptable.

Las capas de pasta de cemento se contraen y se agrietan por secado, por lo que deben emplearse únicamente para especímenes que sean curados en forma continua hasta el momento de su ensaye.

Especímenes de concreto endurecido. Las bases de los especímenes cilíndricos de concreto endurecido que no se encuentran dentro de las tolerancias de $\pm 0,05$ mm con respecto a su plano deben ser cabeceadas, cortadas o pulidas para cumplir con esta tolerancia.

Para el cabeceo con mortero de azufre, se debe colocar la cantidad suficiente de azufre en el recipiente para cabecear los especímenes de ese momento y se calienta a una temperatura de 140 °C \pm 10 °C. El mortero de azufre debe estar seco cuando se coloque dentro del recipiente donde será fundido ya que la humedad puede producir espuma. El plato y los dispositivos para el cabeceo, deben ser calentados ligeramente para disminuir la velocidad de endurecimiento y permitir la formación de capas delgadas, antes de vaciar cada capa, se aceita ligeramente el plato de cabeceo y se agita el mortero de azufre fundido. Las bases de los especímenes curados en forma húmeda deben estar suficientemente secas en el momento del cabeceo, para evitar que se formen burbujas de vapor o bolsas de espuma de diámetro mayor de 6 mm dentro de las capas. Para asegurar que la capa de mortero de azufre se ha adherido a la superficie del espécimen, la base de éste no debe ser aceitada antes de la aplicación de la capa.

Los especímenes curados vía húmeda se deben mantener en condiciones húmedas durante el tiempo transcurrido entre el terminado del cabeceo y el momento de la prueba, regresándolos al almacenamiento húmedo o protegiéndolos con una manta húmeda para evitar la evaporación.

Los especímenes cabeceados no se ensayaran hasta que el mortero de azufre haya alcanzado la resistencia requerida.

El mortero de azufre se puede usar como máximo 10 veces para disminuir al mínimo la pérdida de la resistencia y de la fluidez por la contaminación del mortero con aceite y pérdidas de azufre a través de la volatilización. El número de usos debe ser demostrado en base a la resistencia obtenida de los ensayos de los cubos de mortero de azufre.

III.- OTRAS PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

Estas otras pruebas que se le realizan al concreto fresco son de tipo más específico, es decir, nos sirven para obtener más características que debe cumplir el concreto para ser utilizado de forma correcta y poder contar con una mayor seguridad del concreto a emplear en nuestra obra.

III.1 Temperatura

La temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades del concreto fresco por lo tanto este método de prueba puede usarse para verificar que el concreto satisfaga requerimientos específicos de temperatura y para ello se cuenta con termómetros de vidrio o con coraza. El termómetro debe tener precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dentro de todo un rango de 0° hasta 50°C . El dispositivo de medición de temperatura requiere una inmersión de 75 mm o más, durante la operación.

Los termómetros de cristal con líquido de inmersión parcial y posiblemente otros tipos deben tener una marca permanente hasta donde deben insertarse sin necesidad de aplicar un factor de corrección. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital.

Se debe contar con un recipiente hecho de un material no absorbente y tener dimensiones tales, que al menos 75 mm de concreto cubran en todas direcciones el sensor del aparato medidor de temperatura. La cantidad de concreto que debe cubrir tiene que ser además un mínimo de tres veces mayor que el tamaño máximo del agregado.

La temperatura del concreto fresco recién mezclado puede medirse en el equipo de transporte, si es que el aparato medidor de temperatura está rodeado por al menos 75 mm en todas direcciones, también se puede tomar la temperatura después de colar el concreto usando las cimbras como recipientes de contención.

Si el equipo de transporte o la cimbra no se utilizan como recipientes de contención, debe prepararse una muestra. Antes de obtener la muestra se debe humedecer el recipiente con agua y se toma la muestra como se menciona en el capítulo referente al muestreo de concreto fresco.

Coloque el concreto recién mezclado en el recipiente. Cuando el concreto contenga agregado de tamaño nominal máximo mayor de 75 mm, puede tomar más de 20 minutos para que la temperatura se estabilice después de mezclar el concreto.

Cuando la muestra de concreto fresco ya se encuentra dentro del recipiente se coloca el aparato medidor de temperatura en la mezcla de concreto fresco recién mezclado, de modo que el sensor de temperatura esté sumergido al menos 75 mm. Presione suavemente la superficie del concreto alrededor del aparato medidor de temperatura de modo que la temperatura ambiental no afecte la medición, se debe dejar el aparato medidor de temperatura dentro de la muestra de concreto fresco por un período mínimo de dos minutos, o hasta que la lectura se estabilice, es cuando se toma y se registra la lectura con una precisión de $0,5^{\circ}\text{C}$. La determinación de la temperatura debe realizarse en un tiempo no mayor de cinco minutos a partir de la obtención de la muestra de concreto fresco recién mezclado.

III.2 Masa unitaria y rendimiento

Se define como masa unitaria a la cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco y se mide en kg/m^3 . Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica (rendimiento) del concreto producido en cada mezcla.

Para obtener la masa unitaria se debe obtener una muestra de concreto fresco, como se menciona en el capítulo II.1 para realizar la prueba y con equipo apropiado.

El equipo con el cual se debe contar es:

Una balanza o una báscula con capacidad suficiente para cargar al recipiente vacío más la masa del concreto fresco colocado dentro del mismo y debe tener una precisión de 0,1% de la carga de prueba.

Vibrador interno puede ser de flecha rígida o flexible accionada por un motor eléctrico. La frecuencia de operación debe ser mínima de 7 000 vibraciones por minutos, el diámetro exterior del cabezal debe de ser de 30 mm y una longitud mínima de 600 mm (cabezal y flecha).

Varilla de compactación debe ser de sección circular, de acero, recta, lisa, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con un extremo semiesférico.

Termómetro con una precisión de 1 °C.

Mazo o martillo de neopreno o forrado de cuero con un peso de 0,4 kg a 0,8 kg, para recipientes de 14 litros o menores y de 0,8 kg a 1,2 kg para recipientes con capacidad mayor (ver tabla 1).

Tabla 1. Capacidad y dimensiones del recipiente

Capacidad del recipiente (L)	Diámetro interior (mm)	Altura interior (mm)
5	170 ± 2	220 ± 2
10	205 ± 2	305 ± 2
14	245 ± 2	317 ± 2
28	347 ± 2	398 ± 2

Placa enrasadora, debe ser una placa rectangular, plana con un mínimo de 6 mm de espesor si es de metal, o de 12 mm si es de vidrio o de material acrílico, con una longitud y un ancho mínimos de 150 mm mayor que el diámetro del recipiente con el cual se use. Los cantos de la placa deben ser rectos y lisos.

Placa de vidrio o material acrílico con un espesor mínimo de 6 mm y 50 mm mayor que el diámetro del recipiente que va a ser calibrado.

Recipiente o unidad de medición, de forma cilíndrica de metal, estanco y suficientemente rígido para conservar su forma y volumen calibrado bajo uso rudo. Debe ser fabricado de forma tal que conserve medidas precisas en su parte interior y de preferencia provisto de dos manijas. La capacidad calibrada

del recipiente puede tener una tolerancia de $\pm 5\%$ respecto a su capacidad, Las dimensiones estarán de acuerdo a la tabla 1, así como su capacidad debe de estar de acuerdo con la tabla 2.

Tabla 2. Capacidad mínima del recipiente

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (mm)	Capacidad del recipiente (L)	Peso del martillo O mazo (kg)
25	5	0,5
38	10	0,5
50	14	0,5
75	28	1,0

Preparación de la muestra

Se obtiene de acuerdo a lo indicado en el capítulo II.1; una vez obtenida la muestra se coloca en el recipiente y se compacta, para recipientes con capacidad menor de 10 litros se compacta el concreto fresco con varilla y para recipientes de 10 litros de capacidad o mayores, el método de consolidación puede ser varillado o por vibración interna, lo anterior se selecciona de acuerdo al revenimiento de la mezcla, a menos que se establezca otro procedimiento en las especificaciones de obra. Se debe varillar el concreto fresco que tenga revenimiento mayor de 80 mm; se puede varillar o vibrar los concretos con revenimientos de 30 mm a 80 mm; se deben vibrar los concretos con revenimientos menores de 30 mm.

Método de prueba

Este método de prueba se realiza de acuerdo a las condiciones ambientales que prevalezcan en el lugar de las pruebas.

Prueba realizada con varillado: se coloca el concreto en tres capas de igual volumen aproximadamente y cada capa se compacta con 25 penetraciones, si la capacidad del recipiente es de 14 litros o menos y con 50 penetraciones si la capacidad del recipiente es mayor de 14 litros. En la primera capa la varilla debe penetrar completamente el espesor del concreto pero sin golpear el fondo del recipiente, se deben distribuir las penetraciones de la varilla en toda la superficie de la capa del concreto, para las dos capas restantes la varilla debe penetrar aproximadamente 20 mm en la capa anterior, después de compactar cada capa se les da unos ligeros golpes con el mazo apropiado a los lados del recipiente hasta que se cierren los huecos dejados por la varilla y se libere el aire que puede tener atrapado el concreto, se procura que en la última capa no se rebose más de 3 mm el concreto en el recipiente.

Prueba realizada con vibrador: Se debe llenar el recipiente en dos capas iguales aproximadamente, se inserta el vástago del vibrador en tres puntos diferentes en cada capa evitando tocar los lados del recipiente y el fondo del recipiente en la primera capa, para la segunda capa el vástago debe penetrar en la capa anterior 20 mm aproximadamente, se debe retirar el vástago con cuidado de no dejar burbujas de aire durante la prueba, el tiempo requerido de la vibración depende de la trabajabilidad de la mezcla y de la eficiencia del vibrador. En general el vibrado es suficiente cuando la superficie del concreto presenta un aspecto liso y el agregado grueso tiende a desaparecer. No se debe sobrevibrar ya que esto ocasiona segregación en el concreto. Terminada la compactación el recipiente no debe presentar exceso o faltante de concreto, el contenido óptimo es cuando el concreto sobre sale unos 3

mm sobre el borde superior del recipiente. Se puede agregar una pequeña porción para completar la cantidad óptima y si el recipiente tiene exceso de concreto este se puede retirar con una cuchara de albañil inmediatamente después de terminar la compactación y antes del enrase.

El enrase se realiza haciendo presión con la placa enrasadora sobre la superficie del concreto, cubriendo dos tercios de ella y retirándola con un movimiento de sierra para terminar la superficie cubierta originalmente, se coloca nuevamente la placa sobre la superficie del concreto cubriendo los dos tercios enrasados y se avanza con un movimiento de sierra presionando verticalmente hasta cubrir el total de la superficie, finalmente al dar varias pasadas inclinando el filo de la placa se produce un acabado pulido de la superficie del concreto. Después de enrasar, se limpia todo el exceso de concreto adherido en el exterior del recipiente y se determina la masa unitaria del concreto con la precisión de 0,01 kg/m³, cuidando que la báscula se encuentra nivelada, calibrada y fuera de corrientes de aire.

La masa unitaria se calcula restando la masa del recipiente de medición (Mr) de la masa del recipiente de medición lleno de concreto (Mt) y dividiendo la masa neta del concreto entre el volumen del recipiente de medición (Vr).

$$Mu = (Mt - Mr)/Vr$$

El rendimiento "R" (volumen real de concreto obtenido por revoltura) se calcula dividiendo la masa total de todos los materiales incluidos en una revoltura "M₁" entre la masa unitaria "Mu" respectiva de cada prueba. La masa total de todos los materiales incluidos en una revoltura es la suma de la masa del cemento, del agregado fino, del agregado grueso en las condiciones que se usan, del agua de mezclado agregada a la revoltura y de cualquier otro material, sólido o líquido que se le adicione y se calcula con la siguiente formula:

$$R = M_1/Mu$$

El rendimiento se expresa en m³ y se reporta con una precisión de 0,01 m³.

III.3 Contenido de aire

Para medir el contenido de aire en el concreto fresco existen varios métodos entre ellos están: el método gravimétrico, el método volumétrico y el método por presión.

El método gravimétrico utiliza el mismo equipo empleado para la determinación de la masa unitaria del concreto fresco. La masa unitaria medida del concreto fresco se substrahe de la masa unitaria teórica la cual se determina de los volúmenes absolutos de los ingredientes, asumiéndose que no hay aire presente. La diferencia, expresada en porcentaje de la masa unitaria teórica, es el contenido de aire.

Tanto las proporciones de la mezcla como las masas específicas relativas de los ingredientes se deben conocer con gran precisión, para que se eviten errores en los resultados. Por lo tanto este método es adecuado sólo en el control del laboratorio. Los cambios considerables en la masa unitaria pueden ser una manera conveniente de detectar la variabilidad del contenido de aire.

Este contenido de aire debe ser calculado exclusivamente en concretos en los que se incluya aire por medio de aditivos y se calcula de la siguiente forma:

$$A = [(M_t - M_u)/M_t] \times 100$$

O bien:

$$A = [(R - V_a)/R] \times 100$$

En donde:

A es el contenido de aire en el concreto fresco (porcentaje de vacíos), en porcentaje (%)

M_t es la masa teórica del concreto, considerándolo libre de aire, en (kg/m³)

M_u es la masa unitaria del concreto fresco obtenido por revoltura, en (kg/m³)

R es el volumen real del concreto fresco obtenido por revoltura (rendimiento) en (m³)

V_a es el volumen total absoluto de los ingredientes que componen la revoltura, en (m³)

La masa teórica (M_t) del concreto por metro cúbico se determina en el laboratorio y es el valor que se considera constante para todas las revolturas elaboradas, usando idénticos ingredientes y proporciones; se calcula con la siguiente expresión:

$$M_t = P_1/V_a$$

En donde:

M_t es la masa teórica del concreto, considerándolo libre de aire, en (kg/m³)

P₁ es la masa total de todos los materiales incluidos en una revoltura, en (kg)

V_a es el volumen total absoluto de los ingredientes que componen una revoltura, en (m³)

El volumen absoluto de cada ingrediente en metros cúbicos es igual al cociente de la masa de dicho ingrediente en kilogramos, dividida entre mil veces la masa específica, para los agregados debe ser el que corresponda a la condición de saturados y superficialmente secos.

El método volumétrico nos determina el contenido del aire en mezclas de concreto fresco recién mezclado que contiene cualquier tipo de agregado, ya sea denso, celular o ligero. Esta medición corresponde al aire contenido en la fracción de mortero del concreto, pero no se ve afectada por el aire

que pueda estar presente en los agregados porosos por lo tanto este método es adecuado para determinar el contenido de aire en los concretos elaborados con agregados ligeros, escoria enfriada con aire y agregados de alta porosidad, este método de prueba requiere la adición de suficiente alcohol isopropilo cuando el medidor está siendo llenado inicialmente con agua.

Equipo

Medidor de aire integrado por un recipiente y una sección superior (Figura 1), ambas partes deben tener un espesor y rigidez suficientes para soportar el uso rudo del trabajo de campo y que satisfaga los siguientes requisitos:

El recipiente debe tener un diámetro de 1 a 1,25 veces su altura y no debe tener una capacidad menor de 2,0 litros.

La sección superior debe tener por lo menos 20% más capacidad que el recipiente y debe estar equipada con un empaque flexible. También debe estar equipada con un cuello de vidrio o plástico transparente, graduado con incrementos no mayores de 0,5%. Además, el extremo superior del cuello debe tener una tapa hermética que mantenga sellada la unidad cuando ésta sea invertida y rodada.

Embudo de metal cuyo conducto tenga un tamaño tal que permita insertarlo a través del cuello de la sección superior, y un largo suficiente para llegar a un punto justo arriba del fondo de la sección superior.

Varilla de compactación recta y plana de 16 ± 2 mm de diámetro y de por lo menos 300 mm de largo con ambos extremos redondeados en forma semiesférica del mismo diámetro.

Barra enrasadora de acero, recta, de al menos 3 x 20 x 300 mm o una barra plana de polietileno de alta densidad de por lo menos 6 x 20 x 300 mm.

Copa de metal o plástico graduada o con una capacidad de ser graduada en incrementos iguales a $1,00 \pm 0,04\%$, del volumen del recipiente del medidor de aire. Se usa únicamente para agregar agua cuando el contenido de aire en el concreto exceda el 9% del rango del medidor.

Vasija de medición para alcohol isopropilo con capacidad de al menos 500 ml con graduaciones no mayores a 100 ml.

Jeringa de hule con una capacidad de por lo menos 50 ml.

Vasija vertedora para agua con capacidad de aproximadamente 1 L.

Cucharón pequeño de metal

Alcohol isopropilo, utilizar a razón de 70% por volumen. Se permiten otros agentes dispersadores de espuma si las pruebas demuestran que uso del agente no cambia el contenido de aire indicado, en las cantidades que están siendo usadas, en más de 0,1%, o si se desarrollan factores de corrección similares a los de la tabla 1.

TABLA 1 Corrección para el efecto del alcohol isopropilo en la lectura del medidor de aire

Pintas	70% de alcohol isopropilo usado	
	Litros	Corrección (restar) Δ
0.5	0.2	0.0
1.0	0.5	0.0
1.5	0.7	0.0
2.0	0.9	0.0
3.0	1.4	0.3
4.0	1.9	0.6
5.0	2.4	0.9

Δ Restar de la lectura final del medidor.

Procedimiento de la prueba de contenido de aire por el método Volumétrico:

Obtenga una muestra de concreto fresco de acuerdo al capítulo referente al muestreo. Si el concreto tiene partículas de agregado grueso que pudieran quedar retenidas en la malla de 37,5 mm, criba en húmedo una muestra representativa empleando la mal de 25 mm, hasta obtener una cantidad ligeramente mayor a la que se necesita para llenar el recipiente de medición.

Humedezca ligeramente el interior del tazón y utilizando el cucharón pequeño, llene el recipiente de medición con concreto fresco en dos capas de igual volumen, compacte cada capa con 25 penetraciones con la varilla, procure no golpear el fondo del recipiente de medición cuando compacte la primera capa. Al varillar la segunda capa, penetre la capa anterior aproximadamente 25 mm, al terminar de compactar cada capa golpee con el mazo los lados del recipiente de medición de 10 a 15 veces, para cerrar cualquier hueco que haya dejado la varilla y para expulsar cualquier burbuja grande de aire que haya quedado atrapada. Después de terminar de compactar la última capa se permite que exista un pequeño exceso de concreto de aproximadamente 3 mm o menos posteriormente se quita el exceso de concreto con la barra enrasadora hasta que la superficie quede nivelada con la parte superior del recipiente, limpie el borde del recipiente medidor.

Adición de agua y alcohol: Humedezca la parte inferior de la sección de arriba del medidor, incluyendo el empaque, fije la sección superior al tazón e inserte el embudo. Agregue al menos 0,5 L de agua seguido por la cantidad seleccionada del alcohol isopropilo, registre esta cantidad de alcohol isopropilo agregado, continúe agregando agua hasta que aparezca en el cuello graduado de la sección superior, remueva el embudo, ajuste el nivel del líquido hasta que la parte inferior del menisco esté a nivel con la marca cero, es útil una jeringa de hule para este propósito. Fije y apriete el tapón impermeable al agua.

Desplace el volumen de aire del espécimen de concreto y libere el concreto de la base volteando rápidamente el medidor y sacuda la base horizontalmente, y vuelva el medidor a la posición vertical, para evitar que el agregado se deposite en el cuello de la unidad, no lo mantenga invertido por más de 5 segundos cada vez. Se repite el proceso de inversión y sacudida por un mínimo de 45 segundos y hasta que el concreto se haya liberado y se pueda oír el agregado moviéndose en el medidor cuando es volteado, hágalo rodar colocando una mano en el cuello del medidor y la otra en el patín con la mano

que sujeta el cuello incline la parte superior del medidor aproximadamente 45° respecto a la posición vertical con la orilla inferior de la base del medidor descansando en el piso o en la superficie de trabajo se debe mantener esta posición durante todos los procedimientos antes mencionados de esta prueba; usando la mano en el patín para girar el medidor, ruede vigorosamente el medidor de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de vuelta hacia adelante y hacia atrás varias veces, empezando y deteniéndose rápidamente en el giro. Voltee la base del medidor aproximadamente $\frac{1}{2}$ de vuelta y repita el procedimiento de rodamiento como se estableció previamente. Continúe los procedimientos de inversión y rodamiento por aproximadamente un minuto. Debe oírse que el agregado se está deslizando en el medidor durante este proceso.

Si, en algún momento, durante los procedimientos de inversión y rodamiento se descubre que el líquido se está fugando del medidor, la prueba se desecha y debe empezarse una nueva prueba.

Terminado el proceso de inversión y rodamiento el medidor se coloca en forma vertical y se afloja la parte superior para permitir que se establezca cualquier presión que haya. Permita que el medidor esté parado mientras que el aire se eleva a la parte superior y hasta que el nivel del líquido se estabilice y este se considera estable cuando no cambia más de 0.25% de aire en un período de 2 minutos, pero si se necesitan más de 6 minutos para que el nivel del líquido se estabilice, o si hay más espuma que la equivalente a dos divisiones porcentuales completas del contenido de aire en la escala del medidor sobre el nivel del líquido deseche la prueba y empiece una nueva prueba, pero si el nivel es estable sin una cantidad excesiva de espuma, lea la parte inferior del menisco al 0.25% más cercano y registre la lectura inicial del medidor y si el contenido es mayor del 9% del medidor se le agrega un número suficiente de copas calibradas de agua para hacer que el nivel del líquido quede en el rango graduado y se lee la parte inferior del menisco al 0.25% más cercano y se debe registrar el número de copas calibradas de agua que han de ser agregadas a la lectura final del medidor.

Cuando el nivel del líquido sea estable estando el medidor en posición vertical y no necesite más de 6 minutos para estabilizarse, así como no exista un exceso de espuma se realiza una lectura directa a la parte inferior del menisco y calcule el 0.25% de aire y si esta lectura no cambia en más de 0.25% de la lectura inicial del medidor. Se registra como la lectura final del medidor de la muestra ensayada pero si la lectura ha cambiado respecto a la lectura inicial del medidor en más del 0.25% de aire, se registra esta lectura como una nueva lectura inicial y se repite el rodamiento de un minuto, tal como se indicó anteriormente vuelva a leer el contenido de aire indicado y si esta lectura no ha cambiado en más de 0.25% de aire respecto a la lectura inicial, se registra como la lectura final del medidor.

Por último desensamble el aparato, humedezca la base y observe los contenidos para asegurar de que no haya porciones de concreto adherido en la base y si se encuentran porciones de concreto sin alterarse dentro del recipiente, el ensayo no tiene validez.

La lectura final del medidor tiende a ser ligeramente más alta que el contenido real de aire de la muestra cuando se usan 2.5 pintas (1.2 L) o más de alcohol isopropilo y cuando se usa menos de 2.5 pintas (1.2L) de alcohol isopropilo, la lectura final del medidor es el contenido de aire de la muestra del concreto ensayado, excepto si se agregan copas calibradas de agua para obtener una lectura de más del 9% del medidor se suma el número de copas calibradas, registradas para el contenido de aire encontrado.

Se reportara el contenido de aire al 0.25% de aire más cercano.

Procedimiento de la prueba de contenido de aire por el método de presión.

Este método de ensaye cubre la determinación del contenido de aire en el concreto fresco recién mezclado, excluyendo cualquier aire que se encuentre dentro de los vacíos internos de las partículas de los agregados, por esta razón , la prueba es aplicable al concreto hecho con agregado de partículas relativamente densas y requiere la determinación del factor de corrección del agregado.

Medidor de aire: es un recipiente de medición y una tapa ensamblada (Figura 1).

El funcionamiento de este medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire, a una presión conocida, en una cámara de aire sellada, con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto.

Varilla para compactar debe ser redonda y lisa de acero con un diámetro de $\frac{3}{8}$ de pulgada (16 mm) y no menos de 16 pulgadas (400 mm) de longitud.

Mazo con cabeza de cuero o caucho con una masa aproximada de 1.25 ± 0.50 libras (0.57 ± 0.23 kg) para recipientes de 0.5 pies³ (14 dm³) o menores, y un mazo con masa aproximada de 2.25 ± 0.50 libras (1.02 ± 0.23 Kg), para recipientes mayores de 0.5 pies³ (14 dm³).

Regla de enrase, barra recta plana de acero u otro metal de por lo menos $\frac{1}{8}$ de pulgada (3 mm) de espesor, $\frac{3}{4}$ de pulgada (20 mm) de ancho y 12 pulgadas (300 mm) de longitud.

Procedimiento de la prueba de contenido de aire:

Se debe limpiar totalmente los bordes del recipiente y de la tapa de ensamble, para que cuando esta se coloque en su lugar se logre un cierre hermético a presión. Cierre la válvula de aire dispuesta entre la cámara de aire y el recipiente de medición, y abra ambas válvulas A y B situadas en la tapa, inyecte agua con una jeringa a través de una de las válvulas hasta que el agua misma surja en la válvula opuesta. Sacuda el medidor suavemente hasta que salga todo el aire por la misma llave de purga.

Cierre la válvula de alivio de la cámara de aire y bombee aire en la cámara hasta que la aguja del medidor de presión esté en la línea de presión inicial, deja pasar unos segundos para que el aire comprimido se enfríe a temperatura normal, estabilice la aguja del medidor de presión en la línea de presión inicial, bombeando o expulsando aire, cuanto sea necesario, golpee ligeramente el medidor de presión con la mano, cierre ambas válvulas colocadas en la tapa, luego abra la válvula de comunicación de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medición, golpee los lados del recipiente de medición con el mazo para eliminar restricciones locales, después golpee ligeramente el medidor de presión con la mano para estabilizar la aguja del mismo, lea el porcentaje de aire en la carátula del medidor de presión. Si no se cierra la válvula principal del aire antes de liberar la presión, tanto del recipiente como de la cámara de aire, eso ocasionara que el agua se introduzca en la cámara de aire, debe sangrarse a través de la válvula de purga, y luego efectuar varias operaciones de la bomba para eliminar los últimos rastros de agua, libere la presión abriendo ambas llaves de purga antes de quitar la tapa.

Cálculos: Se calcula el contenido de aire del concreto que se localiza en el recipiente de medición, como sigue:

$$A_s = A_1 - G$$

Donde:

A_s = Contenido de aire de la muestra ensayada, en %

A_1 = Contenido aparente de aire de la muestra ensayada, en %

G = Factor de corrección del agregado, en %

IV. PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO

Estas pruebas que se le realizan al concreto en estado endurecido, nos sirven para determinar si el concreto se encuentra en buen estado o ha sufrido algún daño.

Regularmente estas pruebas se realizan cuando el concreto ya fue colocado y se necesita saber en que condiciones se encuentra actualmente ya sea para reforzar o cambiar el elemento.

IV.1. Extracción de núcleos

Los núcleos, también llamados corazones, son partes cilíndricas extraídas haciendo una perforación en la masa de concreto con una broca cilíndrica de pared delgada con corona de diamante, carburo de silicio o un material similar, debe tener un sistema de enfriamiento para la broca que impida la alteración del concreto y calentamiento de la misma. Este procedimiento es empleado para obtener las muestras que ayudan a verificar cuantitativamente que el concreto posee la resistencia y durabilidad deseada ya que en el proceso de endurecimiento ciertos factores como el agua, el aire, la humedad y la temperatura pueden modificar la calidad del concreto afectando su utilidad, por lo cual al realizar las pruebas a las muestras extraídas se logran determinar los espesores, resistencia a la compresión simple y la resistencia a la tensión por compresión diametral.

Para realizar pruebas con núcleos es importante tener en cuenta que las muestras usadas deben tomarse hasta que el concreto alcance un mínimo de 14 días de edad y ser extraídas de una zona que no presente daños, no deben contener acero de refuerzo ni haber sido alteradas durante el proceso de extracción ya que no podrán ser tomadas en cuenta para la prueba.

El espécimen debe extraerse perpendicularmente a la superficie y cerca del centro, alejado de las aristas o juntas de colado sin importar que la superficie se encuentre horizontal, vertical o inclinada, de preferencia tener una relación altura/diámetro de 2, pudiéndose aceptar, como mínimo, una relación de 1. En el caso de la extracción en losas, la sección debe ser lo suficientemente grande para poder obtener los núcleos sin fallas tales como grietas, fisuras o cualquier tipo de defecto.

Las bases de los corazones para la realización de los ensayos deben de ser planas y prácticamente lisas, perpendiculares al eje longitudinal, con una tolerancia de 5° y con el mismo diámetro que el cuerpo del espécimen, con tolerancia de 2,5 mm. Cada extremo del corazón debe recortarse con disco de diamante por lo menos 1 cm para evitar zonas alteradas. La longitud de éste, cuando ya tenga preparadas las bases, debe ser tan cercana como sea posible a 2 veces el diámetro. No debe probarse un núcleo que tenga altura menos del 95% de su diámetro antes de cabecear sus bases o que tenga menos del 100% de su diámetro después de ser sometidas al cabeceo con azufre fundido a menos que se vaya a realizar la prueba de compresión diametral, ya que en ese caso no se usa el cabeceo de las bases.

Se debe realizar una medición de la longitud del espécimen con las bases preparadas con una aproximación de 1 mm, es deseable la obtención del diámetro con una aproximación de 0,5 mm pero debe ser por lo menos de 1 mm, promediando dos medidas tomadas en ángulo recto una de otra, aproximadamente a la altura media del espécimen.

También es importante tomar en cuenta las condiciones de humedad y curado ya que los corazones extraídos de un elemento cuyas condiciones de servicio sean de un ambiente superficialmente seco, deben permanecer durante 7 días, a menos que se acuerde otro lapso, en un ambiente con temperatura de 288 K – 299 K (15 °C a 26°C) y con una humedad relativa no mayor de 60% antes de probarse.

Los núcleos extraídos de un elemento que estará sujeto durante su servicio a una completa saturación, deben curarse de acuerdo con lo siguiente: deben ser sumergidos en agua saturada de cal, cuya temperatura sea de 296 K +- 2K (23°C +- 2°C), por lo menos 40h antes de ser sometidos a la prueba. Durante el período de retiro del agua al almacenamiento y la prueba, deben conservarse húmedos, cubriéndolos con telas mojadas.

A los núcleos extraídos se les hace una prueba limpiando las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba, se coloca éste último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga. El contacto que se produce entre el espécimen y las placas superior e inferior debe asegurarse que sea suave y uniforme.

Se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua, sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 137 kPa/s (84 kg/cm²/mm a 210 kg/cm²/mm). Se deben utilizar máquinas motorizadas que permitan cumplir con lo anterior, teniendo en cuenta que se harán los ajustes necesarios en los controles de la máquina de prueba para mantener uniforme la velocidad de aplicación de carga, hasta que ocurra la falla.

Se aplica carga hasta alcanzar la máxima y se registra. Cuando sea necesario se podrá llevar hasta la ruptura, para observar el tipo de falla y apariencia del concreto.

A los corazones que serán utilizados en la prueba de compresión simple se les calcula la resistencia a la compresión de cada uno, usando el área de la sección transversal, calculada en función del promedio del diámetro del espécimen como se indico con anterioridad. Se hacen las correcciones de resistencia por la relación altura/diámetro, multiplicando la resistencia de compresión por el factor de corrección, de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1. Correcciones de resistencia

Relación de altura /diámetro del corazón	Factor de corrección a la resistencia
2,00	1,00
1,75	0,99
1,50	0,97
1,25	0,94
1,00	0,91

Los valores intermedios que no aparecen en la tabla anterior, deben calcularse por interpolación. En la tabla 1 se anotan los factores de corrección promedio para resistencias nominales comprendidas entre 13,72 MPa y 41,17 MPa (140 kg/cm² y 420kg/cm²) de corazones preparados según lo indicado en los párrafos anteriores.

IV.2 Esclerómetro

El esclerómetro, también conocido como martillo de rebote, es utilizado para determinar el índice de rebote en el concreto endurecido, evaluando la uniformidad superficial del concreto comparándolo con un concreto de resistencia conocida, pero no debe ser utilizado como una alternativa para la determinación de la resistencia a la compresión.

Antes de la prueba debe eliminarse de la superficie la pintura, polvo o cualquier elemento no propio del concreto, así como irregularidades debidas a cimbras de madera no cepilladas las cuales deben ser pulidas con piedra abrasiva hasta dejarlas lisas, revisar y calibrar periódicamente el esclerómetro para no tener fallas en el índice de rebote. Es importante tomar en cuenta que existen factores tales como el ambiente, que influyen en el método de realizar la prueba.

Para evitar fallas en los resultados arrojados por la prueba de debe considerar lo siguiente:

- Que los concretos secos dan un número de rebote más alto que los húmedos.
- Las superficies aplanadas con llana generalmente manifiestan un índice de rebote más alto que las superficies ásperas o con acabado poroso.
- La temperatura del martillo de rebote, por sí misma, puede afectar el índice de rebote.
- El concreto a una temperatura de 273 K (0°C) o menor puede presentar índice de rebote muy alto, por lo que el concreto debe descongelarse y esperar 24 h a una temperatura de 5°C para realizar en ensaye
- Las lecturas que van a ser comparadas, deben corresponder a pruebas efectuadas a la misma dirección de impacto o inclinadas con el mismo ángulo.
- Martillos diferentes del mismo diseño nominal pueden dar índices de rebote diferentes, por lo que las pruebas deben efectuarse con el mismo martillo a fin de comparar resultados. Si se emplea más de un dispositivo deben efectuarse un número suficiente de pruebas, sobre la superficie de un concreto patrón, de modo que se determine la magnitud de las diferencias que se pueden esperar.

Para empezar con la prueba se escoge una zona que tenga por lo menos 150 mm de diámetro y 100 mm de espesor, para evitar lecturas erróneas debido a la elasticidad de la pieza. Todos los elementos sueltos deben fijarse rígidamente. Las superficies de prueba deben elegirse de acuerdo a la representatividad de área por evaluar, en función de sus oquedades, desconchamiento, alta porosidad o textura rugosa. Cuando se desean comparar las características de dos elementos, estos deben tener aproximadamente la misma edad y condiciones de humedad.

Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se a evaluar y se ejerce una presión para permitir que el embolo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima extensión, eliminando la presión sobre el martillo, manteniendo la perpendicularidad y la presión uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie del concreto. Después del impacto se oprime el botón pulsador y se toma la lectura en la escala graduada, registrándola. Ésta operación se debe repetir diez veces como mínimo y con una separación entre impactos de 25 mm a 50 mm.

Se determina el promedio de lecturas. Si más de tres lecturas difieren del promedio en seis o más unidades, se desecha la prueba. Se eliminan las lecturas que difieran del promedio en más de cinco unidades. Se determina el promedio de las restantes, siendo este el número de rebote.

Al finalizar la prueba se realiza un informe que contenga los datos siguientes:

- ✓ Identificación de la estructura.
- ✓ Localización de la superficie de prueba.
- ✓ Número de rebote promedio para cada superficie de prueba.
- ✓ Tipo de dispositivo y número de serie.

Además si se conocen:

- ✓ Composición del concreto: agregados, contenido de cemento, relación agua cemento, contenido de aire, aditivos empleados y otros.
- ✓ Resistencia de diseño.
- ✓ Edad del concreto.
- ✓ Condiciones de curado y cualquier otra condición no usual relacionada con la superficie de prueba.

IV.3 Ultrasonido

Objeto y campo de aplicación

El ensayo hecho con este método determina la velocidad de pulso de la propagación de ondas ultrasónicas longitudinales en concreto para verificar la uniformidad y calidad relativa del concreto, detectando presencia de vacíos y grietas y estimar la profundidad de las mismas, así como para detectar cambios en las propiedades del concreto.

Puede ser realizado tanto en campo como en laboratorio, de acuerdo al tamaño o forma del espécimen dentro de los límites apropiados para la generación de fuentes de pulsación. No aplica a la propagación de otras vibraciones.

Los resultados obtenidos con esta prueba no pueden ser considerados como una alternativa para determinar la resistencia a compresión, ni como un medio para obtener el módulo de elasticidad en el concreto.

Una relación velocidad-resistencia o velocidad-módulo, puede establecerse determinando la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión o módulo de elasticidad en un número mínimo de 30 muestras de concreto.

Estas relaciones pueden servir como índice para la estimación de resistencia, o del módulo, en función de la prueba de la velocidad de pulso en el concreto.

Procedimiento

Las pulsaciones de ondas son generadas por un transductor electro acústico (transmisor) que se mantiene en contacto con la superficie del concreto a probar. Después de atravesar el concreto las pulsaciones son recibidas y se convierten en energía eléctrica por un segundo transductor (receptor), localizado a una distancia "D" del transductor transmisor. El tiempo de recorrido "T" se mide electrónicamente y la velocidad del pulso "V" se calcula dividiendo D/T.

El aparato que se utiliza para esta prueba consiste en un generador de pulso, un aplicador, un circuito para medición de tiempo, cables de conexión y traductores (transmisor-receptor).

Para prepararse a realizar este ensayo es necesario que los elementos a probar estén libres de grasas o polvo; las condiciones ambientales, iluminación y fuentes de energía, se debe evitar que se ejecuten trabajos en áreas adyacentes que produzcan vibraciones al objeto de prueba y no debe ser efectuada en condiciones de humedad o extrema lluvia, a fin de facilitar su correcta ejecución, evitando que afecten la calidad requerida en las mediciones.

Definiciones

Generador de pulso: Circuito para producir pulsaciones de voltaje en forma repetitiva con un valor no menor de 10 kHz ni mayor de 150 kHz por segundo.

Transductores (transmisor-receptor): Transforma las pulsaciones producidas por el generador en ondas intermitentes de energía mecánica, mismas que deben tener una frecuencia de resonancia con intervalo de 10 kHz a 15 kHz.

Debe construirse de materiales piezoeléctricos, magnéticos u otros apropiados, con camisas protectoras. Se

pueden utilizar diafragmas de metales delgados en superficies planas. Para el caso de superficies rugosas, se emplean transmisores que contengan un recipiente lleno de aceites de baja presión, con diafragma de hule. Estar provisto de un medio de conexión adecuado para obtener un contacto completo con la superficie del concreto. Los cables para conectar los transductores con el generados de pulso no deben ocasionar caída de voltaje mayor al 0,5 %.

Amplificador y transductor-receptor: El voltaje generado es amplificado tanto como sea necesario, para producir pulsaciones que se detecten en el circuito de tiempo. El amplificador debe tener una respuesta clara entre 5 kHz y 10 veces la frecuencia de resonancia del transductor-receptor.

Velocidad de pulso: Este es independiente de las dimensiones del espécimen o elemento por ensayar.

Velocidad de pulso "V": Esta relacionada con las propiedades físicas de un sólido por la ecuación

$$V^2 = (K) E/d$$

Donde:

K es la constante

E el módulo de elasticidad

d es la intensidad

Esta relación es independiente de la frecuencia de las vibraciones.

Circuito medidor de tiempo: Debe ser capaz de dar una precisión de 0,5%. Iniciarse mediante una descarga de voltaje procedente de pulsos y operar repetitivamente con la misma frecuencia. El circuito medidor debe estar provisto de una salida acoplada a una unidad de respuesta de tiempo, así como ser insensible a la temperatura de operación y al cambio de voltaje en la frecuencia de la fuente de poder.

Para medir el tiempo de tránsito es necesario que se coloque un agente apropiado de acoplamiento (aceite, grasa, jalea de petróleo u otro material viscoso) para los diafragmas del transductor en la superficie de prueba o en ambos para evitar aire entre la superficie de contacto de los diafragmas y el concreto asegurando un buen contacto.

Se mide la longitud de la trayectoria entre los centros de los diafragmas: Deben repetirse las mediciones para disminuir errores debido a fallas de contacto, hasta que las diferencia de las dos últimas sean menores a 2%.

Para verificar la precisión de las mediciones de tiempo de transmisión puede utilizarse un dispositivo que consista en un oscilador de cristal o de cuarzo con una frecuencia de 100 kHz, sincronizado con el circuito generador de pulso o barras testigo que se emplean como dispositivo de calibración. La diferencia de lecturas tomadas con este dispositivo y al constante del mismo, deben ajustarse. La calibración debe verificarse en los intervalos de tiempos de tránsito esperados.

La calibración a “cero” se mide directamente haciendo presión a los dos transductores junto con un agente de acoplamiento, se aplica la misma presión que en la mediación de la estructura, al medir el tiempo de tránsito. Las unidades de respuesta digital son recomendables para ajustes a cero, acoplando los dos transductores entre sí.

Unidad de respuesta: Pueden usarse 2 tipos: uno, que se utiliza un tubo de rayos catódicos, en el que los pulsos transmitidos y recibidos se transforman en deflexiones de trayectoria para una escala de tiempo, otro, que utiliza un cronómetro con respuesta digital.

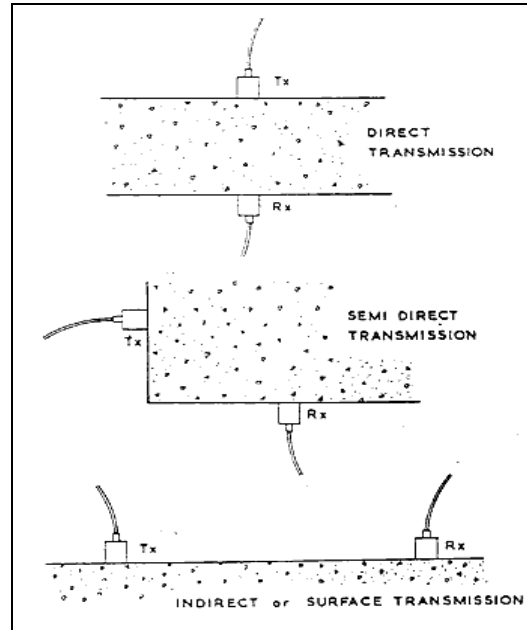
Límites de longitud de trayectoria: Los equipos de prueba disponibles tienen los siguientes límites de longitud de trayectoria: 50 mm mínimo y 15 m máximo, dependiendo básicamente de la frecuencia e intensidad de la señal generada. El límite superior de la longitud de trayectoria depende de las condiciones en la superficie y de las características interiores del concreto investigado; se obtiene utilizando transductores de baja frecuencia (10 kHz a 20 kHz) lo cual reduce menso la señal en el concreto (los cristales unidos a la placa determinan la frecuencia de vibración en el concreto); esto es la frecuencia de resonancia del transductor. Para longitudes más cortas, donde la pérdida de señal no es un factor importante, es preferible utilizar de 50 kHz o mayores para alcanzar seguridad de las mediciones.

Existen tres métodos para efectuar las mediciones de propagación de ondas en estructuras.

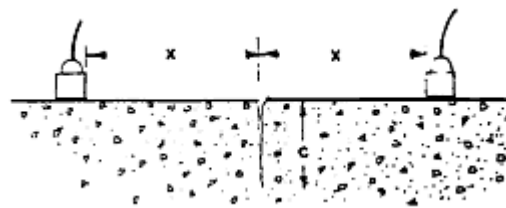
Con la *medición directa* se obtienen los mejores resultados ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida.

La *medición semidirecta* se realiza en aquellas estructuras en las que no puede emplearse el método directo y por lo tanto los transductores se colocan en las caras opuestas, pero no alineadas. En este caso el procedimiento es menos preciso que el anterior.

En el caso de la *medición indirecta o transmisión superficial* los resultados que se contienen son indicativos solamente de la superficie de la cara probada ya que se usa cuando solo es accesible una cara de la estructura.



Cuando hay una fisura en el hormigón, el pulso ultrasónico nos permitirá determinar su profundidad e inclinación. Para obtener la profundidad, las mediciones se harán colocando los transductores uno a cada lado de la fisura a una distancia "X", procurando que sean en la parte más gruesa de la misma. A continuación se repetirá la lectura a doble distancia de la anterior.



Para determinar la profundidad de una fisura, se cuentan con dos tiempos t_1 y t_2 para distancias X y $2X$, respectivamente, dicha profundidad se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C = X \left\{ \frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2} \right\}^{0.5}$$

Donde:

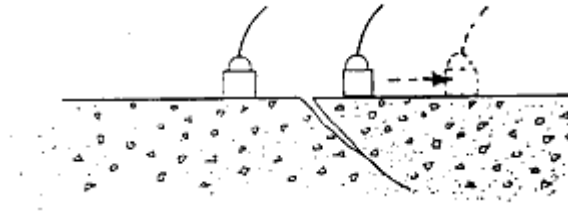
C = profundidad de la grieta

X = distancia inicial

t_1 = tiempo de la distancia inicial (X)

t_2 = tiempo del doble de la distancia (2X)

Para determinar la inclinación, se colocan los transductores a los lados de la fisura y después se mueve uno de ellos alejándolo de la fisura. Si al efectuar esta operación la lectura del tiempo de propagación disminuye, significa que la fisura presenta inclinación hacia ese lado.



Factores que afectan las mediciones

Puede considerarse que con el acero de refuerzo, la velocidad de pulso aumenta el doble, comparada con la del concreto por lo tanto cuando se efectúan las mediciones en la cercanía del acero, la velocidad es considerablemente mayor que en el concreto, dependiendo de los siguientes factores:

- La proximidad del acero de refuerzo
- El diámetro de la varilla
- Cantidad de varillas
- Orientación con respecto a la propagación de la onda

La humedad en el concreto afecta la velocidad de transmisión de las ondas, incrementándose en forma directa en relación al contenido de agua. La velocidad de transmisión en un concreto saturado es mayor en un 2 % con respecto a un concreto seco al ambiente de más de 90 días de edad.

Para variaciones de temperatura entre 278 K y 303 K (5°C y 30 °C), la velocidad de pulso no se ve afectada.

La distancia mínima entre transductores debe ser mayor que tres veces el tamaño máximo del agregado, pero nunca menor de 100 mm.

En el caso de mediciones indirectas, la distancia mínima debe ser de 10 veces el tamaño máximo del agregado, pero no menor de 300 mm.

El área de contacto en la sección por medir debe ser igual o mayor que la del transductor.

Cálculo y expresión de los resultados

La velocidad de pulso se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{D}{T}$$

Donde:

V es la velocidad de pulso

D es la distancia entre transductores en m

T es el tiempo de tránsito en s (tiempo medido menos el tiempo de corrección cero corregido por errores de calibración)

Precisión: el concepto medido por este método es el tiempo de tránsito de una onda ultrasónica longitudinal que pasa a través del concreto y se reporta como la velocidad a la que las ondas viajan a través del mismo. La precisión de las mediciones depende de la resolución del equipo y de la exactitud con que se mide la distancia entre los transductores y el tiempo de llegada de la onda del receptor. La intensidad de la señal recibida se ve afectada al viajar en la longitud de su trayectoria y por la presencia y grado de grietas o deterioro en el concreto.

Informe de la prueba

El reporte debe contener como mínimo la siguiente información:

- ✓ Elemento de la estructura o identificación del espécimen
- ✓ Distancia entre transductores y tipo de medición
- ✓ Velocidad de pulso en m/s
- ✓ Incertidumbre en m/s

V. PRUEBAS DE TERRACERIA

Estas pruebas son algunas de las que se le pueden realizar a los materiales térreos.

Nos van a servir para conocer que tanto puede estar compactado un terreno de forma natural o por medios mecánicos, es decir, utilizando cierto tipo de maquinaria.

V.1 Muestreo del material

Muestreo en campo:

Consistirá en la obtención de una porción del material con el que se pretende construir una estructura o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto. El muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Es condición indispensable que las muestras que se obtengan de las capas construidas artificialmente de los depósitos naturales de materiales térreos que van a utilizarse en la construcción de una estructura sea verdaderamente representativa del material que se trate. Existen tres tipos de muestras:

a) *Muestras representativas:* Son porciones reducidas de materia de un volumen mayor y que conserva las mismas características de este.

b) *Muestras inalteradas:* Son aquellas muestras en las cuales se conserva la estructura y el contenido de agua natural de los suelos. Este tipo de muestras se obtiene generalmente para la realización de pruebas de mecánica de suelos como pueden ser triaxiales, consolidaciones, etc. Esta, puede ser obtenida mediante tubo muestreador de pared delgada o labrando una porción prismática extraída y transportada con los cuidados necesarios para conservar estas condiciones en todo momento. Se obtienen de suelos finos que puedan labrarse sin que se disgreguen, estas pueden efectuarse en el piso o en las paredes de una excavación, en la superficie del terreno natural o en la de una terracería. La excavación para obtener la muestra debe ser de dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la misma.

Si la muestra va a ser obtenida del piso por medio de una excavación o de una superficie prácticamente horizontal, se maraca un cuadro de 20 cm o hasta 40 cm por lado aproximadamente y se identifica la muestra en esa cara, con el objeto de labrar un cubo en el suelo de las dimensiones mencionadas, se excava alrededor de las marcas con la herramienta apropiada, sin dañar la estructura del material de la muestra ya sea por presión o por impacto; se profundiza la necesario para poder efectuar un corte horizontal en la parte inferior de la muestra.

Inmediatamente después de haber realizado dicho corte y sin levantar la muestra, se cubre ésta con manta de cielo recién embebida en una mezcla previamente preparada de 4 partes de parafina por una parte de brea licuadas por medio de calor; la manta así preparada debe quedar bien adherida a la muestra, es conveniente ir cubriendo las caras expuestas con el material mencionado.

En condiciones donde no se pueda emplear la mezcla de parafina y brea se puede utilizar otro material aprobado por las partes que se garantice la estructura, relación de vacíos y contenido de agua natural de la muestra.

Una vez protegidas las 5 caras descubiertas, se procede a separar la muestra cuidadosamente para no dañarla e inmediatamente después se cubre su cara inferior con una capa de manta de cielo embebida de la mezcla de brea y parafina, en forma antes descrita. A continuación se aplica con una brocha, otra capa de parafina y brea fundidas aprovechando la temperatura de la mezcla, se fija la tarjeta de identificación en la cara que originalmente estaba en la parte superior de la muestra.

Si la muestra va a ser extraída de una pared, se procede a excavar a su alrededor una bóveda, con objeto de facilitar el labrado de las caras superiores y laterales del cubo para poder efectuar el corte horizontal en la parte inferior del mismo. Una vez extraída y protegida se coloca en una caja de dimensiones adecuadas y relleno los espacios libres con aserrín, papel, paja o cualquier otro material similar a fin de amortiguar el efecto de los golpes que pudiera sufrir durante el transporte. En esta operación se deben tomar las precauciones necesarias para que las muestras no sufran perjuicio alguno. El número de muestras se fija en función del tipo de estudio que se esté efectuando y en todos los casos se lleva un registro de los sondeos y de todas las muestras obtenidas en ellos, además, para el estudio de bancos se debe dibujar un croquis del lugar en el que fueron tomadas las muestras, anotando todas las referencias que se consideren necesarias. Se indican, para cada sondeo, las capas o estratos atravesados por este, con su clasificación correspondiente, formando así un perfil estratigráfico. En el caso de aparecer el nivel freático en el sondeo, se debe anotar su profundidad.

- c) *Muestras alteradas:* Son aquellas en las cuales no se toman precauciones para conservar la estructura y el contenido de agua del suelo, generalmente están constituidas por el material disgregado o fragmentado en la que no se requiere conservar las características de estructura, relación de vacíos y contenido de agua. En algunas ocasiones conviene conocer el contenido de agua original del suelo, para lo cual la muestra se envasa herméticamente, esta puede ser obtenida mediante posteadora, tubo liso, tubo partido, pico y pala o equipo mayor.

Pueden obtenerse de una excavación o de un frente, ya sea corte o banco de préstamo o bien, de perforaciones hechas con herramientas especiales, tales como posteadoras, brocas, tubos muestreadores, etc., y deben ser representativas de cada capa que se atravesase, hasta llegar a una profundidad que corresponda al nivel más bajo de explotación o aquél al cual sea necesario extender el estudio. En el caso de capas ya construidas la cantidad mínima de muestra individual necesaria para realizar los ensayos completos del material es de 40 kg. Si la muestra excediera de ese valor se procede a un cuarteo.

En ocasiones, puede ser necesario tomar muestras individuales de cada estrato que atraviesa el canal, si se tuvieran dudas de que la calidad del material de alguno de los estratos no fuera la adecuada para ser empleada en la construcción de las capas de una obra vial. Para completar el estudio del banco o del corte, el muestreo de frente de ataque debe complementarse con sondeos de la parte no explotada, que sirven para definir tanto la capacidad, como las zonas aprovechables del mismo.

El distanciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deben estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de que se trate. En suelos que

presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos es mayor que en los suelos heterogéneos.

Igualmente en los estudios preliminares el espaciamiento es mayor que en los estudios definitivos. Se recomienda que en préstamos laterales continuos y en materiales homogéneos los sondeos no se hagan a distancias mayores de 100 m y a una profundidad suficiente para poder definir el piso de explotación; en el caso de bancos de préstamo en material homogéneo, conviene hacer un sondeo por cada 1 600 m² de superficie, preferentemente formando una cuadrícula y a una profundidad no menor de la que se considera que puede fijar el piso de explotación; en el caso de cortes que han sido atacados, se recomienda hacer 3 pares de sondeos en el sentido del cadenamiento, que abarquen el ancho de la terracería.

Si se observa heterogeneidad del material o discordancia en los estratos, deben hacerse sondeos intermedios, en el sentido del cadenamiento, procurando profundizarlos hasta la subrasante.

Se clasifican en *superficiales* cuando se toman de una profundidad menor de 1 m, indicadas para los préstamos laterales en que el material va a ser extraído con escrapas. *Profundas* cuando se excede de 1 m excavando un pozo a cielo abierto y muestrear cada estrato de las paredes del pozo; se emplea comúnmente para definir el perfil de suelos en el estudio de los bancos de préstamo para el proyecto de una obra vial. *Laterales o frontales* son las tomadas de la pared del frente de explotación, como en el caso de bancos o cortes tomados con pala mecánica, en los que debe hacerse un canal vertical transversal uniforme, que abarque todas las capas o estratos y todo el material del canal, que debe recogerse en una bolsa de lona.

Los equipos e instrumentos para realizar las actividades de muestreo e identificación son los siguientes:

- ✓ Pala
- ✓ Pico
- ✓ Barreta
- ✓ Piolet
- ✓ Cuchillo
- ✓ Espátula
- ✓ Cuchara de albañil
- ✓ Macheta
- ✓ Arco de segueta con alambre de acero
- ✓ Estufa o lámpara para secado
- ✓ Cinta métrica de lienzo de 20 m
- ✓ Flexómetro
- ✓ Barrena helicoidal
- ✓ Tubo de pared delgada para muestreo profundo y semiprofundo
- ✓ Mazo de madera con peso aproximado de 1 kg de forma prismática
- ✓ Mallas con tamiz de abertura cuadrada números: 100mm;75mm;50mm;4,75 mm
- ✓ Báscula de capacidad mínima de 120 kg con aproximación de 10 kg

Materiales auxiliares:

- ✓ Brocha
- ✓ Manta de cielo

- ✓ Brea
- ✓ Parafina
- ✓ Caja de madera
- ✓ Bolsa de lona ahulada o de algún material que resista para contener las muestras y que garantice el no perder parte de la muestra contenida en su interior
- ✓ Cepillo de cerdas
- ✓ Vaso de aluminio de 1 L de capacidad
- ✓ Charola metálica de 40 cm x 60 cm x 10 cm mínimo

Las muestras deben identificarse siempre con dos tarjetas, una sujeta al exterior del envase y otra en la propia muestra, se sugiere que dichas etiquetas contengan como mínimo los siguientes datos claramente escritos:

- ✓ Nombre de la obra
- ✓ Localización de la obra
- ✓ Fecha del muestreo
- ✓ Número del sondeo
- ✓ Ubicación del pozo o sondeo
- ✓ Número de la muestra
- ✓ Profundidad a la que se tomó la muestra
- ✓ Espesor del estrato correspondiente
- ✓ Clasificación de campo
- ✓ Uso del material
- ✓ Nombre del operador que tomó la muestra
- ✓ Nombre o Razón Social de la empresa que tomó la muestra
- ✓ Observaciones

Muestreo en laboratorio

Equipo, aparatos e instrumentos

- ✓ Palas
- ✓ Marros
- ✓ Cinceles
- ✓ Mazo de madera con peso aproximado de 1 kg de forma prismática cuadrangular
- ✓ Flexómetro
- ✓ Mallas con aberturas cuadradas de 75,0 mm (3"), 50,0 mm (2"), 25,0 mm (1"), 9,5 mm (3/8"), 4,75mm (No. 4)
- ✓ Cucharón de lámina
- ✓ Charolas de lámina
- ✓ Estufa de gas
- ✓ Báscula de capacidad de incrementar la temperatura de 313 K a 333 K (40°C a 60°C)
- ✓ Cuarteador de muestras, con aberturas en los ductos separadores de 1,5 veces el tamaño máximo de las partículas de la muestra, equipado con tres recipientes para depositar el material separado y un cucharón plano
- ✓ Regla de dimensiones adecuadas al volumen por cuartear.

Materiales auxiliares

- ✓ Brocha
- ✓ Lonas ahuladas de 3 m por lado
- ✓ Brea
- ✓ Parafina
- ✓ Manta de cielo
- ✓ Plástico auto adherente

Muestras alteradas: Para este tipo de muestras se contemplan las siguientes operaciones.

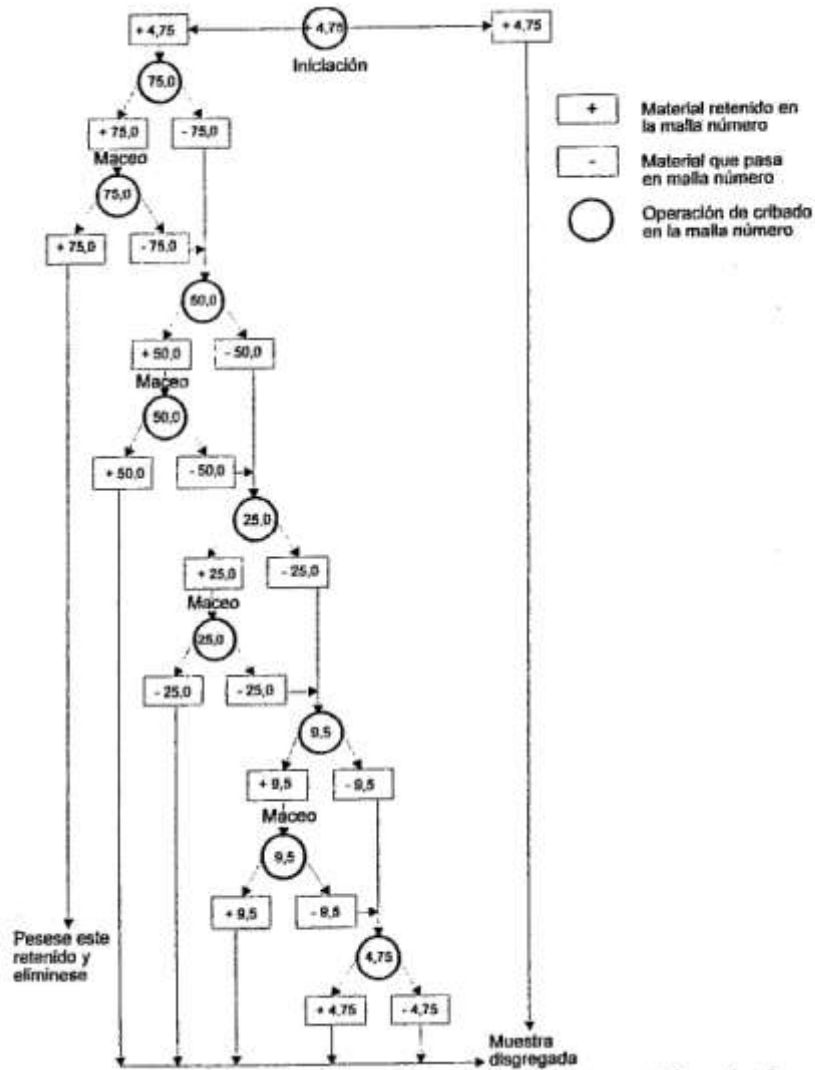
Secado: Debe secarse la muestra para eliminar el agua que contiene a un grado tal que permita su fácil disgregación y manejo, exponiéndola al sol, extendiendo todo el material sobre una superficie limpia y tersa o bien en charolas de lámina, en un horno a temperatura de 313 K a 333 K (40°C a 60°C. En ambos casos es conveniente revolver periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme. Cuando la muestra llegue al laboratorio con una humedad que permita su disgregación, no es necesario someterla a este proceso

Disgregación: Tiene por objeto hacer la separación de las diferentes partículas de material que será probado. En materiales cohesivos esta separación es fácil de hacer, no así en el caso de materiales granulados o cementados o en el caso de rocas alteradas, en donde el material va reduciéndose de tamaño a medida que avanza el proceso, hasta quedar frecuentemente reducido a polvo.

Para efectuar la disgregación de la muestra se utiliza un mazo de madera con peso aproximado de 1 kg de forma prismática cuadrangular. Debe hacerse en una charola de lámina, la cual se coloca sobre una mesa o superficie lisa y con el mazo se debe golpear verticalmente sobre el material, desde una altura no mayor de 20 cm, previamente debe cribarse todo el material por la malla 4,75mm (No. 4)

El material retenido se pasa por la malla de 50,8 mm (2") y la fracción retenida se debe golpear con el mazo, para obtener partículas que ya no sean disgregables. El material así obtenido se criba nuevamente por la malla 58,8 mm (2"), juntándose el material que se pasa por la malla con el obtenido en la primera operación de cribado a través de la malla 25 mm (1"), disgregando el retenido y procediendo como en el caso anterior. Se repite el procedimiento empleando la malla 9,52mm (3/8") y la malla 4,75 mm (No. 4). Se combinan finalmente todos los productos obtenidos en estas operaciones para construir la muestra que va a ser mezclada y cuarteada en la siguiente etapa de preparación de la muestra.

Cuadro esquemático de disgregación de la muestra



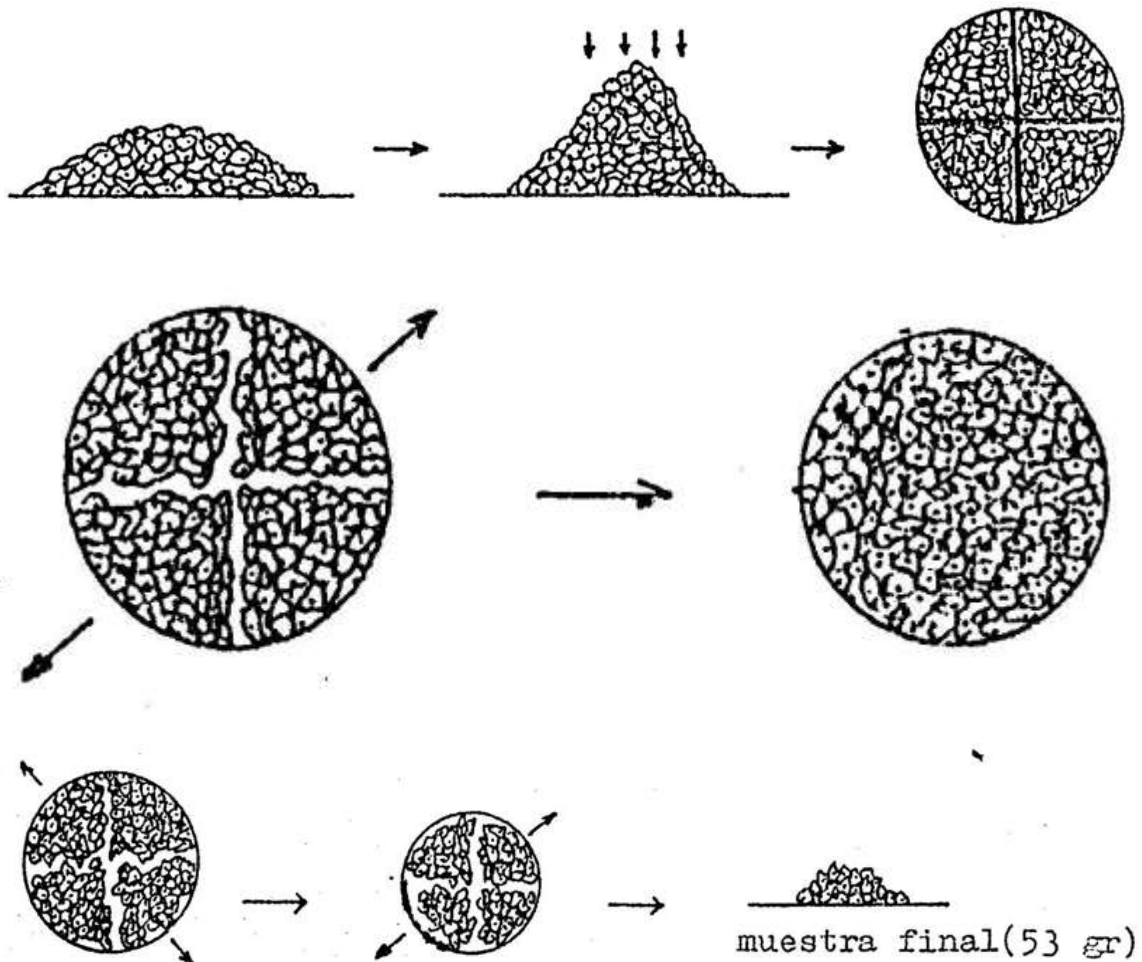
Cuarteo: De la muestra ya disgregada, se debe cortar las porciones necesarias para verificar las pruebas. Se distinguen dos formas de cuarteo, el manual y el mecánico.

Cuarteo manual

Para muestras de 20 kg o mayores, la muestra total debe revolverse con una pala, traspaleando de un lugar a otro unas 4 veces todo el material, hasta conseguir que presente un aspecto homogéneo. Se procede después a formar un cono, colocando con la pala el material en el vértice de este y permitiendo que, por su mismo, busque su acomodo, procurando a la vez que la distribución se haga uniformemente. Con la pala, que debe ser de la forma rectangular, se forma un truncado, encajándose en forma radial y haciendo el material hacia la periferia. Una vez obtenido el cono truncado cuyo diámetro sea de 4 veces a 8 veces el espesor, se procede a dividirlo en cuadrantes usando la regla de longitud conveniente.

Se combina el material de 2 cuadrantes opuestos y se repite el proceso que se requiera. En muestras menores de 20 kg, se emplea un hule de forma cuadrada, de 1,20 m por lado.

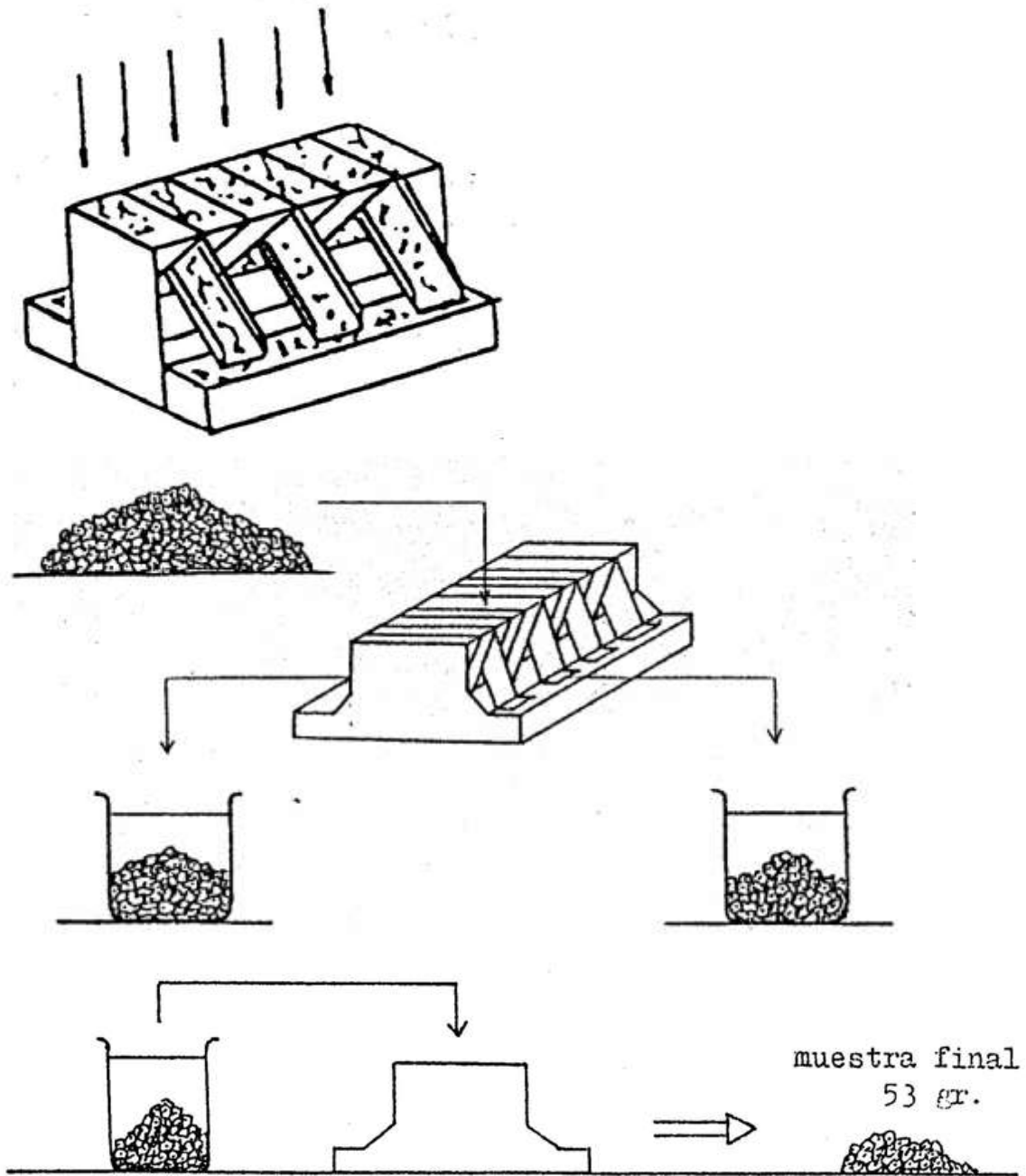
El material se mezcla tomando los extremos del hule y haciéndolo rodar sin que resbale. Se repita la misma operación con el otro par de extremos opuestos del hule y se continúa la operación mezclando, hasta obtener una muestra de aspecto homogéneo, la cual se cuarteo formando un cono truncado dividiéndolo en cuadrantes.



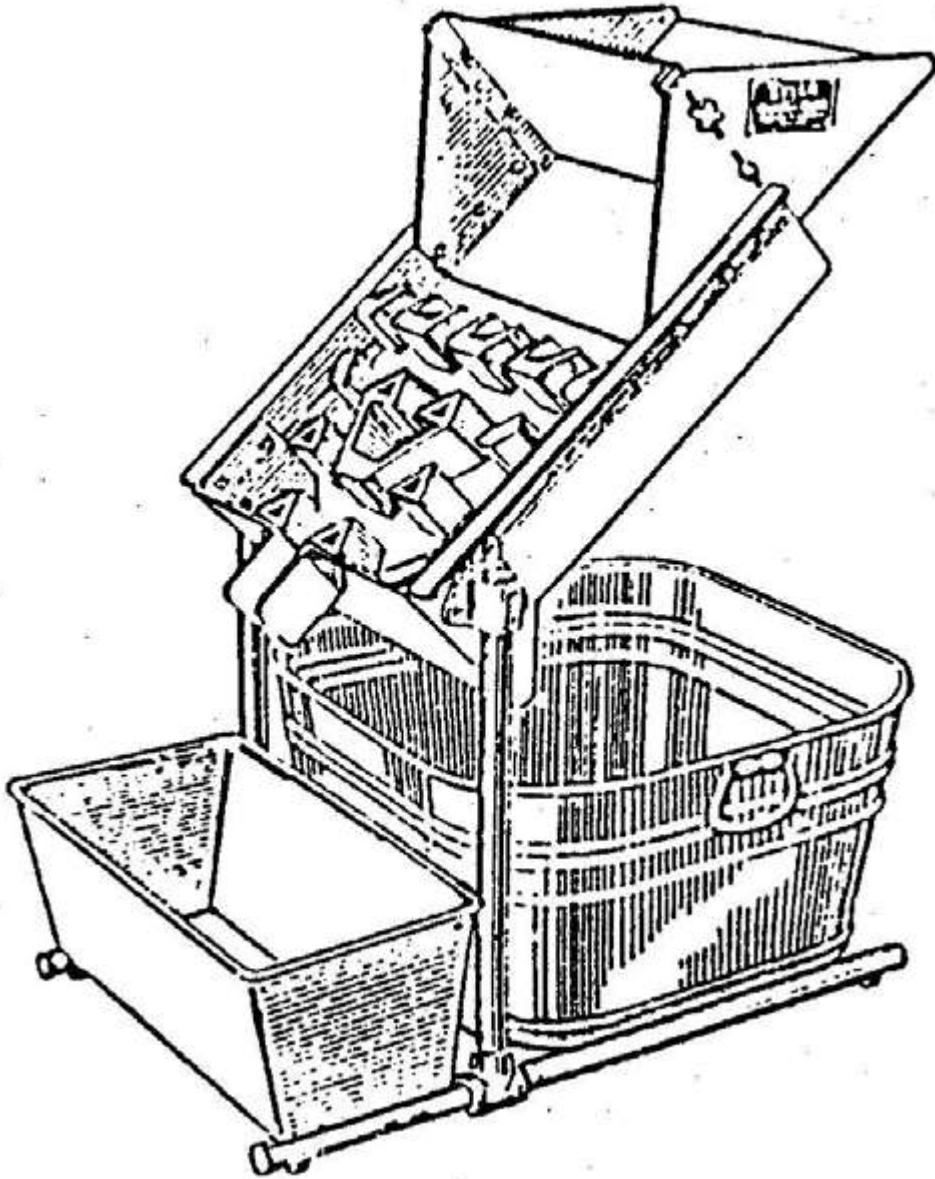
Cuarteo mecánico

En muestras menores de 20 kg se emplea el cuarteador mecánico utilizando recipientes de lámina que tengan la misma longitud que el cuarteador. El material se hace pasar por este, en forma tal que se cubra todas subdivisiones que se recogerán en los recipientes, repitiéndose la misma operación tantas veces como sea necesaria hasta conseguir el tamaño de la muestra deseada. El cuarteador de muestra debe contar con un número igual de cuarteadores de conductos, todos del mismo ancho y que descarguen alternadamente a ambos lados de cuarteador; el número de conductos no debe ser menos de ocho para agregado grueso y no menor de 12 para agregado fino.

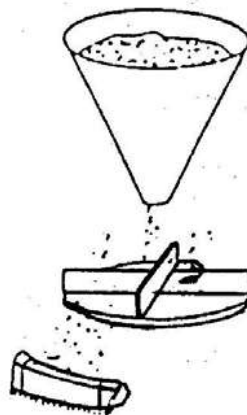
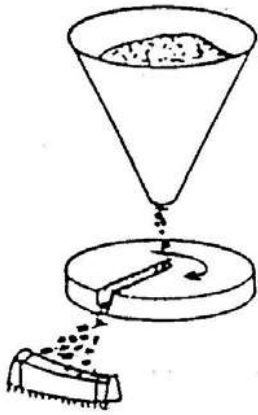
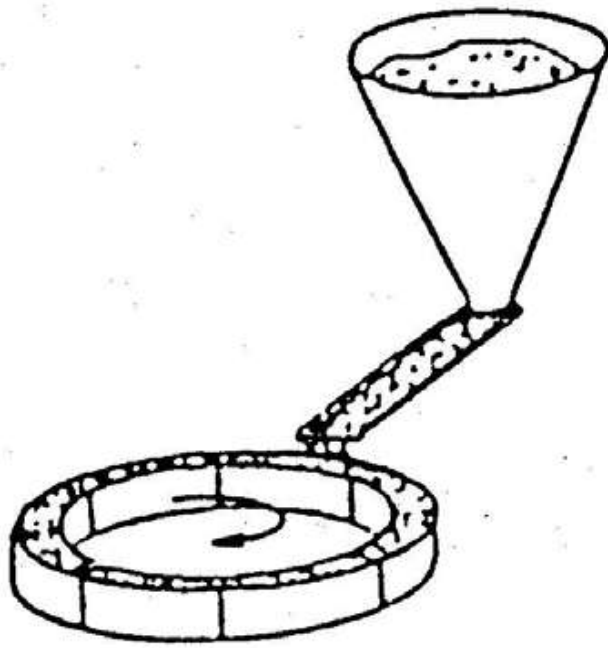
El ancho mínimo para los conductos individuales, debe ser mayor en aproximadamente un 50% del tamaño máximo de las partículas de la muestra que se pretende cuartear. El cuarteador debe estar equipado con dos receptáculos para recibir las dos mitades de la muestra.



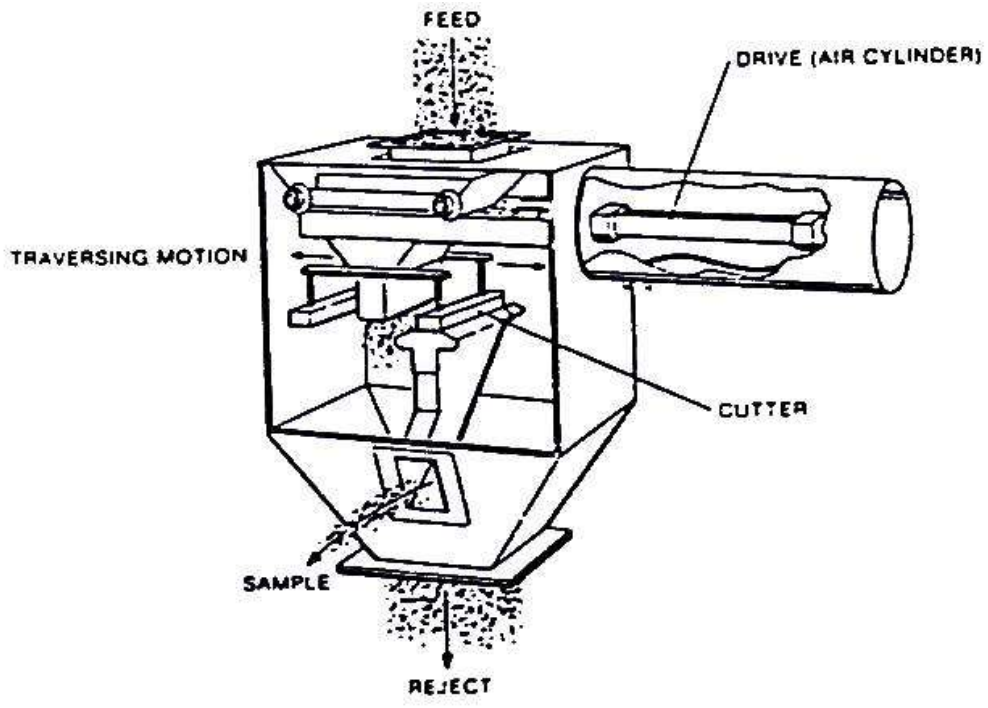
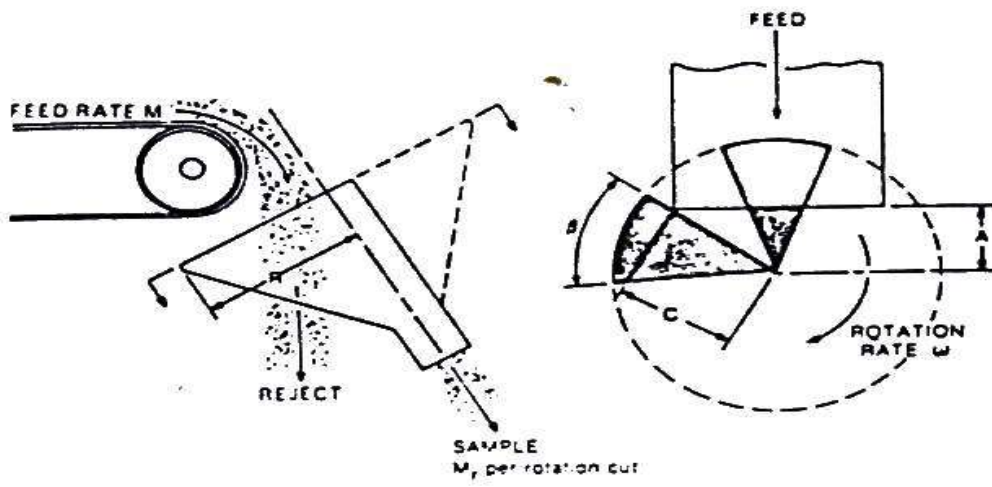
EQUIPO DE CUARTEO MECÁNICO



EQUIPO DE CUARTEO MECÁNICO DE TIPO LAVADERO



EQUIPO DE CUARTEO MECÁNICO DE TIPO GIRATORIO CON ASPAS



EQUIPO DE CUARTEO MECÁNICO DE TIPO RODILLO

Muestras inalteradas

Una vez tomada la muestra, como se ha indicado anteriormente, se procede a abrir la cubierta protectora, empleando algún instrumento cortante, que permita realizar cortes precisos en ella, tomando la precaución de que la muestra esté colocada en la misma posición que presentaba en campo. Una vez expuesta la muestra, se procede a labrar en ella, un prima rectangular de bases sensiblemente paralelas y del tamaño adecuado para obtener uno o varios especímenes para la realización de las pruebas, por lo que dichos especímenes deben ser protegidos dentro de frascos con tapa hermética, para evitar que se dañen o que sufran variaciones en el contenido de agua; con lo que respecta al resto de la muestra, es necesario cubrirla con un paño húmedo durante el proceso del labrado de los especímenes y una vez obtenidos, se cubre el sobrante de la muestra con manta de cielo impregnada de una mezcla compuesta de cuatro partes de parafina por una de brea y plástico auto adherible y se almacena.

V.2 Obtención de la cala

Se selecciona un sitio de prueba y se prepara la superficie limpiando y nivelando un área de aproximadamente 50 x 50 cm. La cala mide aproximadamente 15 x 15 cm y se realiza la excavación para obtenerla, efectuándose cuidadosamente evitando alterar el acomodo del material en las paredes y el fondo del sondeo.

Las calas que se obtienen para determinar el grado de compactación son ubicadas al azar mediante un proceso basado en tablas de números aleatorios, y deben cumplir lo establecido en el proyecto o lo aprobado por la Secretaría.

Con excepción de rellenos para trincheras estabilizadoras, el número de calas por realizar se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = \frac{A}{100}$$

Donde:

c= Número de calas por realizar en cada capa tendida compactada, con aproximación a la unidad superior.

A= Superficie de la capa construida en un día de trabajo, (m²)

Cuando se trate de rellenos para trincheras estabilizadoras, el número de calas por realizar se determinará aplicando la siguiente fórmula:

$$c = \frac{A}{50}$$

Donde:

c= Número de calas por realizar en cada capa tendida y compactada, con aproximación a la unidad superior.

A= Superficie de la capa construida en un día de trabajo, (m²)

Todos los grados de compactación que se determinan en las calas, para ser aceptados, estarán dentro de las tolerancias que fije el proyecto o apruebe la Secretaría.

Tan pronto se concluya la verificación, se rellenarán los huecos con el mismo material usado en el relleno.

V.3 Obtención de la masa volumétrica seca máxima

Esta prueba es aplicable para referenciar la compactación de suelos y materiales pétreos utilizados en la construcción de estructuras térreas.

La masa volumétrica seca máxima es la mayor relación de masa entre volumen que pueden obtenerse en un material al reducir al máximo los vacíos entre sus partículas sólidas al aplicar mecánicamente una energía específica.

El contenido óptimo de agua es aquella cantidad de agua que propicie una acción lubricante en el material para obtener el mínimo de vacíos entre sus partículas sólidas al aplicar mecánicamente una energía.

Equipo:

- Equipo de compactación. Debe estar compuesto de un cilindro metálico de masa conocida, una placa de base metálica de 9,5 mm de espesor como mínimo, la cual se asegura convenientemente al cilindro; una extensión o collarín removible de 60,3 mm de altura exterior, con diámetro interior e igual al del cilindro, según lo indicado en la tabla 1.
- Pisón: Debe ser metálico, con dimensiones y masa según la tabla 1, con superficie circular de apisonado de 5,8 mm de diámetro, acoplado a una aguja metálica tubular, para que tenga una caída libre según la tabla 1.
- Regla metálica. Debe ser arista cortante y de 250 m de largo.
- Balanza. Con capacidad mínima de 10 kg y aproximación de 0,1 g y balanza con sensibilidad de 0,01 g
- Horno con temperatura controlable y constante de 383 K \pm 5 K (110 °C \pm 5°C) o estufa de gas que cumpla con las mismas condiciones.
- Base de concreto o de otro material similar: Esta deber ser de forma cúbica o cilíndrica con dimensiones mínimas de 400 mm por lado (o diámetro) y con un peso de 91 kg como mínimo.
- Probetas con capacidades de 500 ml y de 1000 ml, ambas con graduaciones de 10 ml y la otra de 100 ml con graduaciones a cada milímetro.
- Cribas No. 25,0 mm(1”), No. 19,0mm (3/4”) ,No. 9,5 mm (3/8”) y No.4,75 mm (No. 4)
- Charolas metálicas resistentes, con dimensiones suficientes para poder extender la muestra.
- Prensa Porter con capacidad suficiente para la aplicación de la carga requerida para la prueba.
- Varilla metálica con punta semiesférica de 19,9 mm (5/8”) y de 600 mm de longitud.
- Calibrador Vernier.

Materiales auxiliares:

- Cápsulas metálicas correspondientes al tamaño de la muestra (para determinar el contenido del agua)

Muestras

De una muestra tomada y preparada, como se indicó en el capítulo V, se obtienen una muestra reducida de aproximadamente 3 kg a 6 kg y debe ser representativa del conjunto.

Se recomienda realizar las pruebas en un local cerrado que no presente cambios bruscos de temperatura y a temperatura ambiente.

Procedimiento

Prueba dinámica Proctor

Se le agrega a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior en 4% a 6% al contenido de agua óptima estimada. La impregnación se recomienda hacerse a punto de neblina.

En el caso de los suelos cohesivos que pasan la malla 4,75 mm (No.4) se considera que cumplen lo anterior cuando presentan una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no se deje partículas adheridas en ésta, ni la humedad y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con dos dedos sin que se desmorone.

Se tamiza la muestra de prueba a través de la malla No. 4, disgregando los grumos que se hayan formado durante la incorporación del agua. Se mezcla cuidadosamente al muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se llena el cilindro en tres capas de aproximadamente la misma altura, se coloca una porción en el cilindro de prueba, se apoya sobre la base y se compacta con el número de golpes del pisón indicado en la tabla 1, manteniendo la altura de caída estipulada y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa, y se repiten estas operaciones en las siguientes 2 capas. Se debe evitar el rebote del pisón en la parte superior de la guía.

No se debe inclinar la guía más de 5° de la vertical y aplicar los golpes uniformemente sin exceder de una velocidad de 1,4 s por golpe.

La tabla 1 especifica las medidas que deben cumplir los moldes para las pruebas que requieren determinar la masa volumétrica seca máxima así como el molde para realización de la prueba Porter estándar de California.

TABLA 1. Medidas que deben cumplir los moldes para las pruebas

Método de referencia	PROCTOR	AASTHO	ASSTHO	ASSTHO	ASSTHO	PORTER
Tipo de prueba	A = P M B = P A C = P B D = P C y P D	1 = A E 2 = A M	1 = B E 2 = B M	A = C E B = C M	A = D E B = D M	Estática
Diámetro Interior del Molde (En mm)	A = 101,6 ± 0,1 B = 101,6 ± 0,46 C = 152,4 ± 0,660 D = 152,4 ± 0,660	1 = 101,6 ± 0,46 2 = 101,6 ± 0,46	1 = 152,4 ± 0,660 2 = 152,4 ± 0,660	A = 101,6 ± 0,46 B = 101,6 ± 0,46	A = 152,4 ± 0,660 B = 152,4 ± 0,660	157,5 ± 0,70
Altura del Molde (En mm)	A = 116,4 ± 0,1 B = 116,4 ± 0,1 C = 116,4 ± 0,1 D = 116,4 ± 0,1	1 = 116,4 ± 0,1 2 = 116,4 ± 0,1	1 = 116,4 ± 0,1 2 = 116,4 ± 0,1	A = 116,4 ± 0,1 B = 116,4 ± 0,1	A = 116,4 ± 0,1 B = 116,4 ± 0,1	127,5 ± 0,1
Extensión del collarín (En mm)	A = 60,3 B = 60,3 C = 60,3 D = 60,3	1 = 60,3 2 = 60,3	1 = 60,3 2 = 60,3	A = 60,3 B = 60,3	A = 60,3 B = 60,3	75,50
Volumen del molde (En mL)	A = 944 ± 11 B = 944 ± 11 C = 2 124 ± 25 D = 2 124 ± 25	1 = 944 ± 11 2 = 944 ± 11	1 = 2 124 ± 25 2 = 2 124 ± 25	A = 944 ± 11 B = 944 ± 11	A = 944 ± 11 B = 944 ± 11	2484 ± 27
Masa del pisón (En g)	A = 2 490 ± 10 B = 2 490 ± 10 C = 2 490 ± 10 D = 2 490 ± 10	1 = 2 490 ± 10 2 = 2 490 ± 10	1 = 2 490 ± 10 2 = 4 540 ± 10	A = 2 490 ± 10 B = 4 540 ± 10	A = 2 490 ± 10 B = 2 490 ± 10	Carga Estática
Diámetro del pisón (En mm)	A = 50,8 B = 50,8 C = 50,8 D = 50,8	1 = 50,8 2 = 50,8	1 = 50,8 2 = 50,8	A = 50,8 B = 50,8	A = 50,8 B = 50,8	-----
Altura de calda del pisón (En mm)	A = 30,5 B = 30,5 D = 30,5 D = 30,5	10 305 2 = 457	1 = 305 2 = 457	A = 305 B = 457	A = 305 B = 457	-----
No. de capas	A = 3 B = 3 C = 3 D = 3	1 = 3 2 = 3	-----	-----	-----	-----
No. de golpes por capa	A = 25 B = 25 C = 56 D = 56	1 = 25 2 = 25	1 = 56 2 = 56	A = 25 B = 25	A = 56 B = 56	-----
Energía de compactación En kg/cm/cm ³	A = 6,0 B = 6,0 C = 6,0 D = 6,0	1 = 6,0 2 = 16,5	1 = 6,0 2 = 16,0	A = 6,0 B = 16,5	A = 6,0 B = 16,5	140,6 kg/cm ²

En P A de descarte e material grueso mayor a la malla 4,75 mm hasta un 7% y si el retenido es mayor se debe realizar la prueba de acuerdo al AASTHO C M sin hacer corrección por sobre tamaño. En P C se debe descartar el material mayor a la malla 19,0 mm cuando se tenga hasta un 10% retenido y en caso de mayor porcentaje retenido se usara el molde de mayor diámetro el pisón con la masa de 4 540 g +- 10 g.

Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor de 6 mm a 10 mm, pues de lo contrario la prueba debe repetirse utilizando de preferencia una nueva muestra con masa ligeramente menor que el inicial, retirando los granos de suelo que sobresalgan y sustituyendo con el material más pequeño las oquedades resultantes, se enrasa

cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación se determina la masa del cilindro con su contenido y se anota en la hoja de registro su valor W_i en gramos.

Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa de 100 g a 500 g a la que se le determina el contenido de agua. Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobre al enrasarlo, se disgregan los grumos, se agrega de uno a dos por ciento de agua aproximadamente, con respecto a la masa inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos anteriormente. En materiales degradables no se recomienda el rehúso del material ya compactado, siendo necesario emplear muestras individuales para cada determinación.

Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el párrafo anterior incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra esté húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su masa con respecto al anterior.

Para definir convenientemente la variación de la masa volumétrica de los especímenes elaborados, se requiere que las determinaciones sean cinco como mínimo, así también, que en la segunda determinación de la masa del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que en la primera, la tercera mayor que la segunda y así sucesivamente y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última.

Calculo

Se calcula el contenido de agua de cada espécimen expresándolo en por ciento por medio de la siguiente fórmula y se anota en la hoja de registro.

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 100$$

Donde:

γ_m es la masa volumétrica del material húmedo, en kg/m^3

W_i es la masa del material húmedo compactado más la masa del cilindro, en g

W_t es la masa del cilindro en g

V es el volumen del cilindro, en ml

Se calcula la masa volumétrica de cada espécimen en estado seco, mediante la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma_d = \frac{W_i - W_t}{100 + W_o} \times 100$$

Donde:

γ_d es la masa volumétrica de cada espécimen en estado seco, en kg/m^3

γ_m es la masa volumétrica del espécimen húmedo, en kg/m^3

W_o es el contenido de agua, en por ciento

Se determina la masa volumétrica seca máxima del material partiendo de una curva trazada con los datos obtenidos de las pruebas realizadas con los diferentes contenidos de agua, en donde las ordenadas representan las masas volumétricas secas y las abscisas los contenidos de agua, de cada uno de los especímenes. El punto más alto de dicha curva es el que representa la masa volumétrica seca máxima γ_d máx., y el contenido de agua correspondiente W óptimo es la óptima del material, se reportan en kg/m³ y en por ciento respectivamente.

Prueba estática Porter

Después de haber obtenido y preparado la muestra y pasado a través de la malla No. 25, o mm (1”), hasta obtener una muestra de 25 kg a 30 kg, si la muestra contiene más del 15% de material retenido en dicha malla, se sustituye este retenido en peso con el material que pase a través de la malla 25,0 mm y sea retenida en la malla 4,75 mm, se incorpora el peso requerido a la muestra, para tener una muestra total representativa, la cual se cuartea hasta obtener 5 o 6 porciones de 5 kg cada una representativa de la muestra total.

A una de las porciones se le adiciona la cantidad de agua necesaria para que al tomar una fracción del material con la mano y aprisionándola, esta no se desmorone fácilmente y se humedezca ligeramente la palma de la mano, se cubre el material homogeneizado para la primera porción evitando que el material pierda humedad.

A continuación se coloca el material en el molde Porter según lo especificado en la tabla 1, del cual se deben conocer sus características, se coloca el material dentro del molde en 3 capas acomodando cada capa con 25 penetraciones proporcionadas con la varilla metálica de 15,9 mm; una vez hecho esto, se le coloca el molde que contenga el material, en la Prensa Porter y se le aplica la carga estática con una presión de 140,6 g/cm² aplicando la carga total lentamente en un periodo de tiempo de 5 min una vez aplicada la carga se mantiene por espacio de 1 min, en este lapso de tiempo se observa para ver si en la parte inferior del molde aparecen 2 gotas de agua, esto indica que la muestra tiene la humedad óptima, si esto no ocurriera se repite la prueba con otra porción de material de la muestra total, preparada con mayor o menor cantidad de agua, según sea el caso siguiendo los casos descritos anteriormente en este párrafo y en el párrafo siguiente, hasta que se obtenga la condición en el material de humedad óptima.

Cuando se haya logrado la condición del material compactado con la humedad óptima, se obtiene con ayuda de calibrador vernier la altura real del espécimen dentro del molde, se determina la masa del molde con el material ya compactado y se registran los datos obtenidos en el registro correspondiente, del material sobrante se determina el contenido de agua, estas son las condiciones para conocer los datos de peso volumétrico y humedad óptima.

Calculo

Se calcula el contenido de agua de cada espécimen expresándolo en por ciento. Se calcula la masa volumétrica del material por medio de la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

$$\gamma_m = \frac{W_i - W_t}{V} \times 100$$

Donde:

γ_m es la masa volumétrica del material húmedo, en kg/m³

W_i es la masa del material húmedo compactado más la masa del cilindro, en g

W_t es la masa del cilindro en g

V es el volumen del material compactado, en cm³

Se calcula la masa volumétrica de cada espécimen en estado seco, mediante la siguiente fórmula y se anota su valor en la hoja de registro.

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

Donde:

γ_d es la masa volumétrica seca máxima, en kg/m³

γ_m es la masa volumétrica del material húmedo, kg/m³

W_o es el contenido de agua, en porcentaje

Se expresará el resultado como masa volumétrica seca máxima y humedad óptima. Se reportan con 3 cifras significativas y la humedad óptima se reporta con 1 cifra significativa; indicando el tipo de prueba empleado según la tabla 3 colocando una letra mayúscula antes del resultado.

Por ejemplo: BE 1340 kg/m³, 11,8%

Apéndice

La energía teórica de compactación que se indica en la tabla 3 esta referida al volumen del molde y está calculada con la expresión siguiente:

$$E = \frac{Nm Wh}{V}$$

Donde:

E es la energía específica.

N es el número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas que se acomoda el suelo en el molde de compactación.

n es el número de capas que se disponen hasta llegar al molde.

W es el peso del pisón compactador.

h es la altura de caída del pisón, al aplicar igual al volumen del suelo compactado.

V es el volumen total del molde de compactación igual al volumen total del suelo compactado.

Prueba AASHTO (T-99 Y T-180)

Esta prueba presenta dos métodos para la determinación de la masa volumétrica máxima, las cuales varían entre sí básicamente en la energía de compactación que se aplica al cambiar la masa y la altura de caída del pisón. En cada método existen 4 variantes en función del tamaño del molde y de las características del material:

Variante	Diámetro	Material
"A"	4"(10.2cm)	Pasa malla No.4
"B"	6"(15.2cm)	Pasa malla No.4
"C"	4"(10.2cm)	Pasa malla ¾"
"D"	6"(15.2cm)	Pasa malla ¾"

Equipo	AASHTO T-99	AASHTO T-180
Molde 4"		
Capacidad (litros)	0.943 +- 0.008	0.943+-0.008
Diámetro interior (mm)	101.6+-0.406	101.6+-0.406
Altura (mm)	116.43+-0.127	116.43+-0.127
Molde 6"		
Capacidad (litros)	2.124+-0.021	2.124+-0.021
Diámetro interior (mm)	142.4+-0.66	152.4+-0.66
Altura (mm)	116.43+-0.127	116.43+-127
Pisón		
Diámetro (mm)	50.8+-0.127	50.8+-0.127
Masa (mm)	2.495+-0.009	4.536+-0.008
Guía		
Altura de caída (cm)	30.48+-0.15	45.72+-0.15
Mallas		
	2"	2"
	¾"	¾"
	No.4	No.4

Nota: Como en el caso de la Prueba Proctor, los moldes deben contar con un collarín o extensión y una placa base para fijar el cilindro.

Procedimiento

Variante "A"

Para cualquiera de los dos métodos, se debe obtener una muestra de aproximadamente 5 kg después de lo cual se procede como sigue:

1. Se seca el material a una temperatura máxima de 60°C y se disgrega sin romper las partículas.
2. Cribar le material por la malla No. 4 y eliminar el retenido.
3. Del material cribado se toma una muestra representativa de aproximadamente 3.0 kg, que es con lo que se realiza la prueba.
4. Se mezcla el material y se le adiciona agua hasta alcanzar un contenido de agua de aproximadamente 4% menor que el óptimo esperado, lo cual se logra cuando al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deja partículas ni la humedece y que el material comprimido pueda tomarse con los dedos sin que se desmorone.
5. A continuación se llena el molde con el collarín colocado por capas cada una de las cuales se compacta colocando el molde sobre una base de concreto que tenga una masa mínima de 30 kg o sobre un piso o estructura de concreto, el número de capas y de golpes con el pisón, es el indicado en la tabla siguiente:

Concepto	T-99	T-180
Diámetro del molde	4" (10.2 cm)	4" (10.2 cm)
No. de capas	3 iguales	5 iguales
Golpes del pisón por capa	25	25
Peso del pisón	2.5 kg	4.54 kg
Altura de caída	30.5 cm	45.7 m

Después de compactar cada capa, es conveniente escarificar ligeramente la superficie.

6. Una vez concluida la compactación de todas las capas, se retira el collarín y se enrasa la superficie.
7. Se determina la masa del molde con el material con aproximación de 5 g; a esta masa se le resta del molde con lo que se obtiene la masa del material compactado.
8. Del centro del espécimen se extrae una muestra de 100 g como mínimo y se le determina el contenido de agua.
9. Se calcula la masa volumétrica del material compactado dividiendo la masa del material entre el volumen del molde.
10. Se disgrega el material compactado, se le adiciona agua para incrementar el contenido de agua en aproximadamente 2 % (60 cc) repitiendo lo indicado en los pasos 5 a 9 hasta obtener de 4 a 6 masas volumétricas. En caso de que el material contenga partículas frágiles, o sea muy arcillosas y presentes problemas para incorporar el agua, las masas volumétricas restantes se deben obtener con diferentes porciones de la muestra.

Con objeto de uniformizar el contenido de agua del material, la mezcla suelo-agua debe mantenerse en recipientes cerrados y permanecer ahí durante 12 h como mínimo antes de hacer la prueba.

11. Con las masas volumétricas y el contenido de agua obtenidos, se calcula la masa volumétrica seca en cada caso con la siguiente expresión:

$$MVS = \frac{MV}{100 + CA} \times 100$$

Donde:

MVS = masa volumétrica seca (kg/m³)

MV= masa volumétrica húmeda (kg/m³)

CA= contenido de agua (%)

12. Con los resultados de la masa volumétrica seca y el contenido de agua obtenida, en forma gráfica se determina la masa volumétrica seca máxima.

Variante "B"

El procedimiento con esta variante es similar a la anterior con las siguientes diferencias: La masa de la muestra inicial debe ser de 10 kg; la masa de la muestra de prueba indicado en el paso 3, debe ser de 7 kg y como se dijo anteriormente, en esta variante el molde es de 6". El número de capas es el mismo que el indicado en el punto 5 de la Variante "A", es decir, 3 capas iguales para T-99 y 5 capas para la T-180 y el número de golpes con el pisón es de 56 por capa en los dos casos. El resto de la prueba se realiza como se indica en la Variante "A".

Variante "C"

Al igual que las variantes anteriores para los dos métodos se procede como sigue:

1. Se toma una muestra de aproximadamente 8 kg.
2. Secar la muestra a temperatura máxima de 60 °C y se disgrega sin romper las partículas.
3. Cribar el material por la malla ¾" (19mm) y eliminar el retenido.
4. Del material cribado se toma una muestra representativa de aproximadamente 5.5 kg. Cuando sea aconsejable mantener la misma proporción de material grueso entra las mallas 2 "(59mm) y No. 4(4.75mm), el material retenido de la malla de ¾" se reemplaza como sigue: cribar una porción de muestra de tamaño adecuado por las mallas de 2" y ¾", se determina la masa del material retenido en la malla #7½ y se reemplaza por una cantidad igual de material obtenido de otra porción de la muestra, que pase la malla de ¾" y se retenga en la No.4, después de lo cual se toma la muestra de 5.5 kg.

Una vez con la muestra lista, se procede como se indicó en la Variante "A" (pasos 5 a 12), con la única diferencia que en el paso 8, el tamaño de la muestra para determinar el contenido de agua es de 500 g como mínimo.

Variante "D"

Esta variante es prácticamente igual a la "C", con la diferencia de que se inicia con una muestra de aproximadamente de 15 kg, de los cuales después del cribado por la malla de 3/3", se obtiene una muestra representativa de 11 kg, como se indicó en el punto 4 de la Variante "C".

La compactación se realiza de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

Concepto	T-99	T-180
Diámetro del molde	6"	6"
Número de capas iguales	3	5
Golpes de pisón por capa	56	56
Peso del pisón (kg)	2.5	4.54
Altura de caída (cm)	30.5	45.7

Los pasos siguientes son los mismos que para la Variante "C".

Tabla 1. Características y variantes de las dos pruebas AASHTO.

AASHTO T-99

Concepto	Variantes			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.2 (4")	15.2 (6")	10.2 (4")	15.2 (6")
Peso del pisón (kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Altura de caída (cm)	30.5	30.5	30.5	30.5
Número de capas	3	3	3	3
Número de golpes por capa	25	56	25	56
Material	Pasa No.4	Pasa No. 4	Pasa ¾"	Pasa ¾"
Peso muestra de prueba (kg)	3.0	7.0	5.5	11.0

AASHTO T-180

Concepto	Variantes			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.2 (4")	15.2 (6")	10.2 (4")	15.2 (6")
Peso del pisón (kg)	4.54	4.54	4.54	4.54
Altura de caída (cm)	45.7	45.7	45.7	45.7
Número de capas	5	5	5	5
Número de golpes por capa	25	56	25	56
Material	Pasa No. 4	Pasa No. 4	Pasa ¾"	Pasa ¾"
Peso muestra de prueba (kg)	3.0	7.0	5.5	11.0

V.4 Obtención del contenido de agua

Este proceso establece la determinación del contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje de la masa del suelo seco en horno o estufa con es existentes al fin de clasificarlo y estimar su comportamiento cualitativo mediante las correlaciones existentes o para efectos de llevar un control durante la construcción de obras térreas. No da resultados representativos en los siguientes casos: materiales que contengan cantidades significativas de minerales de halosita, montmorilonita o yeso; o en materiales en los cuales el agua libre contenga sólidos disueltos como sales (depósitos marinos). Para éstos, un procedimiento modificado de ensaye o de cálculo de datos debe ser establecido con el fin de obtener resultados consistentes.

El contenido del agua es la relación que existe entre la masa que pierde la muestra al someterla a un proceso de secado en horno o estufa a una temperatura de 383 K \pm 5 K (110°C \pm 5°C) y la masa de las partículas sólidas después de someterlas a dicho proceso hasta lograra la masa constante.

Equipo, aparatos e instrumentos

- Horno de secado controlado mediante termostato, de preferencia del tipo forzado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 383 K (110°C) en toda la cámara de secado con tolerancia \pm 5 K (5°C) o estufa eléctrica o de gas.
- Balanza con precisión \pm 0,01 g
- Tapaderas herméticas para evitar la pérdida de humedad del espécimen antes de la determinación inicial y para que no absorba humedad atmosférica enseguida del secado y antes de la determinación final.
- Desecador de tamaño adecuado (20 cm a 25 cm de diámetro), con cloruro de calcio anhídrido o gel de sílice deshidratado. El uso de este recipiente se recomienda, cuando no se tienen recipientes con tapa hermética.

Materiales auxiliares

- Cloruro de calcio anhídrido o gel de sílice deshidratado.

La determinación del contenido de agua, debe efectuarse a la brevedad posible después de la obtención de muestras, especialmente si los muestreadores son potencialmente corrosivos (tubos Shelby) o se utilizan las bolsas de muestreo.

Las muestras que son almacenadas antes de la determinación del contenido de agua, se deben mantener en recipientes herméticos inoxidables con una temperatura de 276 K a 303 K (3°C a 30°C) en una superficie libre de luz solar directa.

La selección de muestra y la masa necesaria para determinar su contenido de agua, dependen del propósito o aplicación del resultado, tipo de material y de la clase de la muestra obtenida (bolsa, tubo Shelby, tubo partido, etc.). En todo caso, se debe tomar una muestra representativa de tamaño adecuado a la muestra total

Si en el subsuelo existe un suelo estratificado o más de un tipo de suelo, seleccionar una porción promedio o porciones individuales de ambos, y anotar en los resultados cual porción o porciones fueron estudiadas.

Para materiales de muestras integrales, se debe seleccionar la manera representativa después de mezclar mediante cuarteos todo el material. La masa húmeda de la muestra por ensayar, es seleccionada de acuerdo a la tabla 1.

TABLA 1. Masa de la muestra

Más del 10% de la muestra se retiene en la malla No.	Masa mínima recomendable de la muestra húmeda en g
2,00 mm (No.10)	100
4,75 mm (No.4)	300
19 mm (3/4")	500
38 mm (1 1/2")	1 500
76mm (3")	5 000

Para muestras pequeñas se selecciona una muestra representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Para suelos sin cohesión, una vez mezclado el material, se toma una muestra que tenga una masa húmeda de acuerdo con la tabla anterior. En algunos casos, cuando se esté trabajando con proco material y este contenga una partícula gruesa relativamente grande, es conveniente no incluirla en la muestra por secado; si este fuera el caso, debe anotarse en el reporte de resultados.

En los suelos cohesivos, antes de tomar la muestra, eliminar del material aproximadamente 3 mm de espesor de la periferia y cortarla a la mitad, con el fin de observar si el material es estratificado, pero si en ella se detectan partículas grandes, la masa de ésta, debe ser de acuerdo con la tabla 1.

Procedimiento

Seleccionar la muestra de tamaño adecuado a probar, ésta, se debe colocar en un recipiente seco limpio de masa conocida (W_r), determinando enseguida la masa del recipiente con la muestra húmeda (W_1). Esta operación se realiza en la balanza con precisión de $\pm 0,01$ g para muestras con masas de 200 g o menor; de 0,1 g para especímenes con masa de 200 g a 1 000 g de 1 para especímenes con masa mayor a 1 000 g.

Colocar el recipiente conteniendo la masa húmeda en la estufa o en el horno apropiada, manteniendo una temperatura constante de $383\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$). Ya seca la muestra con masa constante, es decir, la masa no varía en sucesivas determinaciones a pesar de que la muestra permanece dentro del horno o sobre la estufa, retirar el recipiente, colocándole de nuevo la tapa. Se deja enfriar hasta que la operación de la balanza no se vea afectada por corrientes de convección. Enseguida se procede a determinar la masa del recipiente con la muestra seca (W_2), en la misma balanza.

Si el recipiente con la muestra seca no tiene tapa, se debe hacer la determinación en el momento en que su temperatura ambiente no afecte la operación de la balanza con corrientes de convección. Para casos de muestras pequeñas se puede usar un desecador.

Cálculos

Se calcula el contenido de agua en la muestra, aplicando la siguiente expresión:

$$W = \frac{(W1 - W2)}{(W2 - W1)} \times 100$$

$$W = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100$$

Donde:

W es el contenido de gua, en porciento (%)

W1 es la masa del recipiente con la masa húmeda, en gramos (g)

W2 es la masa del recipiente con la muestra seca, en gramos (g)

Wr es la masa del recipiente, en gramos (g)

Ww es la masa del agua en gramos (g)

Ws es la masa de las partículas, en gramos (g)

Informe de la prueba

El reporte de resultados debe incluir como mínimo la siguiente información:

- ✓ Número de sondeo.
- ✓ Número de muestra.
- ✓ Profundidad.
- ✓ Número de ensaye, etc.
- ✓ Si la muestra ensayada contiene más de un tipo de suelo.
- ✓ El tamaño y la cantidad de cualquier material excluido de la muestra ensayada.
- ✓ El resultado del contenido de agua de la muestra, se reporta con aproximación de 0,1 % o 1,0%, dependiendo del propósito de la prueba. g
- ✓ Si el secado se realizó en horno o estufa.
- ✓ Si la muestra de ensaye tiene una masa menor que el mínimo recomendado en la tabla 1.

V.5 Obtención del grado de compactación

Esta prueba determina el grado de acomodo de las partículas de un suelo en estado natural o bien, de un material que forme parte de una estructura, ya sea que esta se encuentre en construcción o terminada; fundamentalmente consiste en relacionar la masa volumétrica seca del lugar, con la masa volumétrica seca máxima, ambas determinaciones se efectúan con porciones del suelo o material, correspondiente a un mismo tamaño, el cual queda limitado de acuerdo con la fracción de suelo que se utilice en la prueba de compactación del laboratorio considerada.

Se obtiene la masa volumétrica seca máxima del material, de acuerdo con el procedimiento que corresponda según lo indicado en el capítulo anterior.

La masa volumétrica seca en el lugar, del material o fracción del mismo, se obtiene siguiendo uno de los siguientes métodos: densímetro nuclear, transmisión directa (para capas de 300 mm), método del cono y arena, balón de goma, método del agua, trompa y arena o muestras inalteradas, excepto

que para medir el volumen del sondeo una vez extraído todo el material, las partículas mayores al tamaño con que realiza la prueba de compactación en el laboratorio, son preparadas mediante cribado y devueltas al sondeo después de iniciarse el vaciado de arena para no considerar el peso y el volumen de aquellas, ni tomarlas en cuenta para la determinación del contenido de agua, dichas partículas deben colocarse cuidadosamente en la excavación, interrumpiendo el vaciado de arena, de tal manera que al depositarlas no se altere el acomodo de ésta, completar el vaciado de arena, ésta las envuelva totalmente sin dejar huecos. En los casos en que haya partículas que por su tamaño deben ser devueltas al sondeo, es más práctico utilizar el método de la trompa y arena descritos anteriormente ya que ello no implica remover el aparato instalado como ocurre con el procedimiento de cono y arena y balón de goma.

Se calcula el grado de compactación del material aplicando la siguiente fórmula:

$$C = \left(\frac{MVS}{MVSM} \right) \times 100$$

Donde:

C es el grado de compactación expresado en %

MVS es la masa volumétrica seca del material en el lugar (kg/m³)

MVSM es la masa volumétrica seca máxima (kg/m³)

La ecuación para determinar la masa volumétrica seca en el lugar es:

$$W_{sv} = \frac{W_{hv}}{1 + \left(\frac{w}{100} \right)}$$

Donde:

W_{h v} es la masa húmeda del material extraído.

W_{s v} es la masa seca del material extraído.

w es el contenido directo obtenido.

$$\gamma_{slv} = \frac{W_{sv}}{V}$$

Donde:

γ_{slv} es la masa volumétrica seca del lugar.

W_{s v} es la masa seca del material extraído.

V es el volumen directo obtenido.

VI. PRUEBAS AL ACERO

A través de estas pruebas que se le realizan al acero de refuerzo podremos determinar que tanto resiste en forma general una varilla de cualquier diámetro, tanto a la tensión como al doblado así como el alargamiento de la misma.

VI.1 Muestreo del material

Se usa segueta para cortar las probetas, siempre y cuando no se excedan de 1 pulgada (25,4 mm) de diámetro. Equipo de corte autógeno (gas y acetileno) para cuando se cortan probetas mayores de 1 pulgada (25,4mm) de diámetro normalmente preparadas por el cliente.

Identificación y envío de muestras de materiales

- ✓ Registrar el número económico y nombre del laboratorio así como la fecha de muestreo.
- ✓ Registrar el nombre del constructor la dirección de la obra, la clave de identificación de la obra y la zona correspondiente (centro, sur, oriente, poniente, etc.).
- ✓ Se registran los diámetros de la varillas que se muestrearon y el total de cada diámetro, además se indicara que pruebas se realizara, (tensión, doblado).
- ✓ Se registra el nombre de operador que transportó las muestras, quien recibió y la fecha de recibido.
- ✓ Observaciones ocurridas durante el proceso.

VI.2 Tensión

Equipo

Máquina para pruebas de tensión con mordazas para sujetar la probeta. Una de las funciones de las mordazas o mecanismos de sujeción de la máquina de prueba, es el transmitir la carga por medio de los cabezales de la máquina a la probeta bajo prueba.

Procedimiento

La carga se aplica axialmente. Esto implica que las mordazas estén alineadas, con el eje de la probeta al principio y durante la prueba tanto como sea posible y que se reduzca a un mínimo el peligro de una aplicación no axial de la carga. La sujeción de la probeta está restringida a la sección que se queda fuera de la longitud calibrada; la velocidad de prueba no tiene que ser mayor de aquella a la que puedan efectuarse las lecturas de carga y deformación cuando esté realizándose la prueba. Hasta la mitad del límite de fluencia especificado puede usarse cualquier velocidad de prueba, cuando se llega a ese punto; la velocidad de separación de los cabezales bajo carga se ajusta de manera que no exceda de 1,57 mm por sección. Esta velocidad se mantiene a través de la zona de fluencia. Para determinar la resistencia a la tensión, las velocidades de separación bajo carga no tienen que exceder de 12,70 mm por minuto por cada 25,40 mm de longitud calibrada.

Como una alternativa, si la máquina está equipada con un aparato que indique la velocidad de aplicación de la carga, la velocidad de la máquina puede ajustarse a partir de la mitad del límite de

fluencia especificado para aplicar el esfuerzo a una velocidad que no exceda de 686 MPa (7 kgf/mm³ por minuto).

Determinación de las propiedades a la tensión

Tensión: Consiste en someter una probeta maquinada a una carga cuantificada y suficiente para causar una ruptura, debe calcularse dividiendo la carga máxima que soporta la probeta durante la prueba entre su área original transversal.

Límite de fluencia: Para materiales que tienen un diagrama de esfuerzo-deformación bien definido y en los que se identifica fácilmente el límite de fluencia, éste debe determinarse por alguno de los métodos que se describen a continuación.

Método del diagrama autográfico.

Cuando se obtiene un diagrama esfuerzo-deformación en el que se define bien la zona de fluencia, el esfuerzo correspondiente a la parte superior de la rodilla de la curva o el esfuerzo al cual la curva cae, se considera como límite de fluencia.

Método de extensión total bajo carga

Cuando las probetas no exhiben una deformación desproporcionada que caracterice el límite de fluencia como se mide con la caída o detención de la aguja indicadora, puede obtenerse un valor equivalente al límite de fluencia, en su significado práctico, mediante alguno de los siguientes métodos; este valor puede considerarse como el límite de fluencia.

Método de alargamiento invisible

En este método, el operador, con un compás de alargamiento o equipo similar, anota los alargamientos detectables entre las dos marcas de calibración de la probeta. Cuando se observa un alargamiento ostensible se registra la carga en ese instante, y el esfuerzo correspondiente a la carga se considera como el límite de fluencia.

Las marcas de calibración seleccionadas para esta determinación no se encontrarán espaciadas a más de 50 mm, aún en probetas de mayores longitudes calibradas.

Método de alargamiento especificado

Se fija a la probeta un extensómetro adecuado, y cuando la carga produce un alargamiento especificado se habrá alcanzado el esfuerzo correspondiente a la carga que debe considerarse como límite de fluencia.

Para aceros con un límite de fluencia especificado no mayor de 552 MPa (56 kgf/mm²) es un valor apropiado 0,27mm por cada 25,40 mm de longitud calibrada. Para valores mayores de 552 MPa (57 kgf/mm²) éste método no es válido a menos que el alargamiento total se tome en cuenta, y para tales materiales debe especificarse preferentemente el esfuerzo de fluencia.

VI.3 Doblado

Esta prueba tiene por objetivo evaluar la ductibilidad de un acero pero no puede considerarse como un medio cuantitativo para predecir las características de servicio en operaciones de doblado. La severidad de esta prueba es una función del ángulo de doblado y del diámetro del mandril sobre el que se dobla la probeta, así como de la sección transversal de la probeta. Estas condiciones varían de acuerdo a la localización y orientación de las probetas (respecto al material de donde son tomadas), de su composición química, propiedades de resistencia a la tensión, dureza, tipo y clase de acero especificado.

Esta prueba no se aplica al doblado alterno, a la lámina menor de 3 mm, alambres o tubos. Los métodos de prueba para estos productos se indican en las Normas particulares del producto.

La prueba consiste en someter una probeta recta, sólida rectangular, circular o poligonal, a una deformación plástica por doblado, sin invertir el sentido de la flexión durante la prueba.

El doblado debe realizarse hasta que uno de los extremos de la probeta forme con el otro extremo, un ángulo x especificado. Los ejes de los extremos de la probeta deben permanecer en un plano perpendicular al eje de doblado.

Tabla 1. Símbolos y abreviaturas

Número de referencia de las figuras	Símbolo	Designación
1	a	Espesor, diámetro de la probeta o dimensión característica.
2	b	Diámetro o ancho de la probeta.
3	L	Distancia entre los apoyos o en caso de matriz, abertura de esta.
4	x	Ángulo de doblado.
5	r	Radio de los rodillos de apoyo.
6	d	Diámetro del mandril.
7	r1	Radio del mandril.
8	r2	Radio inferior de doblado de la probeta después de la prueba.

Aparatos

La máquina de prueba más usualmente empleada consiste básicamente, en dos apoyos cilindros, giratorios, de separación regulable y un mandril central cambiable que ejercerá una presión sobre la probeta mediante su desplazamiento vertical.

Los apoyos deben ser más largos y el mandril más ancho que el diámetro o ancho de la probeta y deben ser los indicados en la Norma del producto.

Otra máquina de prueba que también se puede emplear consiste en una matriz en forma de “U” o “V” y un mandril de la misma forma que, en su desplazamiento, deformará la probeta. Las aristas de apoyo deben redondearse y no deben presentar resistencia al desplazamiento de la probeta, para lo cual se pueden engrasar las superficies de contacto. Las caras inclinadas de la matriz deben formar un ángulo de 1.047 rad. (60°), con una tolerancia de más de 0.175 rad. (10°) y la abertura máxima debe ser como mínimo de 125 mm.

Un tipo de máquina, utilizada principalmente para productos planos, consiste en una mordaza en la que se sujeta la probeta y un sistema móvil cuya acción ejercida en el extremo libre de la misma da lugar al doblado. El mandril sobre el que se dobla la probeta, debe tener el extremo redondeado, con el radio adecuado para efectuar la prueba de acuerdo a lo indicado en la Norma particular del producto. El ancho de la mordaza debe ser mayor al de la probeta.

Probetas

Para las barras de sección circular o poligonales, la prueba se efectúa sobre una muestra de la barra en su forma de entrega, si el diámetro (en el caso de barras circulares) o el diámetro del círculo inscrito 8 en el caso de barras de sección poligonal), no es superior a 50 mm.

Cuando el diámetro de la barra sea mayor a 50 mm, se debe reducir al mismo hasta un valor comprendido entre 20 mm y 50 mm. La reducción del diámetro es optativa en el caso de barras comprendidas entre 30 mm y 50 mm.

En general, para otros productos, la probeta será de sección rectangular, con las aristas redondeadas y con un radio que no exceda de 1/10 del espesor de la probeta. Sin embargo, la prueba realizada sobre probetas cuyas aristas no han sido redondeadas es válida si el resultado de doblado no presente fisuras u otros defectos.

El ancho de la probeta debe estar comprendido entre 25 mm y 50 mm. Para semiproductos y piezas forjadas o coladas, el espesor, excepto que se indique otra cosa, debe ser de 20 mm \pm 5 mm.

Para productos planos el espesor debe ser igual al del producto a probar. Si este es superior a 25 mm, se puede reducir maquinando una de sus caras a un espesor igual o inferior a 25 mm. En este caso, la cara no maquinada debe ser la parte externa durante la prueba de doblado.

Procedimiento

Prueba sobre dos apoyos

Se coloca la probeta sobre dos apoyos cilíndricos y se dobla la misma por la mitad de su longitud, por medio de un mandril cilíndrico.

Los apoyos deben ser más largos y el mandril más ancho que el diámetro o ancho de la probeta. El diámetro del mandril se debe establecer en la Norma del Producto.

A menos que se especifique otra cosa, la distancia entre los soportes debe ser de $L = (d+3a) \pm 0.5 a$. (Véase fig. 1 y 3)

Cuando sea necesario observar la zona de iniciación de fisuras, la superficie exterior de la porción doblada de la probeta debe mantenerse visible durante el ensayo. La carga debe aplicarse en forma lenta y gradual.

Prueba sobre bloque

Se coloca la probeta sobre un bloque en forma de “U” o de “V” según el mandril cuña que se use, y se dobla la misma por la mitad de su longitud.

Las superficies del bloqueo en forma de V deben formar un ángulo de $1.047 \text{ rad.} + 0.175 \text{ rad.} - 0 \text{ rad.}$

($60^\circ + 10^\circ + 0^\circ$) y la abertura debe ser, como mínimo, de 125 mm. Los bordes deben ser redondeados.

Para este ensayo la longitud de la probeta es generalmente de 250 mm. La carga debe aplicarse en forma lenta y gradual.

Doblado sobre los extremos de la probeta

Cuando no sea posible doblar la probeta al ángulo especificado, mediante la prueba sobre dos apoyos o la prueba sobre bloque, el doblado se continúa, presionando directamente en los dos extremos de la probeta. (Fig. 5). Dado que con este método es muy difícil mantener el radio de doblado especificado se debe seguir presionado como se indica en la figura 6.

Doblado a 3.1416 rad. (180°)

Cuando el doblado se debe realizar a 3.1416 rad. (180°) es decir, que los dos extremos de las probetas quedan paralelas entre sí, se debe proceder como se indica a continuación.

Primer paso: Se procede según la prueba sobre dos apoyos y la prueba sobre bloque.

Segundo paso:

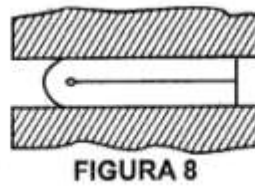
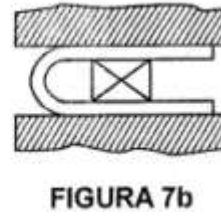
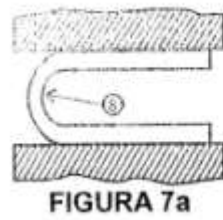
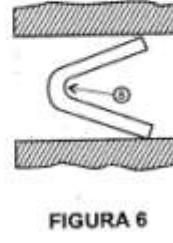
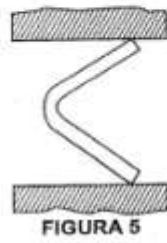
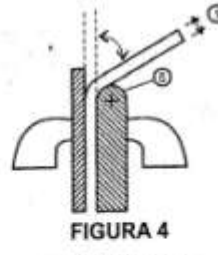
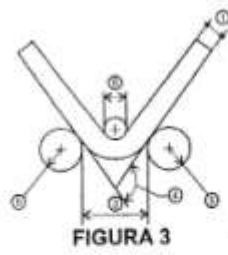
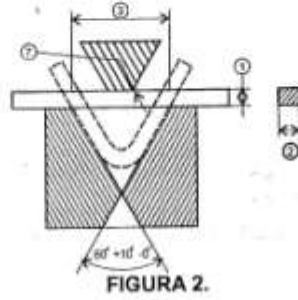
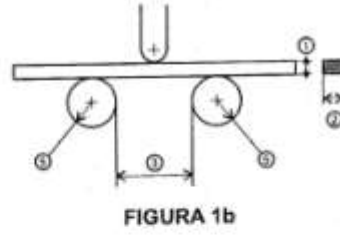
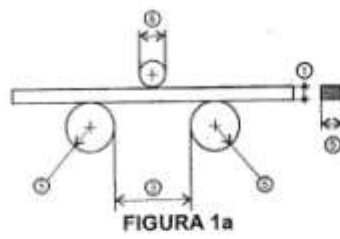
- a) Se inicia la prueba hasta que los extremos se toquen o se mantengan a una distancia dada. En este último caso se puede intercalar entre los dos extremos una pieza de espesor igual a la separación prefijada para asegurar que se consigue dicha separación.(Fig. 7b)
- b) La probeta se coloca en una prensa (Fig. 5) y se aplica una carga hasta que el ángulo de doblado alcance los 3.1416 rad. (1085) (Fig. 8)

La carga se aplica en forma lenta y gradual. La velocidad está en función del tipo de acero y de la máquina que se disponga: la prueba se debe iniciar en la velocidad más baja y aumentarla gradualmente.

El ángulo de doblado se especifica siempre como valor mínimo. Cuando se especifica el radio interno “r” de doblado (Fig. 6), éste se considera como valor máximo.

A menos que se especifique otra cosa, la prueba debe efectuarse a temperatura ambiente.

La forma de extracción de la probeta y la interpretación del aspecto superficial de la zona doblada externa de la misma, deben establecerse en la norma de producto.



VII. PRUEBAS AL ASFALTO

En estas pruebas se verificara el método a emplear para saber que tanto se puede compactar el material asfaltico así como que tan estable puede ser el mismo ya colocado en el lugar y posteriormente analizado en un laboratorio ya sea de campo u otro.

VII.1 Muestreo del material

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de material pétreo en estudio. Se realiza directamente en los bancos de explotación, en almacenes de materiales, o durante las maniobras de carga y descarga. El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

Equipo

- Pala de lámina galvanizada o plástico.
- Artesa de madera o lámina, con la capacidad y resistencia suficientes para contener el material muestreado.
- Costal de polietileno reforzado o de hilado de nylon, limpio y resistente para soportar el contenido, el amarre de su extremo y el manejo del mismo.
- Cajón limpio y seco, con la capacidad y resistencia suficientes para contener las muestras parciales.

Se efectuará el muestreo en bancos y cada lote de producción, del material enviado al camino e incluso de los almacenes, en forma sistemática seleccionado de manera objetiva y aleatoria el material para determinar sus características, considerando lo establecido en el Manual M-CAL-1-02, *Criterios Estadísticos de Muestreo* y apegándose al siguiente procedimiento:

El tamaño de las muestras parciales, su número y frecuencia serán, para cada tipo de muestreo, los establecidos en la tabla 1.

Tabla 1. Número, frecuencia y tamaño del muestreo

Tipo	Número y frecuencia	Tamaño de las muestras parciales [1] Kg
Exploración de bancos	Una muestra por sondeo por cada 20 000 m ³ de material homogéneo [2]	20
	Una muestra del material por sondeo por cada 5 000 m ³ de material heterogéneo	
Estudio de bancos	Una muestra por sondeo por cada 10 000 m ³ de material homogéneo [1]	50
	Una muestra por sondeo por cada 2 500 m ³ de material heterogéneo	
Estudio de almacenamientos	Una muestra por cada 400 m ³ de material	20
Control de calidad	Una muestra por cada 250 m ³ de material	5
	Una muestra por cada 2 500 m ³ de material	40

[1] Cuando el banco presente diversos estratos con materiales diferentes, será necesario tomar una muestra integrada en la que queden representados cada uno de los estratos y la porción en la que participan.

[2] El material se considera homogéneo cuando visiblemente sus características de color y tamaño no presenten variaciones significativas.

Reducción del tamaño de las muestras

Sobre una superficie limpia o sobre una artesa de madera o de lámina, con el material obtenido se forma un cono, el cual se extiende con la pala formando una capa circular de espesor uniforme.

Con la misma pala se divide el material en cuatro partes iguales, separando dos de los cuartos opuestos. Si el material de los cuartos restantes es suficiente para obtener una muestra del tamaño indicado en la tabla 1, se envasa el material.

Exploración de bancos

Mediante pozos a cielo abierto localizados en los vértices de una cuadrícula establecida a cada 100 ó 200 m inscrita dentro del perímetro del banco, se determina la calidad probable del material por extraer. Cada poza tendrá un tamaño aproximado de 1 m de ancho por 1,5 m de largo, hasta una profundidad que permita establecer el piso de explotación (no más allá de 3 a 4 m). De requerirse una profundidad mayor, se utilizan herramientas manuales como posteadora, muestreador helicoidal, entre

otros, hasta alcanzar profundidades de 7 a 8 m. Para profundidades aún mayores es necesario contar con el auxilio de un equipo mecánico para perforación.

Cada pozo de prueba será numerado, referido y registrado, haciendo la descripción de sus dimensiones y reportando las observaciones respecto a su geología y otras características. Las muestras obtenidas por cada pozo, serán identificadas.

Muestreo de bancos de explotación

En la pared de cada frente de banco de explotación, se abren canales verticales con sección de 20 a 30 cm de ancho y de 15 a 20 cm de profundidad; el material recuperado se recolecta en un cajón limpio. El número de canales y muestras se definen tomando en cuenta la variabilidad del banco en explotación, así como el volumen requerido por explotar.

Muestreo de minas

Minas de arena

El material se toma directamente de la mina, seleccionando sitios aleatorios, hasta completar una muestra del tamaño indicado en la tabla 1, aproximadamente utilizando una pala y costales para la recolección.

Banco con fragmentos de roca (fanglomerado)

El material se obtiene directamente del frente de explotación, en puntos aleatorios determinados, para obtener una muestra del tamaño indicado en la tabla 1, recogiendo los fragmentos hicos a manos y el resto (arenas y gravas) con pala.

Muestreo de almacenamientos

De almacenamientos ya clasificados, las muestras se obtienen conforme éstos están dispuestos y dependiendo del volumen del almacenamiento, de las distintas alturas y de los distintos lugares que hayan sido definidos previamente en forma aleatoria, hasta obtener el tamaño indicado en la tabla 1 para cada tipo de material. Se registra la clasificación, volumen del almacenamiento y tamaño máximo del material.

Muestreo de control de calidad

Para verificar la uniformidad de la producción, se obtienen muestras del tamaño indicado en la tabla 1, directamente de los almacenamientos, para cada tamaño máximo y tipo de material establecido, registrando además la identificación del almacén y el tipo de material.

Muestro previo a la elaboración de la mezcla asfáltica

Las muestras se obtienen directamente en el sitio de elaboración de la mezcla, tomándolas del material en las tolvas de la plana mezcladora o en el camión al pie de obra en el caso de carpetas por el sistema de riesgos.

Envase, identificación, transporte y almacenamiento

Las muestras obtenidas se envasan en costales, que estén limpios antes de ser llenados. Durante el envase se tendrán las siguientes precauciones:

- ✓ Que las muestras no se contaminen con polvo u otras materias extrañas.
- ✓ Que los costales queden llenos y bien amarrados, con objeto de evitar de pérdidas o alteración de su contenido.

Se identifican mediante dos etiquetas, una en su inferior y otra sujeta al exterior. Dichas etiquetas serán resistentes al manejo de la muestra, con dimensiones mínimas de 8 x12 cm, llenadas con letra de molde legible, a tinta; al colocarse, se tendrán las precauciones necesarios para evitar la perforación o rotura de los costales. Estas etiquetas incluirán, por lo menos, la siguiente información:

- ✓ Nombre de la obra.
- ✓ Nombre del banco.
- ✓ Tipo de material.
- ✓ Localización del sitio de muestreo.
- ✓ Responsable del muestreo.
- ✓ Fecha y hora del muestreo.
- ✓ Uso a que se destina.
- ✓ Observaciones.

Para transportar las muestras del sitio de su obtención al laboratorio, se acomodan en el vehículo de tal modo que se eviten golpes que provoquen la perforación o rotura de los costales, así como la contaminación, alteración o pérdida del material.

Una vez en el laboratorio, las muestras se registrarán asignándoles un número de identificación y se almacenan dentro de una bodega tachada, cerrada, limpia y seca, sobre una tarima que permita el paso del aire, colocada a 15 cm del suelo como mínimo, acomodando los costales de tal forma que no puedan sufrir caídas.

Para la obtención de muestras de cementos asfálticos se sumerge el muestreador perfectamente seco y limpio, tomándolas, en su caso, de la parte media o de los tercios superior, medio e inferior del contenido del depósito. El número de muestras, así como su nivel de extracción. Cada muestra será aproximadamente de

2 L en el caso de C.A. y 4L para Emulsiones Asfálticas.

VII.2 Obtención del grado de compactación

La compactación es un proceso mecánico para reducir el volumen de los materiales, con el fin de que sean resistentes a las cargas. La reducción de volumen del suelo se lleva a cabo utilizando maquinaria especializada.

Una vez terminada la compactación de alguna capa de la sección estructural es necesario verificar si se alcanzó el peso volumétrico marcado en el proyecto. El grado de compactación es la forma de medir la compactación alcanzada. Se define como la relación en porcentaje del peso volumétrico seco que se tiene en la obra y le peso volumétrico seco máximo que se obtienen en el laboratorio. Por lo tanto es

necesario efectuar pruebas de campo y de laboratorio. Por lo regular el cuerpo del terraplén tiene que alcanzar una compactación, mínima de 90% y las capas subyacentes un mínimo de 95%.

En las pruebas de campo se realiza un sondeo a cielo abierto con una profundidad igual al espesor de la capa y con un ancho igual de 3 o 4 veces el tamaño máximo del agregado. El material que se extrae se coloca en una charola para conocer el peso húmedo y se toma otra pequeña muestra para conocer su humedad. Con estos datos se obtienen su peso seco. Se tiene que calcular el volumen vaciando arena con granulometría uniforme en el lugar del sondeo. Teniendo el peso seco y le volumen se calcula el peso volumétrico seco.

Para encontrar el grado de compactación se requieren los datos de laboratorio para ser comparados contra le peso volumétrico seco encontrado en el campo.

Las pruebas hechas en laboratorio son de dos tipos: estáticas y dinámicas. Las pruebas estáticas son aquellas en las que se compacta el espécimen con una presión por medio de una placa que cubre toda la superficie del molde. Las pruebas dinámicas son aquellas en las que el espécimen se elabora compactando el material por medio de pisones con un +área menor a la sección del molde.

VII.3 Estabilidad

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se procede a la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en sumergir el espécimen en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Con el equipo de prueba listo se remueve el espécimen colocado en baño María y

Cuidadosamente se seca la superficie. Ubicando y centrando el espécimen en la mordaza inferior, se coloca la mordaza superior y se centra completamente en el aparato de carga.

Posteriormente, se aplica la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51 mm (5") por minuto, hasta la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático, se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir se deberá tomar la lectura, y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial, expresado en unidades de 0.25 mm (1/100"), será el valor del flujo Marshall.

CONCLUSIONES

Al iniciar este trabajo sobre los laboratorios de pruebas, que deben ser una parte fundamental de las obras de ingeniería, puedo sentir una enorme incertidumbre de que tan real es esto de los laboratorios y que importancia tienen dentro de la cultura de la ingeniería, específicamente la construcción. Por que sinceramente la experiencia que tengo trabajando para un laboratorio de pruebas, es que aquí en México no se le da el valor que les corresponde a los laboratorios, en lugar de verlos como un apoyo para tomar decisiones de acuerdo a los resultados arrojados por el mismo a través de las pruebas, se les considera un obstáculo en su proceso de construcción y muchas de las veces sólo se le toma como un requisito para su proyecto de construcción, haciendo a un lado este medio tan importante para asegurar la correcta forma de construir y tener la seguridad de que los materiales que se están empleando son los correctos.

Ahora más que nunca me doy cuenta que tan importante es llevar acabo pruebas previas a la utilización de los materiales que se emplearan en cualquier obra ingenieril y en cualquier otra ya que esto nos ayudara ha elegir con mayor conocimiento los materiales sin temor a que estos resulten perjudiciales a la obra.

En fin quedo satisfecho de poder manifestar mi inquietud de que cualquier trabajo que se desempeñe, se realice de forma correcta y haciendo uso de todos los medios normativos para que el trabajo sea considerado bien ejecutado y no sólo de hacer la obra en tiempos y economía que aparentemente perjudican al dueño sino con la certeza de que la obra se ejecuto con materiales buenos que cumplen con lo especificado y que es una obra segura para quienes hagan uso de la misma es decir para la sociedad.

Pero aun me queda la sensación de que nos falta tener realmente una cultura de responsabilidad para ejecutar los trabajos de cualquier tipo bajo estándares que nos hagan cumplir correctamente nuestra labor como parte de un todo, como la sociedad y así contribuir con lo que nos corresponde, poder tener un mundo mejor.

Por lo pronto espero que en un futuro inmediato esta falta de cultura sobre la utilización de los laboratorios se revierta y se empiece a generalizar la utilización de los laboratorios para el control de la calidad de los materiales a ocupar en obra y se trabaje en forma conjunta con los constructores y diseñadores de la obras de construcción y así poder decir que la obra que se realizo es completamente segura y funcional.

GLOSARIO

Acreditado: adj. Que tiene crédito o reputación.

Agregado grueso: Porción de aglomerado que no pueden pasar a través de una criba número 4 (4.75 mm). El aglomerado grueso normal consta de grava de mina o grava triturada.

Calibración: Establecer con exactitud la correspondencia entre las indicaciones de un instrumento de medida y los valores de la magnitud que se mide con él.

Calidad: Es un conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.

Certificado: Texto administrativo empleado para constatar un determinado hecho, por ejemplo la adecuación de un objeto o una norma.

Cilindro: figura geométrica limitada por una superficie cilíndrica cerrada lateral y dos planos que la cortan en sus bases.

Cribar: tr. Separar las partes menudas de las gruesas de una materia.

Cribado: Es el participio de cribar.

Cohesión: que es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.

Compactación: Proceso de eliminación de huecos en un sedimento.

Consistencia: una propiedad material relacionada con la rigidez de los cuerpos (física, ingeniería, mecánica de medios continuos).

Construcción: Edificación de una obra de ingeniería, arquitectura o albañilería.

Coraza: Cosa inmaterial que protege o sirve de defensa.

Curado: Proceso por el cual se logra que el concreto no pierda rápidamente su humedad y temperatura, se cura con membranas, vapor o agua.

Ductibilidad: Propiedad que tiene una estructura de no ser rígida sino permitir movimientos y deformaciones dentro de las normas.

Especificación: Determinación, explicación o detalle de las características o cualidades de una cosa.

Espécimen: m. Muestra, modelo, ejemplar, normalmente con las características de su especie muy bien definidas.

Espesor: m. Grueso o anchura de un sólido.

Densidad o condensación de un fluido o una masa.

Estabilidad: Propiedad de un cuerpo de recuperar su equilibrio inicial.

Fluidez: f. Propiedad de los cuerpos cuyas moléculas tienen entre sí poca coherencia, y toman siempre la forma del recipiente donde están contenidos.

Hidráulico: adj. Relativo a la hidráulica. Que se mueve o funciona por medio del agua.

Homogénea: Sustancia o mezcla cuyas composición y estructura son uniformes.

Límite de fluencia: Indica la tensión que soporta una probeta del ensayo de tracción en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia.

Lixiviación: Es el proceso de lavado del suelo por la filtración del agua.

Mandril: Pieza cilíndrica sobre la que se hace un doblado de una probeta para que el radio de esta pieza corresponda al radio del doblado.

Material: Conjunto de lo necesario para una profesión, obra.

Medición: f. Acción y resultado de medir.

Mezcla: Materia formada al juntar dos o más materiales sin que suceda una reacción química.

Muestra: f. Parte o porción extraída de un conjunto, por métodos que permiten considerarla representativa del mismo.

Moldear: tr. Dar forma a una materia en un molde.

Nominal: Que solo es o existe de nombre y carece de una existencia efectiva. GRAM. Que realiza una función propia de un nombre.

Norma: f. Regla de obligado cumplimiento.

Organización: f. Acción y resultado de organizar u organizarse. Formación social o grupo institucionalmente independiente.

Peso unitario: Relación por cociente entre un peso y un volumen. Peso por unidad.

Porción: f. Cantidad que se separa de otra mayor.

Procedimiento: m. Método o sistema estructurado para ejecutar algunas cosas.

Prueba: m. Método o sistema estructurado para ejecutar algunas cosas.

Recipiente: adj. Que recibe. M. Receptáculo para recibir o contener fluidos, objetos, etc.

Rendimiento: m. Producción o utilidad de una cosa.

Revenimiento: Es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura.

Segregación: Apartar, separar a alguien de algo o una cosa de otra.

Sub-base: Capa situada debajo de la base de un elemento estructural térreo.

Técnicas: .f. Conjunto de procedimientos o recursos de los que se sirve una ciencia, un arte o un oficio.

Temperatura: f. Magnitud física que mide la sensación subjetiva de calor o frío de los cuerpos o del ambiente.

Tensión: f. FÍS. Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas que lo estiran.

Válvula: Dispositivo que regula el paso de líquidos o gases en uno o varios tubos o conductos.

Variante: f. Cada una de las diversas formas con que se presenta algo.

Volumen: m. Espacio ocupado por un cuerpo.

Yute: m. Material textil que se saca de la corteza interior de varios árboles oriundos de Asia y África. Tejido de esta fibra.

BIBLIOGRAFIA

Libros

KOSMATKA, Steven H., KERKHOFF, Beatrix, et. al. Diseño y Control de Mezclas de Concreto EB201. Primera ed., PCA Portland Cement Association, México, 2004, 325-354 p.

ANDERSON, Gordon A., ARTUSO, Joseph F., et. al. Manual para Supervisar Obras de Concreto. (ACI Manual of Concrete Inspection SPZ 99) ACI 311-99. Primera ed.,

Norma	Designación
Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete	ASTM C 172
Industria de la construcción- Concreto fresco-Muestreo Concrete	NMX-C-161-1997-ONNCEE
Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement	ASTM C 143/C 143M
Industria de la construcción-Concreto- Determinación del Revenimiento en el concreto fresco.	NMX-C-156-1997-ONNCEE
Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.	ASTM C 31/C 31M
Industria de la construcción-Concreto-Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.	NMX-C-160-ONNCEE-2004
Industria de la construcción-Concreto- Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto- Método de prueba.	NMX-C-083-ONNCEE-2002
Industria de la construcción-Concreto-Cabeceo de especímenes cilíndricos.	NMX-C-109-ONNCEE-2004
Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete.	ASTM C 1064/C 1064M
Industria de la construcción-Concreto-Método para determinar La temperatura del concreto fresco.	NMX-C-435-ONNCEE-2004

Norma	Designación
Industria de la construcción-Concreto-Determinación de la Masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido del aire del concreto fresco por el método gravimétrico.	NMX-C-162-ONNCE-2000
Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.	ASTM C 138/C 138M
Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method.	ASTM C 173/C 173M
Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.	ASTM C 231
Industria de la construcción-Concreto-Obtención. y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido.	NMX-C-169-1997-ONNCE
Industria de la construcción-Concreto-Determinación del número De rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro.	NMX-C-192-ONNCCE-2006
Industria de la construcción-Concreto-Determinación de la Velocidad del pulso a través del concreto-Método de ultrasonido.	NMX-C-275-ONNCCE-2004
Industria de la construcción-Muestreo de estructuras térreas Y métodos de prueba.	NMX-C-416-ONNCCE-2003
Métodos de prueba mecánicos para productos de acero.	NMX-B-172-1998
Acero-Método de prueba-doblado de productos terminados.	NMX-B-113-1981
S.C.T. Libro 6-1986,002-B. Muestreo del material. Terracerías	
S.C.T. Libro 6.002-K-03. Prueba Proctor.	
S.C.T. Libro 6.01.01.002-K-06. Prueba Porter	
Manual	Designación
Muestreo de materiales para terracerías.	M-MMP.1.01

Clasificación de fragmentos de roca y suelos.	M-MMP.1.02
Secado, disgregado y cuarteo de muestras.	M-MMP.1.03
Contenido de agua.	M-MMP-1-04
Compactación AASHTO.	M-MMP-1-09
Criterios estadísticos de muestreo.	M-CAL.1.02
Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.	N-CTM-4-05-003
Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.	M-MMP-4-04-001
Pérdida de estabilidad por Inmersión en Agua de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.	M-MMP-4-04-011

LIBRO: CTR. Construcción

TEMA: PUE. Puertos

PARTE: 1. Conceptos de obra.

Título: 01. Terracerías

Capítulo: 009. Rellenos N.CTR.PUE.1-01-009

Folletos

Ley Federal sobre Metodología y Normalización. Artículos: 75, 76, 87 y 88

Diccionarios

GARCIA Pelayo y Gross, Ramón. Diccionario Larousse. México, 1982, 216, 382, 391, 492, p.

Otras fuentes

<http://www.cement.org>

<http://www.ingenieria.unam.mx/historialb.html>

<http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/1554-Antecedentes-historios-del-colegio-de-ingenieros>

<http://www.itm.mx/Español/Publicaciones/pubtec/pt185.pdf>

<http://www.ingenieria.vady.mx/weblioteca/IntroCons/PDFs/onstruccionMexico.pdf>

<http://www.mitecnologico.com/Main/AcreditacionLaboratoriosDePrueba>

<http://www.mitecnologico.com/ibq/Main/AntecedentesDeLaNormalizacion>

<http://www.economia.gob.mx/?P=146>

<http://www.gost-soex.ru/es/DICCIONARIO-DE-TERMINOS-DE-CERTIFICACION.html>

<http://www.wordreference.com/definición/>

<http://es.wikipedia.org/wiki/>

http://www.geocities.com/TheTropics/3070/man03_10.htm