



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

LA CALIBRACIÓN DE MAQUINAS Y ENSAYE DE
MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
CARRETERAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

JORGE LÓPEZ VICENTE

Y

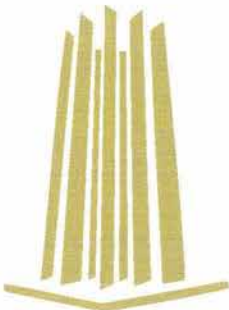
JUAN JOSÉ PÉREZ SÁNCHEZ

I N G E N I E R O M E C Á N I C O E L É C T R I C O

ASESOR: LIC. CASSIODORO DOMÍNGUEZ CRISANTO

SAN JUAN D ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO

2004





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

DUPLICADO

**JORGE LÓPEZ VICENTE
PRESENTE**

En contestación a su solicitud de fecha 14 de octubre de 2002, presentada por Juan José Pérez Sánchez y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. CASSIODORO DOMÍNGUEZ CRISANTO pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y ENSAYE DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México 17 de mayo de 2004
LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma fue registrada en la Secretaría Académica de esta Escuela con fecha 30 de octubre de 2002.

- C p Secretaria Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/asm*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Tomasa Vicente Flores
Alfonso López López

A mi esposa:

Laura Alcántara Guerrero

A mis hijos:

Jorge Alfonso
Israel Horacio
Agni Osiris
Mabel Citlalli

A mi nieto:

Angel Alejandro

A mis hermanos:

Mary
Ofelia
Jacinta
Oscar
Jesús

A mis profesores:

En especial a mi asesor, Ing.
Cassiodoro Dominguez Crisanto
por sus sabios consejos y
orientación.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

DUPLICADO

JUAN JOSE PEREZ SANCHEZ
PRESENTE

En contestación a su solicitud de fecha 14 de octubre de 2002, presentada por Jorge López Vicente y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. CASSIODORO DOMÍNGUEZ CRISANTO pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y ENSAYE DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.


Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México 14 de mayo de 2004
LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma fue registrada en la Secretaría Académica de esta Escuela con fecha 30 de Octubre de 2002.

- 
- C p Secretaría Académica.
 - C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
 - C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por lo maravilloso que ha sido conmigo, dándome en la vida lecciones para poder crecer y ser mejor día con día.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por Haberme dado la oportunidad de prepararme y estudiar una carrera.

Al Ing. Cassiododo Domínguez Crisanto

Por su capacidad como catedrático, su calidad como ser humano, su sincero y desinteresado afán de ayudar, hizo posible la realización de este trabajo.

A mis Padres

Evaristo Pérez Olmedo
Alicia Sánchez Rosas

Por haberme dado la vida y mucho amor, y porque a pesar de las limitaciones existentes, me dieron una formación y una educación, la cual no tendría jamás la forma de podérselos pagar. Padres los amo, Lichita muchas gracias por ser mi pila que me carga de energía en las buenas y en las malas.

A mi tío

Lic. José Sánchez Rosas

Por tu apoyo, amor y comprensión; por ser la imagen del hombre recto, trabajador e inteligente, la cual quisiera alcanzar algún día.

Al Prof. Rogelio Cervantes Flores

Por todas tus enseñanzas y por haber cambiado mi vida de manera significativa.

A mi esposa

Aurora Carolina Cruz García

Por tu amor, tu apoyo y tu confianza, porque quiero estar toda la vida a tu lado y poder envejecer contigo.

A mi hijo

Diego Baruc Pérez Cruz.

Por que en la vida debí haber hecho algo muy bueno, para que dios me diera el mejor regalo de mi vida; tú hijo.

A mis hermanos

Javier Alejandro Pérez, por tu apoyo siempre incondicional y sobre todo por ser mi mejor amigo, a Mario Pérez, Lidia Pérez y Patricia Pérez, por haberme formado con una mentalidad de superación, además de enseñarme muchas cosas que sin su ayuda no hubiera aprendido.

A mis sobrinos

Xanat, Amalia y Miguel

Gracias por su amor.

A mis Tías, Tíos y Primos

Gracias por tanto cariño y por estar siempre pendiente de mí.

A mis grandes amigos

Alba Flores Camargo y Francisco Nieto Chávez

Gracias por su amistad, su paciencia, su confianza y sobre todo por estar siempre conmigo.

INDICE

	PAGINAS
INTRODUCCION	
CAPITULO 1 NORMATIVIDAD APLICABLE A LA CALIBRACION DE MAQUINAS Y/O ENSAYE DE MATERIALES	1
CAPITULO 2 EL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y/O ENSAYE. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR.	42
CAPITULO 3 CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYE	68
CAPITULO 4 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERA	107
CAPITULO 5 ENSAYE DE MATERIALES	117
CAPITULO 6 COMPARACIÓN DE LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN Y/O ENSAYE	159
CONCLUSIONES	
GLOSARIO DE TÉRMINOS	
BIBLIOGRAFÍA	

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos el hombre en sus actividades diarias, ha comparado una cosa con otra y lo que ha hecho en realidad es medir, de acuerdo a una característica física que los distinga, esto es, asignarle un valor numérico a dicha comparación por lo que ha utilizado este tipo de comparaciones para obtener conocimiento del medio que le rodea; esa aseveración la hizo patente Sir Lord Kelvin en el siglo XVIII quien señaló, que el conocimiento que tenemos de las cosas es incompleto, en tanto no logramos medirlo. En nuestros días la medición, normalmente se asocia con la actividad industrial para el control de calidad, en la cual, se verifican los requisitos que determinan la calidad de un producto, para asegurar que cumpla con ciertas especificaciones previamente establecidas, en donde uno de los puntos principales radica en la calibración de las máquinas y equipos de medición empleados; esto ayuda a elevar los niveles de calidad y competitividad de la producción que permite una sana competencia en igualdad de condiciones en el ámbito nacional e internacional.

Dentro de la industria de la construcción dedicada a la infraestructura carretera, la importancia de medir bien y caracterizar los materiales empleando métodos de ensaye normalizados, equipos e instrumentos debidamente calibrados y con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, permite construir obras cómodas y seguras para el usuario, lo cual repercute en la economía del constructor, del operador de la obra y del usuario.

Por las razones antes mencionadas, en este trabajo de tesis se hace énfasis en la metrología y en el control metrológico de máquinas, instrumentos y patrones; así como en la intercomparación de los laboratorios de calibración y/o ensaye como parte medular en la calidad del producto; y en la importancia de emplear equipos de fuerza calibrados por laboratorios acreditados y reconocidos oficialmente.

OBJETIVO

Emplear procedimientos técnicos y metodologías para la correcta calibración de las máquinas para el ensaye y caracterización de los materiales empleados en la construcción de carreteras.

JUSTIFICACIÓN

Mostrar la importancia de la calibración de las máquinas de ensaye para medir y controlar los índices de calidad de los materiales empleados en la construcción de carreteras, a fin de asegurar que tengan un comportamiento cómodo y seguro para el usuario.

El ensayar y controlar los materiales incide en aspectos primordiales como son, el económico y la seguridad de las construcciones, porque al utilizar materiales debidamente probados y certificados permiten aminorar los riesgos para las personas que utilizan estas construcciones, como sería un accidente en carretera por caer o por evitar caer en algún bache o grieta en el pavimento; otro riesgo como el que un vehículo impacte en alguna barrera metálica de protección y ésta no soporte la fuerza de colisión y el vehículo se precipite al barranco, etc.

La calibración de máquinas de ensaye no solamente tiene que ver con la industria de la construcción, además se utiliza en diferentes industrias como son la industria farmacéutica, la eléctrica, la automotriz, la aeronáutica, etc. Un ejemplo de ello es la determinación de los esfuerzos de materiales que se utilizan en los viajes espaciales. La calibración de máquinas o equipos resultará importante en donde se realicen trabajos de investigación sumamente detallados, donde se realiza metrología científica de alta exactitud.

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

El contenido de este trabajo se encuentra desglosado en seis capítulos; en el capítulo 1, se presenta la Normatividad vigente que sirve como marco de referencia a las actividades de los laboratorios de calibración y/o ensaye, tales como la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, así como las Normas Mexicanas empleadas para la calibración de máquina de fuerza y para el ensaye de materiales; en el capítulo 2, se describen los requisitos que debe cumplir una empresa para poder operar como un laboratorio de calibración y/o ensaye; el capítulo 3, trata sobre los tipos de máquinas de fuerza para ensaye de materiales y su clasificación, así como las fallas más comunes y soluciones propuestas para la corrección de estas fallas; en el capítulo 4, se presentan algunos de los materiales que se utilizan para la construcción de carreteras, así como los índices de calidad que deben cumplir; en el capítulo 5, se detallan los procedimientos de ensaye de materiales de construcción, para evaluar sus propiedades; en el capítulo 6, se dan los lineamientos que se deben seguir para efectuar comparaciones entre laboratorios de calibración, así como entre laboratorios de ensaye, de acuerdo a un programa previamente establecido a fin de asegurar la confiabilidad de éstos. Finalmente se dan las conclusiones, un glosario de términos y la bibliografía utilizada.

LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y ENSAYE DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

CAPITULO 1

1. NORMATIVIDAD APLICABLE A LA CALIBRACIÓN DE MAQUINAS Y/O ENSAYE DE MATERIALES

En México siempre ha habido el interés en regular las actividades de medición en las diferentes transacciones comerciales que se realizan a nivel nacional o internacional, y desde 1895 se crea la "Ley sobre Pesas y Medidas" que se reforma en 1905 para incluir los prototipos de los patrones de longitud y de masa; en 1961, la "Ley General de Normas y de Pesas y Medidas"; en 1988, la "Ley sobre Metrología y Normalización"; y en 1992, Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

1.1. LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992 y ha sido reformada en 1996, 1997 y en 1999.

1.1.1. DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1º. La presente Ley regirá en toda la República Mexicana y sus disposiciones son de orden público e interés social. Su aplicación y vigilancia corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de las dependencias de la administración pública federal que tengan competencia en las materias reguladas en este ordenamiento.

Artículo 2º. Esta ley tiene por objeto:

- I. En materia de Metrología.
 - a) Establecer el Sistema General de Unidades de Medida;
 - b) Precisar los conceptos fundamentales sobre metrología;
 - c) Establecer los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir y los patrones de medida;
 - d) Establecer la obligatoriedad de la medición en transacciones comerciales y de indicar el contenido en los productos envasados;
 - e) Instituir el Sistema Nacional de Calibración;

- f) Crear el Centro Nacional de Metrología, como organismo de alto nivel técnico en la materia; y
 - g) Regular, en lo general, las demás materias relativas a la metrología.
- II. En materia de normalización, certificación, acreditamiento y verificación:
- h) Fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
 - i) Instituir la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal;
 - j) Establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal;
 - k) Promover la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
 - l) Coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de la administración pública federal;
 - m) Establecer el sistema nacional de acreditamiento de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración; y
 - n) En general, divulgar las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.

1.1.2. DEL SISTEMA GENERAL DE UNIDADES DE MEDIDA

Artículo 5º. En los Estados Unidos Mexicanos el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal y de uso obligatorio

El Sistema General de Unidades de Medida se integra, entre otras, con las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades (SI): de longitud, el metro; de masa, el kilogramo; de tiempo el segundo; de temperatura termodinámica, el kelvin; de intensidad de corriente, el ampere; de intensidad luminosa, la candela; y de cantidad de sustancia, el mol, así como con las suplementarias, las derivadas de las unidades base y los múltiplos y submúltiplos de todas ellas, que apruebe la Conferencia General de Pesas y Medidas y se prevean en normas oficiales mexicanas. También se integra con las no

comprendidas en el sistema internacional que acepte el mencionado organismo y se incluyan en dichos ordenamientos.

1.1.3. DE LOS INSTRUMENTOS PARA MEDIR

Artículo 10. Los instrumentos para medir y patrones que se fabriquen en el territorio nacional o se importen y que se encuentren sujetos a norma oficial mexicana, requieren, previa su comercialización, aprobación del modelo o prototipo por parte de la Secretaría sin perjuicio de las atribuciones de otras dependencias. Deberán cumplir con lo establecido en este artículo los instrumentos para medir y patrones que sirvan de base o se utilicen para:

- I. Una transacción comercial o para determinar el precio de un servicio;
- II. La remuneración o estimación, en cualquier forma, de labores personales;
- III. Actividades que puedan afectar la vida, la salud o la integridad corporal;
- IV. Acto de naturaleza pericial, judicial o administrativa; o
- V. La verificación o calibración de otros instrumentos de medición.

1.1.4. DE LA MEDICIÓN OBLIGATORIA DE LAS TRANSACCIONES

Artículo 15. En toda transacción comercial, industrial o de servicios que se efectúe a base de cantidad, ésta deberá medirse utilizando los instrumentos de medir adecuados, excepto en los casos que señale el reglamento, atendiendo a la naturaleza o propiedades del objeto de la transacción.

La Secretaría determinará los instrumentos para medir apropiados en razón de las materias objeto de la transacción y de mayor eficiencia de la medición.

1.1.5. DEL SISTEMA NACIONAL DE CALIBRACIÓN

Artículo 24. Se instituye el Sistema Nacional de Calibración con el objeto de procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país, tanto en lo concerniente a las transacciones comerciales y de servicios, como en los procesos industriales y sus respectivos trabajos de investigación científica y de desarrollo tecnológico.

1.1.6. DEL CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

Artículo 29. El Centro Nacional de Metrología es un organismo descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, con objeto de llevar a cabo funciones de alto nivel técnico en materia de metrología.

Artículo 30. El Centro Nacional de Metrología tendrá las siguientes funciones:

- I. Fungir como laboratorio primario del Sistema Nacional de Calibración.
- II. Conservar el patrón nacional correspondiente a cada magnitud, salvo que su conservación sea más conveniente en otra institución.
- III. Proporcionar servicios de calibración a los patrones de medición de los laboratorios, centros de investigación o a la industria, cuando así se solicite, así como expedir los certificados correspondientes.
- IV. Promover y realizar actividades de investigación y desarrollo tecnológico en los diferentes campos de la metrología, así como coadyuvar a la formación de recursos humanos para el mismo objetivo.
- V. Asesorar a los sectores industriales, técnicos y científicos en relación con los problemas de medición y certificar materiales patrón de referencia.
- VI. Participar en el intercambio de desarrollo metrológico con organismos nacionales e internacionales y en la intercomparación de los patrones de medida.
- VII. Realizar peritajes de tercería y dictaminar sobre la capacidad técnica de calibración o de medición de los laboratorios, a solicitud de parte o de la Secretaría dentro de los comités de evaluación para la acreditación.
- VIII. Organizar y participar, en su caso, en congresos, seminarios, conferencias, cursos o en cualquier otro tipo de eventos relacionados con la metrología.
- IX. Celebrar convenios con instituciones de investigación que tengan capacidad para desarrollar patrones primarios o instrumentos de alta precisión, así como instituciones educativas que puedan ofrecer especializaciones en materia de metrología.
- X. Celebrar convenios de colaboración e investigación metrológica con instituciones, organismos y empresas tanto nacionales como extranjeras, y
- XI. Las demás que se requieran para su funcionamiento.

1.1.7. DE LAS NORMAS MEXICANAS

Artículo 51-A. Las normas mexicanas son de aplicación voluntaria, salvo en los casos en los que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conformes con las mismas y sin perjuicio de que las dependencias requieran en una norma oficial mexicana su observancia para fines determinados. Su campo de aplicación puede ser nacional, regional o local.

1.1.8. DE LA ACREDITACIÓN Y APROBACIÓN

Artículo 68. La evaluación de la conformidad será realizada por las dependencias competentes o por los organismos de certificación, los laboratorios de prueba o de calibración y por las unidades de verificación acreditados y en su caso, aprobados en los términos del artículo 70 de esta Ley.

La acreditación de los organismos, laboratorios y unidades a que se refiere el párrafo anterior será realizada por las entidades de acreditación, para lo cual el interesado deberá:

- I. Presentar solicitud por escrito a la entidad de acreditación correspondiente, acompañando, en su caso, sus estatutos y propuesta de actividades.
- II. Señalar las normas que pretende evaluar, indicando la materia, sector, rama, campo o actividad, respectivo, y describir los servicios que pretende prestar y los procedimientos a utilizar.
- III. Demostrar que cuenta con la adecuada capacidad técnica, material y humana, en relación con los servicios que pretende prestar, así como con los procedimientos de aseguramiento de calidad que garanticen el desempeño de sus funciones; y
- IV. Otros que se determinen en esta Ley o su reglamento.

1.1.9. DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

Artículo 73. Las dependencias competentes establecerán, tratándose de las normas oficiales mexicanas, los procedimientos para la evaluación de la conformidad cuando para fines oficiales requieran comprobar el cumplimiento con las mismas, lo que se hará según el nivel de riesgo o de protección necesarios para salvaguardar las finalidades a que se refiere el artículo 40, previa consulta con los sectores interesados, observando esta Ley, su reglamento y los lineamientos internacionales. Respecto de las normas mexicanas u otras especificaciones, prescripciones o características determinadas, establecerán dichos procedimientos cuando así se requiera.

1.1.10. DE LAS CONTRASEÑAS Y MARCAS OFICIALES

Artículo 76. Las dependencias competentes, en coordinación con la Secretaría, podrán establecer las características de las contraseñas oficiales que denoten la evaluación de la conformidad respecto de las normas oficiales mexicanas y, cuando se requiera, de las normas mexicanas.

1.1.11. DE LOS LABORATORIOS DE PRUEBAS

Artículo 81. Se instituye el Sistema Nacional de Acreditación de Laboratorios de Pruebas con el objeto de contar con una red de laboratorios acreditados que cuenten con equipo suficiente, personal técnico calificado y demás requisitos que establezca el reglamento, para que presten servicios relacionados con la normalización a que se refiere esta Ley.

Los laboratorios acreditados podrán denotar tal circunstancia usando el emblema oficial del sistema nacional de acreditamiento de laboratorios de pruebas.

1.2. SISTEMA GENERAL DE UNIDADES DE MEDIDA

En los Estados Unidos Mexicanos el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal y de uso obligatorio, y se integra con las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades (SI), así como con las suplementarias, las derivadas de las unidades base y los múltiplos y submúltiplos de todas ellas, que apruebe la Conferencia General de Pesas y Medidas y se prevean en normas oficiales mexicanas. También se integra con las no comprendidas en el sistema internacional que acepte el mencionado organismo y se incluyan en dichos ordenamientos.

Excepcionalmente La Secretaría de Economía (SE) podrá autorizar el empleo de unidades de medidas de otros sistemas, debido a las relaciones comerciales con otros países que no hayan adoptado el Sistema Internacional de Unidades (SI). En estos casos, las unidades de aquellos sistemas se expresarán con su equivalencia en el Sistema General de Unidades de Medida, salvo que en casos especiales la SE exima de esta obligación.

Las unidades bases, suplementarias y derivadas del Sistema General de Unidades de Medida, así como su simbología, se consignarán en las normas oficiales mexicanas.

Las escuelas oficiales y particulares que formen parte del sistema educativo nacional, deberán incluir en sus programas de estudio la enseñanza del Sistema General de Unidades de Medida.

1.2.1. UNIDADES BASE

Son magnitudes que dentro de un "sistema de magnitudes" se aceptan por convención, como independientes unas de otras. Las cuales son 7: longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, intensidad luminosa, y de cantidad de sustancia. Los nombres y símbolos de las unidades básicas se indican en la Tabla 1.

1.2.2. UNIDADES SUPLEMENTARIAS

Se definen geoméricamente y pueden tener el carácter de unidad base o de unidad derivada. Los nombres y símbolos de las unidades suplementarias se indican en la Tabla 2.

1.2.3. UNIDADES DERIVADAS

Son las formadas por la combinación entre sí de las unidades base o por la combinación de las unidades base con suplementarias, en expresiones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes, de acuerdo a leyes simples de la física y se representan utilizando los símbolos matemáticos de multiplicación y de división.

Las unidades derivadas se pueden denominar en tres clases: las que se expresan a partir de unidades base, las que tienen un nombre y símbolo especial y las expresadas con nombres especiales. Ejemplo de estas tres clasificaciones de las unidades derivadas se indican en las Tablas 3, 4 y 5.

1.2.4. UNIDADES QUE NO PERTENECEN AL "SI, PERO SE CONSERVAN PARA USARSE CON EL "SI"

Son unidades de amplio uso, por lo que se considera apropiado conservarlas; sin embargo, se recomienda no combinarlas con las unidades del SI para no perder las ventajas de la coherencia. La relación de estas unidades están expresadas en la tabla 6.

1.2.5. UNIDADES QUE NO PERTENECEN AL "SI" QUE PUEDEN USARSE TEMPORALMENTE CON EL "SI"

Son unidades cuyo empleo debe evitarse, se mantienen temporalmente, pero se recomienda no emplearlas conjuntamente con las unidades SI. Estas unidades se muestran en la tabla 7

Tabla 1. Nombres, símbolos y definiciones de las unidades SI de base

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición de la unidad
Longitud	metro	m	Es la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un lapso de $1/299\,792\,458$ de segundo (17ª CGPM(1983), Resolución 1)
Masa	kilogramo	kg	Es la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo (1ª y 3ª CGPM (1889 y 1901))
Tiempo	segundo	s	Es la duración de $9\,192\,631\,770$ períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo de cesio 133 (13ª CGPM (1967) Resolución 1)
Corriente eléctrica	ampere	A	Es la intensidad de una corriente constante que mantenida en dos conductores paralelos rectilíneos de longitud infinita, de sección circular despreciable, colocados a un metro de distancia entre sí en el vacío, producirá entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud (9ª CGPM, (1948), Resolución 2)
Temperatura termodinámica	kelvin	K	Es la fracción de $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13ª CGPM 1967) Resolución 4)
Cantidad de sustancia	mol	mol	Es la cantidad de sustancia que contiene tantas entidades elementales como existan átomos en $0,012$ kg de carbono 12 (14ª CGPM (1971) Resolución 3)
Intensidad luminosa	candela	cd	Es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y cuya intensidad energética en esa dirección es $1/683$ watt por steradian (16ª CGPM (1979), Resolución 3)

Tabla 2. Nombres de las magnitudes, símbolos y definiciones de las unidades SI suplementarias

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición de la magnitud
Ángulo plano	radián	rad	Es el ángulo comprendido entre dos radios de un círculo que interceptan sobre la circunferencia de éste, un arco de longitud igual a la del radio
Ángulo sólido	esterradián	sr	Es el ángulo que tiene su vértice en el centro de una esfera, y, que intercepta sobre la superficie de ésta, un área igual a la de un cuadrado que tiene por lado el radio de la esfera

Tabla 3. Ejemplo de unidades derivadas sin nombre especial

Magnitud	Unidades SI	
	Nombre	Símbolo
Superficie	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Velocidad	metro por segundo	m/s
Aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s ²
Densidad, masa volumétrica	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Número de ondas	metro a la menos uno	m ⁻¹
Densidad de corriente	ampere por metro cuadrado	A/m ²
Intensidad de campo eléctrico	ampere por metro	A/m
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m ²
Concentración (de cantidad de substancia)	mol por metro cúbico	mol/m ³

Tabla 4. Unidades derivadas que tienen nombre y símbolo especial

Magnitud	Nombre de la unidad SI derivada	Símbolo	Expresión en unidades SI de base	Expresión en otras unidades SI
Fuerza	newton	N	$\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$	--
Presión	pascal	Pa	$\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$	N/m^2
Trabajo, energía, cantidad de calor	joule	J	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$	$\text{N}\cdot\text{m}$
Frecuencia	hertz	Hz	s^{-1}	--
Potencia, flujo energético	watt	W	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$	J/s
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	$\text{s}\cdot\text{A}$	--
Diferencia de potencial, tensión eléctrica, potencial eléctrico, fuerza electromotriz	volt	V	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$	W/A
Capacitancia eléctrica	farad	F	$\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^4\cdot\text{A}^2$	C/V
Resistencia eléctrica	ohm	Ω	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-2}$	V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	$\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^3\cdot\text{A}^2$	A/V
Flujo magnético	weber	Wb	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$	$\text{V}\cdot\text{s}$
Inducción magnética	tesla	T	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$	Wb/m^2
Inductancia	henry	H	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-2}$	Wb/A
Temperatura	grado Celsius	$^{\circ}\text{C}$	--	K
Flujo luminoso	lumen	lm	$\text{cd}\cdot\text{sr}$	--
Luminosidad	lux	lx	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}$	lm/m^2
Actividad nuclear	becquerel	Bq	s^{-1}	--
Dosis absorbida	gray	Gy	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$	J/kg
Equivalente de dosis	sievert	Sv	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$	J/kg

Tabla 5. Ejemplo de unidades derivadas expresadas por medio de nombres especiales

Magnitud	Unidad	Símbolo	Expresión en unidades base
Viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa·s	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
Momento de una fuerza	newton metro	N m	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
Tensión superficial	newton por metro	N/m	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
Densidad de flujo de calor, irradiancia	watt por metro cuadrado	W/m ²	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$
Capacidad calorífica, entropía	joule por kelvin	J/K	$\text{kg}^2\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$
Capacidad calorífica específica, entropía específica	joule por kilogramo kelvin	J/(kg·K)	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
Energía específica	joul por kilogramo	J/kg	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$
Conductividad térmica	watt por metro kelvin	W/(m·K)	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$
Densidad energética	joule por metro cúbico	J/m ³	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
Densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C/m ³	$\text{m}^{-3}\cdot\text{s}\cdot\text{A}$
Fuerza del campo eléctrico	volts por metro	V/m	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$
Densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C/m ²	$\text{m}^{-2}\cdot\text{s}\cdot\text{A}$
Permitividad	farad por metro	F/m	$\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^4\cdot\text{A}^2$
Permeabilidad	henry por metro	H/m	$\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-2}$
Energía molar	joule por mol	J/mol	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{mol}^{-1}$
Entropía molar, capacidad calorífica molar	joule por mol kelvin	J/(mol·K)	$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
Exposición(rayos X y γ)	coulomb por kilogramo	C/kg	$\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}\cdot\text{A}$
Rapidez de dosis absorbida	gray por segundo	Gy/s	$\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-3}$

Tabla 6. Unidades que no pertenecen al SI, que se conservan para usarse con el SI

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Volúmen	Litro	l, L	10^{-3} m^3
Ángulo	grado	°	$(\pi/180)\text{rad}$
	minuto	'	$(\pi/10\ 800)\text{rad}$
	segundo	"	$(\pi/648\ 000)\text{rad}$
Masa	tonelada	t	1 000 kg
Tiempo	minuto	min	60 s
	hora	h	60min, 3 600 s
	día	d	24 h, 86 400 s
Trabajo, energía	electronvolt	eV	$1,602\ 189\ 2 \times 10^{-19} \text{ j}$
Masa atómica	unidad de masa atómica	u	$1,660\ 565\ 5 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Tabla 7 Unidades que no pertenecen al SI que pueden usarse temporalmente con el SI

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Longitud	Angstrom	Å	$1 \times 10^{-10} \text{ m}^2$
	milla marina	--	1 852 m
Superficie	area	a	100 m ²
	hectárea	ha	1 000 m ²
	barn	b	10^{-28} m^2
Velocidad	nudo	---	0,514 4 m/s
Aceleración	gal	Gal	0,10 m/s ²
Presión	bar	bar	100 000 Pa
Radioactividad	curie	Ci	$3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
Dosis de radiación	röntgen	R	$2,58 \times 10^{-4} \text{ c/kg}$
Dosis absorbida	rad	rad (rd)	0,01 Gy
Equivalente de dosis	rem	rem	0,01 Sv

1.2.6. PRINCIPALES MAGNITUDES Y UNIDADES

Existe gran cantidad de unidades derivadas que se emplean en las áreas científicas y el Sistema General de Unidades de Medida las agrupa en 10 campos,

siendo los más importantes los correspondientes a la física, de acuerdo a la relación siguiente:

- Principales magnitudes y unidades de espacio y tiempo.
- Principales magnitudes y unidades de fenómenos periódicos y conexos.
- Principales magnitudes y unidades de mecánica.
- Principales magnitudes y unidades de calor.
- Principales magnitudes y unidades de electricidad y magnetismo.
- Principales magnitudes y unidades de luz y radiaciones electromagnéticas.
- Principales magnitudes y unidades de acústica.
- Principales magnitudes y unidades de físico-química y física molecular.
- Principales magnitudes y unidades de física atómica y física nuclear.
- Principales magnitudes y unidades de reacciones nucleares y radiaciones ionizantes.

Para el propósito de este trabajo se resumen las principales magnitudes y unidades **del campo de espacio y de tiempo**, así como las del **campo de mecánica**.

Tabla 8 Principales magnitudes y unidades de espacio y tiempo

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Símbolo de las unidades SI
Longitud Ancho Altura Espesor Radio Diámetro Longitud de trayectoria	l, (L) b h d, δ r d, D s	m
Área o superficie	A, (S)	m ²
Volumen específico	V	m ³
Velocidad	u, v, w, c	m/s
Aceleración Aceleración de caída libre, aceleración debida a la gravedad	a g	m/s ²
Ángulo plano	α , β , γ , ν , φ	rad
Ángulo sólido	Ω	sr
Velocidad angular	ω	rad/s
Aceleración angular	α	rad/s ²
Tiempo, intervalo de tiempo, duración	t	s

Tabla 9 Principales magnitudes y unidades de mecánica

Magnitud	Símbolo de la magnitud	Símbolo de las unidades SI
Momento segundo de área	Ia	m ⁴
Momento segundo polar de área	I _p	m ⁴
Módulo de sección	Z, w	m ³
Masa	m	kg
Densidad (masa volumétrica)	ρ	kg/m ³
Densidad relativa	d	Adimensional
Volumen específico	v	m ³ /kg
Densidad lineal	ρl	kg/m
Densidad superficial	ρ _A , (ρ _s)	kg/m ²
Viscosidad dinámica	η, (μ)	Pa·s
Viscosidad cinemática	ν	m ² /s
Gasto masa, flujo masa	qm	kg/s
Gasto volumen, flujo volumen	qv	m ³ /s
Cantidad de movimiento, momentum	P	kg·m/s
Momento de momentum, momento angular	L	kg·m ² /s
Momento de inercia (momento dinámico de inercia)	I, J	kg·m ²
Fuerza	F	N
Peso*	G, (P, W)	N
Constante gravitacional	G, (f)	N·m ² /kg ²
Momento de una fuerza	M	N·m
Momento torsional, momento de un par	T	N·m
Presión	P	Pa
Esfuerzo normal	σ	Pa
Esfuerzo al corte	τ	Pa
Módulo de elasticidad	E	Pa
Módulo de rigidez, módulo de corte	G	Pa
Módulo de Compresión	K	Pa
Relación de Poisson	μ	Adimensional
Compresibilidad	K	Pa ⁻¹
Tensión superficial	γ, σ	N/m
Trabajo	W, (A)	J
Energía	E, (W)	J
Energía potencial	E _p , V	J
Energía Cinética	E _k , K, T	J
Potencia	P	W

*El peso de un cuerpo en un determinado sistema de referencia se define como la fuerza que, aplicada al cuerpo, le proporciona una aceleración igual a la aceleración local de caída libre en ese sistema. Por lo tanto, si se tiene que expresar el peso, es necesario reportar la localización y la aceleración de la gravedad en ese sitio.

1.2.7. UNIDADES QUE NO DEBEN UTILIZARSE

Existen unidades que no pertenecen al SI, que tienen todavía cierto uso, algunas de ellas derivadas del sistema CGS, estas unidades no corresponden a ninguna de las categorías antes mencionadas y el Comité Internacional de Pesas y Medidas considera que en general es preferible evitar su uso, debido a que hacen perder la coherencia del SI, recomendándose utilizar en su lugar, las unidades correspondientes del SI. En la tabla 8 se dan algunos ejemplos de estas unidades.

Tabla. 10 Ejemplos de unidades que no deben utilizarse

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
Longitud	Fermi	Fm	10^{-15} m
	unidad x	unidad X	$1,002 \times 10^{-4}$ nm
Volumen	stereo	st	1 m^3
Masa	quilate métrico	CM	2×10^{-4} kg
Viscosidad dinámica	poise	P	0,1 Pa. s
Viscosidad cinemática	stokes	St	$10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
Fuerza	kilogramo fuerza	Kgf	9,80665 N
	dina	Dyn	10^{-5} N
Presión	torr	--	133,322 Pa
Energía	caloría	Cal	4,186 8 J
	erg	Erg	10^{-7} J
Intensidad de campo magnético	oersted	Oe	$(1000 / 4\pi) \text{ A/m}$
Flujo magnético	maxwell	Mx	10^{-8} Wb
Inducción	gauss	Gs, G	10^{-4} T
	gamma	--	10^{-9} T
Luminancia	stilb	sb	10^4 cd/m^2
Luminosidad	phot	ph	10^4 lx

1.2.8. PREFIJOS

La CGPM adoptó una serie de nombres y símbolos de prefijos para formar los múltiplos y submúltiplos decimales que cubren el intervalo de 10^{-24} a 10^{24} . La tabla 11 contiene los nombres, símbolos y los valores correspondientes a dichos prefijos.

1.2.8.1. Múltiplo de unidad

Unidad grande de medida que se forma a partir de una unidad determinada de acuerdo a un escalonamiento convencional.

Ejemplos:

- Uno de los múltiplos del metro es el kilómetro;
- Uno de los múltiplos no decimales del segundo es la hora.

1.2.8.2. Submúltiplo de una unidad de medida:

Una unidad pequeña de medida que se forma de una unidad determinada de acuerdo a un escalonamiento convencional.

Ejemplo:

- Uno de los submúltiplos decimales del metro es el milímetro.

Tabla 11. Prefijos para formar múltiplos y submúltiplos

Nombre	Símbolo	Valor
Yotta	Y	$10^{24} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
Zetta	Z	$10^{21} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
Exa	E	$10^{18} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
Peta	P	$10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000$
Tera	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$
Giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
Mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
Kilo	k	$10^3 = 1\,000$
Hecto	h	$10^2 = 100$
Deca	da	$10^1 = 10$
Deci	d	$10^{-1} = 0,1$
Centi	c	$10^{-2} = 0,01$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$
Femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$
Atto	a	$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$
Zepto	z	$10^{-21} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$
Yocto	y	$10^{-24} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$

1.2.9. EQUIVALENCIAS

Se presentan aquí las equivalencias entre unidades del SI y unidades de uso común, así como con las unidades del Sistema Inglés. Ver Tablas 12 y 13.

Tabla 12. Equivalencias entre las unidades de uso común y las usuales SI.

Nombre	Unidades de uso común	Unidades SI
Volumen	1L, l	1,0 dm ³
Fuerza	1 kg 1 t	9,81 N 9,81 kN
Presión, tensión	1 kg/cm ² 1 kg/m ² 1 t/m ² 1 kg/m ² 1 kg/cm ²	9,81 N/cm ² 9,81 N/m ² 0,9810 N/cm ² 9,81 Pa 0,0981 MPa
Trabajo, energía	1 cal	4,186 J
Momento de una fuerza	1 kg·m 1 t·cm	9,81 N·m 9,81 kN·cm
Temperatura	Temperatura en °C (T _{°C})	(T _{°C} + 273,15)K

Tabla 13. Equivalencias entre las unidades del Sistema Inglés y las Unidades SI.

Nombre	Unidades de uso común	Unidades SI
Longitud	1 in	2,540 cm
	1 ft	0,304 8 m
	1 yd	0,914 4 m
	1 mi	1,609 km
Superficie	1 in ²	6,452 cm ²
	1 ft ²	0,092 9 m ²
	1 acre	4 046,873 m ²
Momento de inercia de una superficie	1 in ⁴	41,62 cm ⁴
Volumen	1 ft ³	0,028 32 m ³
	1 in ³	16,39 cm ³
	1 gal	3,785 dm ³
	1 qt	0,946 4 dm ³
Velocidad	1 in/s	2,54 cm/s
	1 ft/s	0,3048 m/s
	1 mi/h (mph)	0,447 m/s
	1 mi/h (mph)	1,609 km/h
Aceleración	1 m/s ²	0,025 4 m/s ²
	1 ft/s ²	0,304 8 m/s ²
Masa	1 oz	28,35 g
	1 lb	0,453 6 g
	1 slug	14,59 kg
	1 t _{ingl}	907,2 kg
Momento de inercia de una masa	1 lb·s ²	1,356 kg·m ²
Densidad, masa volumétrica	1 lb/ft ³	16,084 6 kg/m ³
Cantidad de movimiento	1 lb·ft/s	1,356 N·m/s
Fuerza	1 oz	0,278 N
Presión o tensión	1 lb/ft ²	47,88 Pa
	1 lb/in ² (psi)	6,895 kPa
Momento de una fuerza	1 lb·in	11,3 N·cm
	1 lb·ft	1,356 N·m
Trabajo, energía	1 lb·ft	1,356 J
Potencia, flujo magnético	1 lb·ft/s	1,356 W
	1 hp	1,356 W
Temperatura	Temperatura en °F (T _{°F})	((T _{°F} + 459,67)/1,8)K

1.2.10. REGLAS GENERALES PARA LA ESCRITURA DE LOS SÍMBOLOS DE LAS UNIDADES DEL SI

Los símbolos de las unidades deben ser expresados en caracteres romanos (times new roman), en general, minúsculas, con excepción de los símbolos que se derivan de nombres propios, en los cuales se utilizan caracteres romanos en mayúsculas. Ejemplo: m (metro), kg (kilogramo), K (kelvin), A (ampere).

No se colocará punto después del símbolo de las unidades, a menos que éste sea gramatical.

Los símbolos de las unidades no deben pluralizarse 8 kg, 9 m, no 8kgs, 9ms

El signo de multiplicación para indicar el producto de dos ó más unidades debe ser de preferencia un punto. Este punto puede suprimirse cuando la falta de separación de los símbolos de las unidades que intervengan en el producto, no se preste a confusión. Ejemplos: N·m o Nm, también m·N pero no: mN que se confunde con milinewton, submúltiplo de la unidad de fuerza, con la unidad de momento de una fuerza o de un par (newton metro)

Cuando una unidad derivada se forma por el cociente de dos unidades, se puede utilizar una línea inclinada, una línea horizontal o bien potencias negativas. Ejemplos: m/s o ms⁻¹ para designar la unidad de velocidad: metro por segundo.

No debe utilizarse más de una línea inclinada a menos que se agreguen paréntesis. En los casos complicados, deben utilizarse potencias negativas o paréntesis. Ejemplo: m/s² ó m·s⁻², pero no: m/s/s; m·kg/(s³·A) ó m·kg·s⁻³·A⁻¹, pero no: m·kg/s³/A.

Los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman anteponiendo al nombre de éstas, los prefijos correspondientes con excepción de los nombres de los múltiplos y submúltiplos de la unidad de masa en los cuales los prefijos se anteponen a la palabra "gramo". Ejemplos: dag, Mg (decagramo; megagramo) ks, dm (kilosegundo; decímetro)

Los símbolos de los prefijos deben ser impresos en caracteres romanos (rectos), sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad. Ejemplos: mN (milinewton) y no: m N

Si un símbolo que contiene a un prefijo está afectado de un exponente, indica que el múltiplo de la unidad está elevado a la potencia expresada por el exponente. Ejemplos:

$$1 \text{ cm}^3 = (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1}$$

Los prefijos compuestos deben evitarse. Ejemplo: 1 nm (un nanómetro) es correcto, pero no: 1 mµm (un milimicrómetro)

1.2.11. REGLAS GENERALES PARA LA ESCRITURA DE LOS NÚMEROS Y SU SIGNO DECIMAL

1.2.11.1. Números

Los números deben ser generalmente impresos en tipo romano. Para facilitar la lectura de números con varios dígitos, éstos deben ser separados en grupos apropiados preferentemente de tres, contando del signo decimal a la derecha y a la izquierda, los grupos deben ser separados por un pequeño espacio, nunca con una coma, un punto, o por otro medio.

1.2.11.2. Signo decimal

El signo decimal debe ser una coma sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero.

1.3. NORMA MEXICANA PARA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYE

La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización establece los lineamientos para la creación de las normas mexicanas, que son de carácter voluntario. Bajo este marco legal se crea la norma mexicana que contiene los requisitos de calibración que deben cumplir las máquinas de aplicación y medición de fuerza empleadas para el ensaye de materiales de construcción, denominada Norma Mexicana NMX – CH – 27 – 1994 – SCFI "Verificación de Máquinas de Ensaye uniaxiales – Máquinas de Ensaye a la Tensión.

Este subcapítulo contiene un extracto de la norma mexicana NMX-CH-27-1994-SCFI "Verificación de Máquinas de Ensaye uniaxiales – Máquinas de Ensaye a la Tensión", con los puntos más relevantes para los propósitos de este trabajo.

1.3.1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

Establecer los requisitos de calibración que deben satisfacer las máquinas de ensaye usadas en pruebas a tensión, tanto en su funcionamiento general como de su sistema de medición.

1.3.2 INSPECCIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA DE ENSAYE

La inspección debe realizarse solamente si la máquina está en buenas condiciones de trabajo.

Debe realizarse una inspección general de la máquina antes de verificar el sistema de medición de fuerza.

La inspección general de la máquina de ensaye debe realizarse antes de verificar la máquina y debe comprender lo siguiente:

1.3.2.1. Examen visual

El examen visual debe verificar:

Que la máquina esté en buenas condiciones de trabajo y no esté afectada por aspectos de su condición general, tales como:

- Desgaste pronunciado o defectos en los elementos que guían el cabezal o agarraderas,
- Holgura en el montado de las columnas y cabezales fijos.

Que la máquina no esté afectada por condiciones ambientales (vibración, efectos de corrosión, variaciones de temperatura del local donde se encuentra instalada y otras)

Si se usan masas pendulares que éstas sean correctamente identificables.

1.3.2.2. Inspección de la estructura de la máquina

Se debe hacer una verificación para asegurarse que la estructura y el sistema de agarraderas permiten que la fuerza sea aplicada axialmente.

1.3.2.3. Inspección del mecanismo de manejo de los cabezales

Debe verificarse que el mecanismo de manejo de los cabezales permita una variación uniforme y suave de la fuerza para obtener varias fuerzas discretas con suficiente exactitud.

El mecanismo de manejo debe, permitir que se cumpla con las velocidades de deformación de la pieza de prueba especificada para la determinación de las diversas propiedades mecánicas.

1.3.2.4. Verificación del sistema de medición de fuerza

Esta verificación debe realizarse para cada uno de los intervalos de fuerza usados, con el indicador de fuerza más frecuentemente empleado. Los dispositivos y accesorios mecánicos (aguja, registrador y otros) que puedan afectar el sistema de medición de fuerza, cuando se usan, deben ser verificados de acuerdo con lo establecido.

Si la máquina de ensaye tiene diversos sistemas de medición de fuerza, cada sistema debe ser considerado como una máquina de ensaye separada. El mismo procedimiento debe seguirse para máquinas hidráulicas de doble pistón.

La verificación debe realizarse utilizando instrumentos probadores de fuerza o, en el caso de máquinas de ensayo de bajo alcance (fuerzas pequeñas ≤ 500 N), se pueden utilizar masas conocidas. En este último caso, el informe debe proporcionar el valor de la aceleración local de la gravedad (véase Nota 1).

La verificación en general, debe realizarse con una fuerza indicada constante F_i . Cuando este método no es aplicable, la verificación puede realizarse con una fuerza verdadera constante F (véase Nota 2).

Nota 1: Cuando se verifique la máquina a tensión y no se cuente con instrumentos probadores de fuerza a tensión, puede realizarse con instrumentos probadores de fuerza de comprensión indicándolo en el informe de verificación.

Nota 2: Cuando la máquina lo permita, todas las verificaciones deben realizarse con una fuerza que se incremente lentamente. La palabra constante significa que el mismo valor " F_i " o " F " se usa para las 3 series de medición.

Los instrumentos probadores de fuerza deben cumplir con los requisitos especificados en la Norma Mexicana NMX-CH-23-SCFI vigente.

1.3.2.5. Verificación de los accesorios

Se debe verificar el buen funcionamiento de la máquina y la resistencia debido a la fricción de los dispositivos accesorios mecánicos (aguja, registrador) por uno de los siguientes métodos dependiendo de cuando la máquina se usa normalmente con o sin accesorios

a) Máquina normalmente usada con accesorios

Se deben realizar 3 series de mediciones con fuerza ascendente con los accesorios conectados para cada intervalo de medición usado y una serie complementaria de mediciones sin accesorios en el intervalo más pequeño.

b) Máquina normalmente usada sin accesorios

Se deben realizar 3 series de mediciones con fuerza ascendente con los accesorios desconectados en cada intervalo de medición usado y una serie complementaria de mediciones con los accesorios conectados en el intervalo más pequeño.

En ambos casos el error relativo de exactitud "q" se debe calcular en las 3 series normales de mediciones; el error relativo de repetibilidad "b" debe calcularse de las 3 series. Los valores obtenidos de "b" y "q" deben estar de acuerdo a lo establecido en la Tabla 14 para la clase bajo consideración, y adicionalmente debe satisfacer la siguiente condición:

c) **Verificación con fuerza indicada constantemente**

$$\left| \frac{F_i - F_c}{F_c} \right| \leq 1,5|q|^{(1)}$$

d) **Verificación con fuerza verdadera constante:**

$$\left| \frac{F_{ic} - F}{F} \right| \leq 1,5|q|^{(1)}$$

1) El valor de "q" está establecido en la Tabla 14.

En donde:

F_i = Lectura del indicador de la máquina de ensaye verificada cuando se aplica fuerza de prueba ascendente

F_c = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente, para las series complementarias de mediciones del intervalo más pequeño que se utiliza.

F_{ic} = Lectura del indicador de la máquina de ensaye verificada cuando se aplica fuerza de prueba ascendente, para las series complementarias de mediciones del intervalo más pequeño que se utiliza.

F = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

1.3.2.6. Verificación del efecto de diferencias en posición del pistón

Para máquinas hidráulicas, donde la presión hidráulica de la envoltura se usa para asegurar la fuerza de prueba, se debe verificar la influencia de una diferencia en posición del pistón para el intervalo más pequeño de medición de la máquina usada, durante las 3 series de mediciones (1.4.5), la posición del pistón debe ser diferente para cada serie de mediciones.

Nota: en el caso de una máquina hidráulica de doble pistón, es necesario considerar ambos pistones.

Determinación del error relativo de reversibilidad

Esta determinación debe realizarse a solicitud de parte.

El Error relativo de reversibilidad es la diferencia entre los valores obtenidos con fuerza descendente y fuerza ascendente, se determina realizando una verificación a la misma fuerza discreta, primero con fuerzas ascendentes y luego con fuerzas

descendentes, y se calcula usando la ecuación siguiente. Asimismo, la máquina debe también ser calibrada con una fuerza descendente.

$$u = \frac{F - F'}{F} \cdot 100$$

Para el caso particular de verificación realizada sin una fuerza verdadera constante

$$u = \frac{F_i' - F_i}{F} \cdot 100$$

En donde:

u = Error relativo de reversibilidad

F = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

F' = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba descendente.

F_i' Lectura del indicador de la máquina de ensaye a ser verificada cuando se aplica fuerza de prueba descendente.

Esta verificación debe realizarse en el intervalo más alto y más bajo de la máquina de prueba.

1.3.2.7. Resolución del indicador de la máquina

Escala analógica.

El espesor de las marcas de graduación sobre la escala debe ser uniforme y el ancho de la aguja debe ser aproximadamente igual al ancho de la marca de graduación.

La resolución "r" del indicador se obtiene de la relación entre el ancho de la aguja y la distancia centro a centro entre dos marcas adyacentes de graduación de la escala (división de la escala). Las relaciones recomendadas son, 1/5 o 1/10, requiriéndose un espacio de 2,5 mm o mayor para la estimación de un décimo de división de la escala.

Escala digital

La resolución se considera como un incremento de un número en el indicador numérico, considerando que la indicación no fluctúa por más de un incremento cuando el instrumento se descarga.

Variación de las lecturas

Si las lecturas varían por más del valor previamente calculado para la resolución (con el instrumento descargado), la resolución "r" debe ser tomada igual a la mitad del intervalo de fluctuación.

Unidades

La resolución debe expresarse en unidades de fuerza.

1.3.2.8. Verificación previa de la resolución relativa del indicador de fuerza

La resolución relativa del indicador de fuerza, se define por la siguiente relación:

$$a = \frac{r}{F} \cdot 100$$

En donde:

- a = es la resolución relativa del indicador de fuerza
- r = es la resolución definida en 1.3.2.7.
- F = es la fuerza en el punto bajo consideración.

La resolución relativa "a" debe ser verificada en todas las fuerzas discretas de la escala, arriba del primer quinto del alcance de la escala. La resolución relativa no debe exceder del valor dado en la Tabla 14 para la clase de máquina que está siendo verificada.

La verificación puede realizarse con un límite menor a un quinto del alcance de la escala de medición y se le puede asignar una clase a la máquina si cumple con los requisitos en la Tabla 14.

1.3.3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

a) Alineación del instrumento probador de fuerza

El instrumento probador de fuerza debe instalarse de tal manera que asegure la aplicación axial de la fuerza.

b) Compensación por temperatura

Se debe proporcionar un periodo de tiempo (a criterio del técnico, considerando tipo de patrón, temperatura ambiente de la máquina) para que el instrumento probador de fuerza alcance una temperatura estable, que debe ser registrada. Si es necesario, se aplican correcciones a la lectura (véase NMX-CH-23).

c) Acondicionamiento de la máquina de ensaye

La máquina, con el instrumento probador de fuerza en posición, debe cargarse por lo menos 3 veces entre el cero y la fuerza máxima que se va a medir.

d) Método de prueba

El método usado es el siguiente: se aplica a la máquina una fuerza F dada mostrada en el indicador de fuerza y se anota la fuerza verdadera F indicada por el instrumento probador de fuerza.

Si no es posible usar este método se aplica a la máquina la fuerza verdadera F indicada en el instrumento probador de fuerza y se anota la fuerza F_i mostrada en el indicador de fuerza de la máquina verificada.

e) Aplicación de fuerzas de prueba

Se deben realizar 3 series de mediciones con fuerza ascendente. Cada serie debe contener mediciones de por lo menos 5 fuerzas discretas distribuidas entre los límites, inferior y superior del alcance de medición, la primera fuerza debe estar en el límite inferior y la última tan cercana como sea posible al límite superior. Se recomienda que, donde sea posible, la posición del instrumento probador de fuerza se modifique antes de la tercera serie de modificaciones rotándola un ángulo de 90° o 180° .

Para cada fuerza discreta, se debe calcular la media aritmética de los valores obtenidos para cada serie de mediciones. De estos valores medios, se debe calcular el error relativo de exactitud y el error relativo de repetibilidad del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensaye.

El cero de la escala de máquina, se debe ajustar antes de cada serie de mediciones. En el caso de un indicador analógico, debe verificarse que la aguja se balancee libremente alrededor del cero y si se usa un indicador digital, que cualquier caída abajo del cero sea inmediatamente registrada, por ejemplo con un indicador de signo (± 0).

1.3.4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

1.3.4.1. Error relativo de exactitud

El error relativo de exactitud es la diferencia entre la fuerza indicada por la máquina y el promedio de varios valores del patrón para la misma fuerza discreta, expresada como porcentaje de la fuerza promedio del patrón \bar{F} ; en este caso se dice que la máquina rige el proceso de calibración, y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \cdot 100$$

Cuando en el proceso de calibración rige el patrón, el error relativo de exactitud se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \cdot 100$$

En donde:

q = Error relativo de exactitud del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensaye.

F = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

\bar{F}_i = es la media aritmética de varias mediciones de F_i para la misma fuerza discreta.

\bar{F} es la media aritmética de varias mediciones de F para la misma fuerza discreta.

1.3.4.2. Error relativo de repetibilidad

El error relativo de repetibilidad es, para cada fuerza discreta, la diferencia entre los valores más altos y más bajos medidos con respecto al promedio de estos valores, expresado en porcentaje. En este caso se dice que en el proceso de calibración rige la máquina. Se calcula con la siguiente ecuación;

$$b = \frac{F_{max} - F_{min}}{\bar{F}} \cdot 100$$

Cuando en el proceso de calibración rige el patrón, el error relativo de repetibilidad se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$b = \frac{F_{imax} - F_{imin}}{F} \cdot 100$$

En donde:

b = Error relativo de repetibilidad del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensaye.

F_{max} = es el valor mas alto de F para la misma fuerza discreta

F_{min} = es el valor mas bajo de F para la misma fuerza discreta

F_{imax} = es el valor mas alto de F_i para la misma fuerza discreta

F_{imin} = es el valor mas bajo de F_i para la misma fuerza discreta

F = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

\bar{F} = es la media aritmética de varias mediciones de F para la misma fuerza discreta.

1.3.4.3. Error relativo de cero

Es la diferencia de la lectura de cero antes de aplicar la carga y la lectura de cero después de aplicar y retirarla, expresado en por ciento con respecto al alcance máximo de medición del indicador de fuerza de la maquina de ensaye.

El cero debe ajustarse antes de iniciar cada serie y registrarse aproximadamente 30s después de que la fuerza se ha dejado de aplicar.

El error relativo de cero se calcula usando la siguiente ecuación

$$F_o = \frac{F_{of} - F_{oi}}{F_N} \cdot 100$$

En donde:

F_o = Error relativo de cero de la maquina de ensaye.

F_{of} = es la lectura del indicador de la máquina 30s después de retirada la carga.

F_{oi} = es la lectura del indicador de la máquina antes de aplicar la carga.

F_N = es el valor correspondiente al alcance máximo de medición de la máquina.

1.3.4.4. Error relativo de reversibilidad

Es la diferencia entre la fuerza ascendente y la descendente, expresada en por ciento con respecto a la fuerza ascendente y se calcula con la siguiente ecuación.

$$u = \frac{F - F'}{F} \cdot 100$$

Para el caso particular de verificación realizada sin una fuerza verdadera constante

$$u = \frac{F'_i - F_i}{F} \cdot 100$$

Esta determinación se realiza únicamente a petición de parte

En donde:

u = Error relativo de reversibilidad

F = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

F' = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba descendente.

F_i' = Lectura del indicador de la máquina de ensaye a ser verificada cuando se aplica fuerza de prueba descendente.

F = es la fuerza en el punto bajo consideración.

1.3.5. CLASIFICACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYE

En la Tabla 14 se da la denominación por clase de las máquinas de ensaye de acuerdo con los valores máximos permisibles para diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza.

Un alcance de medición del indicador de fuerza debe considerarse apropiado si la inspección es satisfactoria para el alcance nominal.

Tabla 14. Clasificación de máquinas de ensaye

Clase de máquina	Máximo valor permisible %				Resolución Relativa a
	Error relativo de				
	Exactitud q	Repetibilidad b	Reversibilidad* d	Cero f _o	
0	±0,5	0,5	0,75	±0,05	0,25
1	±1,0	1,0	1,5	±0,1	0,5
2	±2,0	2,0	3,0	±0,2	1,0
3	±3,0	3,0	4,5	±0,3	1,5

*La verificación de la reversibilidad debe ser realizada a solicitud de parte.

1.3.6. INFORME DE VERIFICACIÓN

El informe de verificación debe contener como mínimo, la siguiente información:

1.3.6.1. Información General:

- Referencia a esta Norma
- Identificación de la máquina de ensaye (marca, tipo, número de serie, año de manufactura.)
- Localización de la máquina
- Tipo y número de referencia del instrumento probador de fuerza utilizado, número de certificado de calibración y fecha de caducidad de dicho certificado
- Fecha de verificación
- Nombre o marca de la entidad verificadora

1.3.6.2. Resultados de la verificación:

- Cualquier anomalía encontrada durante la inspección general
- Para cada sistema de medición de fuerza utilizado, la clase de cada intervalo verificado y si se solicitan, los valores discretos de los errores relativos de exactitud, reversibilidad y cero.
- El límite inferior de cada intervalo a la cual la evaluación se aplica.

1.3.7. INTERVALOS ENTRE VERIFICACIONES

El tiempo entre dos verificaciones dependerá del tipo de máquina de ensaye, del nivel de mantenimiento y uso de la máquina bajo circunstancias normales; se recomienda que la verificación se realice a intervalos que no excedan de 12 meses.

En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se mueve de un lugar a otro y se requiera su desmantelamiento o bien si se sujeta a reparaciones o ajustes mayores

1.4. NORMA MEXICANA PARA CALIBRACIÓN DE PATRONES DE FUERZA

La Ley Federal Sobre Metrología y Normalización establece los lineamientos para la creación de las normas mexicanas, que son de carácter voluntario. Bajo este marco legal se crea la norma mexicana, que contiene los requisitos de calibración que deben cumplir los patrones empleados para la calibración de las máquinas de aplicación y medición de fuerza, denominada Norma Mexicana NMX – CH – 23 – 1994 – SCFI “Calibración de Instrumentos Probadores de Fuerza Usados para la Verificación de Máquinas de Ensaye Uniaxiales”.

Este subcapítulo contiene un extracto de la norma mexicana NMX-CH-23-1994-SCFI “Calibración de Instrumentos Probadores de Fuerza Usados para la Verificación de Máquinas de Ensaye Uniaxiales”, con los puntos más relevantes para los propósitos de este trabajo.

1.4.1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los requisitos para la calibración de instrumentos probadores de fuerza usados para la verificación de máquinas de ensaye uniaxiales.

1.4.2. PRINCIPIO

La calibración consiste en aplicar fuerzas conocidas al elemento de carga y registrar los datos obtenidos en el sistema de medición de deflexión, el cual se considera como parte integral del instrumento probador de fuerza.

Cuando se hace una medición eléctrica, el indicador puede ser reemplazado por un indicador que tenga una incertidumbre igual de medición.

1.4.3. VERIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO MEDIDOR DE FUERZA

Antes de realizar la calibración del instrumento probador de fuerza, debe asegurarse de que el instrumento está en condiciones de ser calibrado. Esto se puede hacer por medio de pruebas preliminares como las que se dan a continuación:

1.4.3.1. Verificación por sobrecarga

El instrumento se somete 4 veces sucesivas a una sobrecarga, la cual excede la máxima fuerza en un mínimo de 8% y un máximo de 12%.

La sobrecarga se mantiene por un periodo de 1 a 1½ min.

1.4.3.2. Verificación de la aplicación de fuerzas

Debe tenerse la seguridad de que:

- El sistema que sujeta el instrumento probador de fuerza permita la aplicación axial de carga cuando el instrumento se use para ensayo a la tensión;
- No haya interacción entre el transductor de fuerza y su soporte sobre la máquina de calibración cuando el instrumento se use para ensayo en compresión.

1.4.3.3. Verificación por variación de la tensión eléctrica

Esta prueba se deja al criterio del servicio de calibración. Para los instrumentos probadores de fuerza que necesitan un suministro de energía eléctrica para los circuitos eléctricos conectados, debe verificarse que no tengan un efecto significativo cuando se varía la tensión eléctrica de la línea $\pm 100\%$. Esta verificación se puede realizar por medio de un simulador del transductor de fuerza o por otro medio apropiado.

1.4.3.4. Resolución del indicador

a) Escala analógica

El ancho de las marcas de graduación sobre la escala debe ser uniforme y el ancho del índice (aguja indicadora) debe ser aproximadamente igual al ancho de una marca de graduación.

La resolución "r" del indicador (aguja indicadora) debe obtenerse de las relaciones entre el ancho de la aguja indicadora y la distancia entre dos marcas adyacentes de la escala de graduación (intervalo de la escala), las relaciones recomendadas son: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$ ó $\frac{1}{10}$; se requiere un espacio entre marcas de la escala de graduación de 1,25 mm o más para la estimación de un décimo de la división de la escala.

b) Escala digital

La resolución se considera como el incremento del último número activo del indicador numérico, si las indicaciones no fluctúan más de un incremento cuando el instrumento está descargado.

c) Variación de las lecturas

Si las lecturas fluctúan en más del valor calculado previamente para la resolución (con el instrumento descargado) la resolución debe ser considerada como igual a la mitad del intervalo de fluctuación.

d) Unidades

La resolución debe convertirse a unidades de fuerza.

1.4.3.5. Fuerza mínima

Tomando en consideración la exactitud con la cual se puede leer el instrumento en el momento de la calibración o durante el uso subsecuente para la verificación de máquinas de ensaye, la fuerza mínima aplicada a un instrumento probador de fuerza debe cumplir con las dos condiciones siguientes:

La fuerza mínima debe ser mayor o igual a:

2000 x r para la clase 0

1000 x r para la clase 1

500 x r para la clase 2

La fuerza mínima debe ser igual o mayor a 0,02 F_r (capacidad máxima del transductor).

1.4.3.6. Evaluación del instrumento probador de fuerza

a) Error relativo de repetibilidad, b

El error relativo de repetibilidad es, para cada fuerza de calibración, la diferencia entre el valor más alto y el más bajo con respecto al promedio. Se calcula usando la siguiente ecuación:

$$b = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\bar{X}} \cdot 100$$

Donde:

b = Error relativo de repetibilidad del instrumento de medición de fuerza.

X_{max} = es el valor mas alto del patrón sujeto a calibración para la misma fuerza verdadera.

X_{min} = es el valor mas bajo del patrón sujeto a calibración para la misma fuerza verdadera.

\bar{X} = (X₁ + X₂ + X₃)/3. Promedio de los tres valores del instrumento de medición para la misma fuerza verdadera constante

b) Error relativo de interpolación, f_c

Es la desviación que se obtiene de restar la lectura corregida del patrón sujeto a calibración, al valor de la lectura directa del patrón, expresado en por ciento con respecto a la fuerza verdadera. Se determina usando una ecuación de primer, segundo o tercer grado que proporcione la deflexión en función de la fuerza de calibración. La ecuación usada se debe indicar en el informe de calibración.

$$F_c = \frac{\bar{X} - X_a}{X_a} \cdot 100$$

Donde:

F_c = Error relativo de interpolación del instrumento de medición de fuerza.

\bar{X} = es el valor promedio de lecturas del patrón sujeto a calibración para una misma fuerza verdadera constante.

X_a = es el valor obtenido de la ecuación para la misma fuerza verdadera constante.

c) Error relativo de cero, f_0

Es la diferencia de la lectura de cero antes de aplicar la carga y la lectura de cero después de aplicar y retirarla, expresado en por ciento con respecto al alcance máximo de medición del indicador de fuerza del patrón sujeto a calibración.

El cero debe ajustarse antes de iniciar cada serie y registrarse aproximadamente 30 s después de que la fuerza se ha dejado de aplicar.

El error relativo de cero se calcula de la siguiente ecuación:

$$F_0 = \frac{X_{if} - X_{i0}}{X_n} \cdot 100$$

En donde:

F_0 = Error relativo de cero del instrumento sujeto a calibración.

X_{if} = es la lectura del instrumento 30 s después de retirada la carga.

X_{i0} = es la lectura del instrumento antes de aplicar la carga.

X_n = es el valor correspondiente al alcance máximo de medición del instrumento.

d) Error relativo de reversibilidad, μ

Es la diferencia entre la fuerza ascendente y la descendente, expresada en por ciento con respecto a la fuerza ascendente y se calcula con la siguiente ecuación.

$$\mu = \frac{X' - X}{X} \cdot 100$$

Esta determinación se realiza únicamente cuando sea solicitado.

En donde:

μ = Error relativo de reversibilidad

X = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

X' = Lectura del indicador del instrumento sujeto a calibración cuando se aplica fuerza de prueba descendente.

1.4.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS PROBADORES DE FUERZA

b) Identificación del instrumento probador de fuerza

Todos los elementos del instrumento probador de fuerza (incluyendo los cables para conexión eléctrica) se deben identificar en forma individual y única, por ejemplo, por el nombre del fabricante, el modelo y el número de serie. Para el transductor de fuerza, se debe indicar la fuerza máxima de trabajo.

c) Aplicación de la fuerza

El transductor de fuerza debe estar diseñado de modo que permita la aplicación axial de fuerza, ya sea a tensión o a compresión.

d) Medición de la deflexión

La medición de la deflexión del elemento de carga del transductor de fuerza, puede realizarse por medios mecánicos, eléctricos, ópticos u otro medio, con la exactitud y estabilidad adecuadas.

El tipo y calidad del sistema de medición de deflexión determina si el instrumento probador de fuerza se clasifica sólo para fuerzas específicas de calibración o para interpolación.

Generalmente, el uso de instrumentos probadores de fuerza con indicadores de carátula para la medición de la deflexión se limita a fuerzas a las cuales se calibra el instrumento. De hecho el indicador de carátula se usa en una carrera larga y puede contener errores periódicos localizados que producen una incertidumbre

demasiado grande como para permitir la interpolación entre fuerzas de calibración. Sin embargo, puede usarse para interpolación si se han determinado previamente las características del indicador de carátula, y su error periódico tiene una influencia despreciable sobre el error de interpolación del instrumento probador de fuerza.

1.4.5. CLASIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO PROBADOR DE FUERZA

a) Principio de clasificación

El intervalo para el cual el instrumento probador de fuerza se clasifica, se determina considerando cada fuerza de calibración una a una, empezando con la máxima fuerza y descendiendo de esta hasta la fuerza de calibración más baja. El intervalo de calibración termina en la última fuerza en la cual se satisfacen los requisitos de clasificación.

Los instrumentos probadores de fuerza pueden ser clasificados ya sea para fuerzas específicas ó para interpolación.

Criterio de clasificación

El intervalo de clasificación de un instrumento probador de fuerza debe cubrir por lo menos un intervalo de 50% a 100% de F_n .

Para instrumentos clasificados únicamente para fuerzas específicas, se debe tomar en consideración el siguiente criterio:

- El error relativo de repetibilidad;
- El error relativo de cero;
- El error relativo de reversibilidad, cuando sea requerido.

Para instrumentos clasificados para interpolación, se deben tomar en consideración los siguientes criterios:

- El error relativo de repetibilidad;
- El error relativo de interpolación;
- El error relativo de cero;
- El error relativo de reversibilidad, cuando sea requerido.

La Tabla 15 proporciona los valores de estos diferentes parámetros de acuerdo con la clase del instrumento probador de fuerza y con la incertidumbre de las fuerzas de calibración.

Tabla 15. Características de los instrumentos probadores de fuerza

Clase	Valores máximos permisibles del instrumento Probador de fuerza				Fuerza de calibración
	Error relativo				Incertidumbre (%)
	De repetibilidad b	De interpolación f_c	De Cero f_o	De Reversibilidad * μ	
0	0,10	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	0,15	$\pm 0,025$
1	0,20	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	0,30	$\pm 0,05$
2	0,40	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	0,50	$\pm 0,10$
3	0,60	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$	0,80	$\pm 0,20$

* La verificación de reversibilidad debe ser realizada solo por solicitud.

b) Certificado de calibración y duración de validez

Si un instrumento probador de fuerza ha satisfecho los requisitos de esta norma en el momento de la calibración, el laboratorio de calibración correspondiente elaborará un informe de calibración que debe contener lo siguiente:

- La identidad de todos los elementos del instrumento probador de fuerza y de los accesorios de carga y de la máquina de calibración;
- El método de aplicación de la fuerza (tensión – compresión);
- Que el instrumento cumple con los requisitos de las pruebas preliminares;
- La clase y el intervalo (de fuerzas) de validez;
- Los resultados de la calibración y cuando se requiera la curva de calibración;
- La temperatura a la cual se realizó la calibración.

Para los propósitos de esta norma, el máximo período de validez de la calibración no debe exceder 24 meses.

Un instrumento debe ser recalibrado cuando se le ha aplicado una sobrecarga mayor a la carga de prueba o después de una reparación.

1.4.6. USO DE LOS INSTRUMENTOS PROBADORES DE FUERZA

Los instrumentos probadores de fuerza deben ser cargados de acuerdo con las condiciones en las cuales fueron calibrados. Deben tomarse precauciones para prevenir que no sean sometidos a fuerzas mayores a la máxima fuerza de calibración.

Los instrumentos clasificados solo para fuerzas específicas deben usarse solo para estas fuerzas.

Los instrumentos clasificados para interpolación pueden usarse para cualquier fuerza en el intervalo de calibración.

Si un instrumento probador de fuerza se usa a una temperatura diferente de la de calibración, la deflexión del instrumento debe, si es necesario, corregirse para cualquier variación de temperatura, de acuerdo con la ecuación.

$$D_t = D_c [1 + K (t - t_c)]$$

Donde:

D_t es la deflexión a la temperatura t en °C;

D_c es la deflexión a la temperatura de calibración t_c en °C;

K es el coeficiente de temperatura del instrumento, en grados Celsius, correspondiente.

Para instrumentos distintos a aquellos que tienen un transductor de acero con salida eléctrica, que contiene más de 7% de aleación, se puede usar el valor de $K = 0,000 27/°C$.

Para instrumentos hechos de material diferente del acero, o que incluyen transductores de fuerza con salida eléctrica, el valor K debe ser determinado experimentalmente y debe ser proporcionado por el fabricante. El valor usado debe ser declarado en el certificado de calibración del instrumento.

En la Tabla 16 se dan las correcciones de deflexión para instrumentos del primer tipo. Estas correcciones fueron obtenidas con $K = 0,000 27/°C$.

NOTA: Cuando el instrumento es de acero y la deflexión se mide en unidades de longitud, la corrección por temperatura es aproximadamente igual a 0,001 para cada variación de 4°C.

La mayoría de los transductores de fuerza con salidas eléctricas están térmicamente compensados. Generalmente, es suficiente medir la temperatura del dispositivo a 1°C.

Si la deflexión ha sido medida con un instrumento probador de fuerza a una temperatura mayor que la temperatura de calibración y se desea obtener la deflexión del instrumento para la temperatura de calibración, la corrección de deflexión dada en la tabla debe restarse de la deflexión medida.

Cuando la medición se realiza con un instrumento probador de fuerza a una temperatura menor que la temperatura de calibración la corrección debe sumarse.

Ejemplo:

Temperatura del instrumento probador de fuerza: 22°C deflexión observada: 729,6 divisiones.

Temperatura de calibración: 20°C

Variación de temperatura: +2°C

En la columna correspondiente a la variación de +2°C, la deflexión más cercana que excede 729,6 divisiones es 833 divisiones. Para este valor de deflexión, la tabla 16 da una corrección de 0,4 divisiones.

La división corregida es $729,6 - 0,4 = 729,2$ divisiones.

Tabla 16. Correcciones de deflexión para variaciones de temperatura de un instrumento probador de fuerza de acero (no aplica a transductor de fuerza con salidas eléctricas)

Correcciones de deflexiones (divisiones)	Variación de temperatura en relación con la temperatura de calibración							
	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C
Deflexiones máxima a las cuales se aplica la corrección (divisiones)								
0,0	185	92	61	46	37	30	26	23
0,1	555	277	185	138	111	92	79	69
0,2	925	462	308	231	185	154	132	115
0,3	1 296	648	432	324	259	216	185	162
0,4	1 666	833	555	416	333	277	238	208
0,5	2 037	1 018	679	509	407	339	291	254
0,6		1 203	802	601	481	401	343	300
0,7		1 388	925	694	555	462	396	347
0,8		1 574	1 049	787	629	524	449	393
0,9		1 759	1 172	879	703	586	502	439
1,0		1 944	1 296	972	777	648	555	486
1,1		2 129	1 419	1064	851	709	608	532
1,2			1 543	1157	925	771	661	578
1,3			1 666	1250	999	883	714	625
1,4			1 790	1342	1074	895	767	671
1,5			1 913	1435	1148	956	820	717
1,6			2 037	1527	1222	1018	873	763
1,7			2 160	1620	1296	1080	925	810
1,8				1712	1370	1141	978	856
1,9				1805	1444	1203	1031	902
2,0				1898	1518	1265	1084	949
2,1				1990	1592	1327	1137	995
2,2				2083	1666	1388	1190	1041
2,3					1740	1450	1243	1087
2,4					1814	1512	1296	1134
2,5					1888	1574	1349	1180

LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y ENSAYE DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

2. EL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y/O ENSAYE. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR

En México, para que un laboratorio proporcione servicios de calibración y/o ensaye a la industria, deberá estar acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (ema) dentro del marco de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con base en la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2000, la cual contiene los requisitos generales para evaluar la competencia de los laboratorios de calibración y de ensaye de tal manera que cumplan con estos requisitos.

El laboratorio debe:

- Tener personal administrativo y técnico con la autoridad y recursos necesarios para llevar a cabo sus deberes y para identificar la ocurrencia de desviaciones al sistema de calidad o de los procedimientos para efectuar ensayos o calibraciones y efectuar acciones para prevenir o minimizar tales desviaciones (véase también 2.2.2).
- Tener disposiciones para asegurar que su dirección y personal estén libres de cualquier presión e influencia interna o externa indebida, comercial, financiera o de otro tipo, que pudieran influenciar adversamente la calidad de su trabajo;
- Tener políticas y procedimientos para asegurar la protección de la información confidencial y los derechos de propiedad de sus clientes, incluyendo procedimientos para proteger el almacenamiento y transmisión electrónica de resultados;
- Tener políticas y procedimientos para evitar involucrarse en cualquier actividad que pudiera disminuir la confianza en su competencia, imparcialidad, juicio o integridad operacional;
- Definir la organización y estructura administrativa del laboratorio, su lugar en cualquier organización filial y las relaciones entre la dirección de calidad, operaciones técnicas y servicios de apoyo;
- Especificar la responsabilidad, autoridad e interrelaciones de todo el personal que administra, efectúa o verifica el trabajo que afecta la calidad de los ensayos y/o calibraciones;
- Proporcionar supervisión adecuada al personal de ensaye y de calibración, incluido a los de capacitación, por personas familiarizadas con los métodos y procedimientos, propósito de cada ensaye y/o calibración y con la evaluación

de los resultados de los ensayos o calibraciones;

- Tener una dirección técnica que tenga responsabilidad total de las operaciones técnicas y la provisión de los recursos necesarios para asegurar la calidad requerida de las operaciones del laboratorio;
- Designar un miembro del personal como gerente de calidad (o como quiera llamarle), quien independientemente de otros deberes y responsabilidades, deberá tener definidas su responsabilidad y autoridad para asegurar que el sistema de calidad esté implantado y seguido en todo momento. El gerente de calidad deberá tener acceso directo al nivel más alto de la dirección en el cual se tomen las decisiones sobre las políticas y recursos del laboratorio;
- Designar personal sustituto del personal directivo clave.

2.1.2. SISTEMA DE CALIDAD

El laboratorio debe establecer, implantar y mantener un sistema de calidad apropiado al alcance de sus actividades. Debe documentar sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones en la extensión necesaria para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos y/o calibraciones que ejecuta. La documentación del sistema debe ser comunicada, entendida, estar disponible y ser implantada por el personal apropiado.

Las políticas y objetivos del sistema de calidad del laboratorio deben estar definidos en un manual de calidad (o como quiera llamarle.) El total de los objetivos deben documentarse en una declaración de política de calidad. La declaración de la política de calidad debe ser emitida bajo la autoridad del jefe ejecutivo. Esta debe incluir al menos lo siguiente:

- El compromiso de la dirección del laboratorio con la buena práctica profesional y con la calidad de sus ensayos y calibraciones en el servicio a sus clientes;
- La declaración de la dirección sobre la norma de servicio del laboratorio;
- Los objetivos del sistema de calidad;
- Un requisito de todo el personal relacionado con las actividades de ensayo y de calibración dentro del laboratorio, es que esté familiarizado con la documentación de calidad e implante las políticas y procedimientos en su trabajo; y
- El compromiso de la dirección del laboratorio de cumplir con esta norma mexicana.

La declaración de la política de calidad debe ser concisa y puede incluir el requisito de que los ensayos y/o calibraciones siempre se llevarán a cabo de

acuerdo con los métodos establecidos y con los requisitos de los clientes. Cuando el laboratorio de ensaye y/o calibración es parte de una organización más grande, algunos elementos de la política de la calidad pueden estar en otros documentos.

El manual de calidad debe incluir o hacer referencia a los procedimientos de apoyo, incluyendo procedimientos técnicos. Éste debe describir la estructura de la documentación usada en el sistema de calidad.

Las funciones y responsabilidades de la dirección técnica y del gerente de calidad, incluso su responsabilidad para asegurar el cumplimiento con esta norma mexicana, deben estar definidas en el manual de calidad.

2.1.3. CONTROL DE DOCUMENTOS

El laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para controlar todos los documentos que forman parte de su sistema de calidad (generado internamente o de fuentes externas), tales como regulaciones, normas, otros documentos normativos, métodos de ensaye y/o de calibración, así como dibujos, software, especificaciones, instrucciones y manuales.

En este contexto "documento" puede corresponder a declaraciones de política, procedimientos, especificaciones, tablas de calibración, gráficas, libros de texto, carteles, noticias, memorándums, software, dibujos, planos, etc. Estos pueden estar en medios diversos, ya sean copias en papel o electrónicas, pudiendo ser digitales, analógicas, fotográficos o escritos.

2.1.3.1. Aprobación y emisión de documentos

Todos los documentos emitidos para el personal del laboratorio, como parte del sistema de calidad, deberán ser revisados y aprobados por el personal autorizado antes de su emisión. Debe establecerse una lista maestra o un procedimiento de control de documentos equivalente y estar fácilmente accesible, para identificar el estado de revisión vigente y la distribución de los documentos en el sistema de calidad, para evitar el uso de documentos inválidos y/o obsoletos.

El(los) procedimiento(s) adoptado(s) debe(n) asegurar que:

- Estén disponibles las ediciones autorizadas de los documentos apropiados en todos los sitios donde se efectúen las operaciones esenciales para el funcionamiento efectivo del laboratorio;
- Los documentos sean periódicamente revisados y cuando sea necesario modificados, para asegurar su adecuación y cumplimiento continuo con los requisitos aplicables;
- Los documentos inválidos u obsoletos sean oportunamente removidos de todos los puntos de emisión o uso, o de otra manera, asegurados contra el

uso no intencional;

- Los documentos obsoletos retenidos para efectos legales o para propósitos de preservación del conocimiento estén identificados adecuadamente.

Los documentos del sistema de calidad generados por el laboratorio deben tener una identificación única. Tal identificación debe incluir la fecha de emisión y/o revisión, número de página, número total de páginas o una marca que indique el final del documento y la(s) autoridad(es) emisora(s).

2.1.3.2. Cambios en los documentos

Los cambios a los documentos deben ser revisados y aprobados por la misma función que desarrolló la versión original, a menos que se haya especificado otra cosa. El personal designado debe tener acceso a la información de respaldo pertinente sobre la cual se base su revisión y aprobación.

Cuando sea práctico, el nuevo texto o el cambiado deben ser identificados en el documento o en anexos apropiados.

Si el sistema de control de documentos del laboratorio permite enmiendas de documentos a mano, durante la nueva emisión de los mismos, se deben definir las autoridades y procedimientos para tales enmiendas. Las enmiendas deben estar claramente marcadas, rubricadas y fechadas. El documento revisado debe emitirse formalmente de nuevo, tan pronto como sea práctico.

Se deben establecer los procedimientos que describan cómo se hacen y controlan los cambios en los documentos mantenidos en sistemas computarizados.

2.1.4. REVISIÓN DE SOLICITUDES, OFERTAS Y CONTRATOS

El laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para la revisión de solicitudes, ofertas y contratos. Las políticas y procedimientos para esas revisiones que dan lugar a un contrato sobre ensaye y/o calibración, debe asegurar que:

- a) Los requisitos incluyendo los métodos que van a ser usados, estén adecuadamente definidos, documentados y entendidos.
- b) El laboratorio tiene la capacidad y recursos para cumplir los requisitos;
- c) Se selecciona el método de ensaye y/o calibración apropiado y capaz de cumplir los requisitos del cliente.

Cualquier diferencia entre la solicitud o la oferta y el contrato debe ser resuelta antes de que se inicie el trabajo. Cada contrato debe estar aceptado tanto por el laboratorio como por el cliente.

Se deben mantener registros de las revisiones, incluyendo cualquier cambio significativo. También se deben mantener los registros de las discusiones pertinentes con un cliente, relativas a sus requisitos o a los resultados del trabajo durante el periodo de ejecución del contrato.

Las revisiones también deben cubrir cualquier trabajo que sea subcontratado por el laboratorio.

El cliente debe ser informado sobre cualquier desviación del contrato.

Si un contrato necesita ser modificado después de que el trabajo ha comenzado, el mismo proceso de revisión del contrato debe ser repetido y cualquier modificación debe ser comunicada a todo el personal afectado.

2.1.5. SUBCONTRATACIÓN DE ENSAYOS Y CALIBRACIONES

Cuando un laboratorio subcontrata trabajo ya sea por razones imprevistas (por ej. sobrecarga de trabajo, necesidad de mayor experiencia o incapacidad temporal) o sobre una base de continuidad (p.ej. mediante una subcontratación permanente, arreglos de agencia o franquicia), este trabajo debe ser asignado a un subcontratista competente.

Debe notificar por escrito a sus clientes de tales arreglos y cuando sea apropiado obtener la aprobación de su cliente, preferentemente por escrito y es responsable ante él del trabajo de los subcontratistas, excepto en el caso de que él o una autoridad reguladora especifique qué subcontratista debe ser usado; asimismo, debe mantener un registro de todos los subcontratistas que utiliza para ensayos y/o calibraciones, así como un registro de la evidencia del cumplimiento con estos requisitos para el trabajo en cuestión.

2.1.6. COMPRAS DE SERVICIOS Y SUMINISTROS

El laboratorio debe tener una política y procedimiento(s) para la selección y adquisición de servicios y suministros que utiliza y afectan la calidad de los ensayos y/o calibraciones. Deben existir procedimientos para la compra, recepción y almacenamiento de reactivos y materiales consumibles de laboratorio, relevantes para los ensayos y/o calibraciones.

Debe asegurar que los suministros, reactivos y materiales consumibles comprados que afecten la calidad de los ensayos y/o calibraciones, no sean usados hasta que hayan sido inspeccionados o de otro modo verificados que cumplen con especificaciones o requisitos normativos o requisitos definidos en los métodos de ensayos y/o calibraciones concernientes. Estos servicios y suministros empleados deben cumplir con los requisitos especificados. Deben mantenerse los registros de las acciones tomadas para comprobar el cumplimiento.

Los documentos de compras, de elementos que afectan la calidad final del

laboratorio, deben contener los datos que describan los servicios y suministros ordenados. Estos documentos de compras deben ser revisados y aprobados en su contenido técnico antes de su liberación.

El laboratorio debe evaluar a los proveedores de consumibles, suministros y servicios críticos que afectan la calidad de ensaye y/o calibración; y debe mantener los registros de estas evaluaciones y tener la lista de los aprobados.

2.1.7. SERVICIO AL CLIENTE

El laboratorio debe cooperar con los clientes o sus representantes, para aclarar sus solicitudes y dar seguimiento al desempeño del laboratorio con relación al trabajo efectuado, en el entendimiento de que el laboratorio asegura la confidencialidad hacia otros clientes. Tal cooperación puede incluir:

- a) Permitir al cliente o a su representante acceso razonable a las áreas relevantes del laboratorio para atestiguar los ensayes y/o calibraciones efectuadas para el cliente.
- b) Preparación, empaque y despacho de los elementos de ensaye y/o calibración, necesitados por el cliente para propósitos de verificación.

2.1.8. QUEJAS

El laboratorio debe tener una política y procedimiento para la resolución de quejas recibidas de los clientes o de otras partes. Se deben mantener registros de todas las quejas y de las investigaciones y acciones correctivas tomadas por el laboratorio.

2.1.9. CONTROL DEL TRABAJO DE ENSAYO Y/O CALIBRACIÓN NO CONFORME

El laboratorio debe tener una política y procedimientos que deben ser implantados cuando algún aspecto de su trabajo de ensaye y/o calibración, o los resultados de este trabajo, no está conforme con sus propios procedimientos o con los requisitos acordados con el cliente. La política y los procedimientos deben asegurar que:

- a) Estén designadas las responsabilidades y autoridades para la dirección del trabajo no conforme y se definan y se realicen las acciones (incluyendo interrupción del trabajo y detención de los informes de ensaye y de los certificados de calibración, como sea necesario), cuando se identifique trabajo no conforme;
- b) Se haga una evaluación de la importancia del trabajo no conforme;
- c) Se tomen acciones correctivas inmediatamente, junto con cualquier decisión acerca de la aceptabilidad del trabajo no conforme.

- d) Cuando sea necesario, el cliente sea notificado y el trabajo sea devuelto.
- e) Esté definida la responsabilidad para autorizar la reanudación del trabajo.

Cuando la evaluación indique que el trabajo no conforme puede recurrir o que haya duda acerca del cumplimiento de las operaciones del laboratorio con sus propias políticas y procedimientos, los procedimientos de acción correctiva dados en el siguiente punto deben iniciar inmediatamente.

2.1.10. ACCIÓN CORRECTIVA

El laboratorio debe establecer una política y un procedimiento y debe designar autoridades apropiadas para implantar la acción correctiva cuando haya sido identificado trabajo no conforme o desviaciones a las políticas y procedimientos en el sistema de calidad o en las operaciones técnicas.

2.1.11. ACCIÓN PREVENTIVA

El laboratorio debe identificar las mejoras necesarias y las fuentes potenciales de no conformidades ya sean técnicas o concernientes al sistema de calidad. Si se requiere acción preventiva, se deben desarrollar, implantar y monitorear planes de acción para reducir la probabilidad de ocurrencia de dichas no conformidades y tomar ventaja de las oportunidades de mejora.

Los procedimientos para acciones preventivas deben incluir el inicio de tales acciones y la aplicación de controles que aseguren que éstas son efectivas.

2.1.12 CONTROL DE REGISTROS

El laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para identificación, colección, indexado, acceso, archivo, almacenamiento, mantenimiento y disposición de registros técnicos y de calidad. Los registros de calidad deben incluir informes de auditorías internas, revisiones de la dirección así como también registros de las acciones correctivas y preventivas.

Todos los registros deben ser legibles y estar almacenados, como copia en papel o en medio electrónico, y retenidos en tal forma que sean fácilmente recuperables, en instalaciones que provean un ambiente adecuado para evitar daño o deterioro y para prevenir pérdidas. Deben establecerse los tiempos de retención de los registros.

El laboratorio debe tener procedimientos para proteger y respaldar los registros almacenados electrónicamente y para prevenir acceso no autorizado o cambios a estos registros.

2.1.12.1 Registros técnicos

El laboratorio debe retener por un periodo definido, los registros de las observaciones originales, los datos derivados, y suficiente información para establecer la rastreabilidad en una auditoría, registros de calibración, registros del personal y una copia de cada informe de ensaye o certificado de calibración emitido. Los registros para cada ensaye o calibración, deben contener suficiente información para facilitar, si es posible, la identificación de factores que afectan la incertidumbre y para permitir que el ensaye o la calibración se repita bajo condiciones lo más cercanas posible a la original. Los registros deben incluir la identificación del personal responsable del muestreo, ejecución de cada ensaye y/o calibración y de la comprobación de resultados.

Los registros pueden incluir formularios, contratos, hojas de trabajo, libros de trabajo, hojas de verificación, notas de trabajo, gráficas de control, informes de ensayes y certificados de calibración internos y externos, notas de clientes, artículos y retroalimentaciones.

Las observaciones, datos y cálculos deben ser registrados en el momento en que se hacen y deben ser identificables al trabajo específico.

Cuando ocurren equivocaciones en los registros, cada equivocación debe ser tachada, no se debe hacer ilegible o borrar y el valor correcto debe insertarse a su lado. Todas esas alteraciones a los registros deben firmarse o rubricarse por la persona que efectuó la corrección. En el caso de registros almacenados electrónicamente, se deben tomar medidas equivalentes para evitar pérdidas o cambios de los datos originales.

2.1.13 AUDITORÍAS INTERNAS

El laboratorio debe conducir auditorías internas de sus actividades periódicamente y de acuerdo a un calendario y a un procedimiento predeterminados, para verificar que sus operaciones continúan cumpliendo con los requisitos del sistema de calidad. El programa de auditorías internas debe dirigirse a todos los elementos del sistema de calidad, incluyendo las actividades de ensaye y/o calibración. Es responsabilidad del gerente de calidad planear y organizar las auditorías como sean requeridas en el calendario y solicitadas por la dirección. Tales auditorías deben ser efectuadas por personal entrenado y calificado, el cual, siempre que los recursos lo permitan, será independiente de la actividad por auditar.

El ciclo de auditorías internas normalmente debería terminarse en un año.

Cuando los hallazgos de las auditorías provoquen dudas acerca de la efectividad de las operaciones o de la exactitud o validez de los resultados de ensaye o de calibración del laboratorio, éste debe tomar oportunamente acción correctiva y debe notificar a los clientes por escrito si las investigaciones muestran que los resultados del laboratorio pudieran haber sido afectados.

El área de actividad auditada, los hallazgos de la auditoría y las acciones

correctivas que surjan de éstas, deben registrarse.

Las actividades de seguimiento de la auditoria deben verificar y registrar la implantación y efectividad de la acción correctiva tomada.

2.1.14 REVISIONES DE LA DIRECCIÓN

De acuerdo con un calendario y un procedimiento predeterminados, la dirección ejecutiva del laboratorio debe conducir periódicamente una revisión del sistema de calidad del laboratorio y de las actividades de ensaye y/o calibración, para asegurar su adecuación y efectividad continua y para introducir los cambios o mejoras necesarios. La revisión debe tomar en cuenta:

- La adecuación de políticas y procedimientos;
- Informes del personal directivo y de supervisión;
- El informe de auditorías internas recientes;
- Acciones correctivas y preventivas;
- Evaluaciones por organismos externos;
- Los resultados de comparaciones entre laboratorios o de ensayos de aptitud;
- Cambios en el volumen y tipo del trabajo;
- Retroalimentación del cliente;
- Quejas;
- Otros factores pertinentes, tales como las actividades de control de calidad, recursos y capacitación del personal.

La revisión de la dirección es generalmente una vez cada 12 meses. Los resultados deberían alimentar al sistema de planeación del laboratorio y deberían incluir las metas, objetivos, y planes de acción para el siguiente año.

Deben registrarse los hallazgos de las revisiones de la dirección y las acciones que se deriven de éstas. La dirección debe asegurar que tales acciones sean llevadas a cabo dentro de periodos adecuados y acordados.

2.2. REQUISITOS TÉCNICOS

El laboratorio debe tomar en cuenta los factores: humanos, instalación y condiciones ambientales, métodos de ensaye y calibración, validación de métodos, equipo, trazabilidad de la medición, transporte y almacenamiento, el

muestreo y el manejo de los elementos de ensaye y calibración, que determinan el desarrollo correcto y confiable de los ensayos y/o calibraciones que ejecuta, a fin de determinar su contribución en la variación de la incertidumbre total de la medición entre (tipos de) ensayos y entre (tipos de) calibraciones.

El laboratorio debe tomar en cuenta estos factores en el desarrollo de los métodos y procedimientos de ensayo y calibración, en la capacitación y calificación del personal y en la selección y calibración del equipo que utiliza.

2.2.1. PERSONAL

La dirección del laboratorio debe asegurar la competencia de todos aquellos que operen equipo específico, efectúan ensayos y/o calibraciones, evalúan resultados y firman informes de ensayos y certificados de calibración. Cuando contrate personal que esté bajo capacitación, debe mantener una supervisión adecuada en su desempeño. El personal que realiza tareas específicas debe estar calificado sobre la base de una educación apropiada, capacitación, experiencia y/o destreza demostrada, según se requiera.

Cuando en algunas áreas técnicas (p.ej. ensayos no-destructivos) se requiera que el personal que realiza ciertas tareas esté certificado, el laboratorio es responsable de dar cumplimiento con los requisitos especificados de certificación del personal. Los requisitos para la certificación del personal pueden ser regulatorios, incluidos en las normas para el campo técnico específico, o requeridos por el cliente.

El personal responsable de las opiniones e interpretaciones incluidas en los informes de ensaye, además de las calificaciones apropiadas, capacitación, experiencia y conocimiento satisfactorio de los ensayos realizados, debe tener:

- El conocimiento relevante de la tecnología usada en la fabricación de los artículos, materiales, productos, etc., probados, o la forma en que estos son empleados o pretenden usarse y los defectos o degradaciones que puedan ocurrir durante el servicio o en su aplicación;
- Conocimiento de los requisitos generales expresados en la legislación y en las normas; y
- Un entendimiento del significado de desviaciones encontradas respecto al uso normal de los artículos materiales, productos, etc.

La dirección del laboratorio debe formular las metas con respecto a la educación, capacitación y habilidades del personal del laboratorio. El laboratorio debe tener una política y procedimientos para identificar las necesidades de capacitación y proveer de capacitación al personal. El programa de capacitación debe ser relevante para las tareas presentes y futuras del laboratorio.

El laboratorio debe utilizar personal por, o bajo el contrato del laboratorio. Cuando sea empleado personal técnico adicional y personal de soporte clave contratado, el laboratorio debe asegurar que dicho personal sea competente y supervisado y que trabaje de conformidad con el sistema de calidad del laboratorio.

El laboratorio debe mantener descripciones de puestos actualizados para el personal directivo, técnico y de soporte clave, involucrado en los ensayos y/o calibraciones.

La dirección debe autorizar personal específico para que efectúe tipos especiales de muestreo, ensayo y/o calibración, para expedir informes de ensayos y certificados de calibración, para dar opiniones e interpretaciones y para operar tipos particulares de equipo. El laboratorio debe mantener registros de la(s) autorización(es) relevante(s), de la competencia, calificaciones educativas y profesionales, de capacitación, destreza y experiencia de todo el personal técnico, incluyendo el personal contratado. Esta información debe estar disponible fácilmente y debe incluir la fecha en la cual la autorización y/o competencia se ha confirmado.

2.2.2. INSTALACIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES

Las instalaciones del laboratorio para ensayo y/o calibración, incluyendo pero no limitadas a, las fuentes de energía, iluminación y condiciones ambientales, deben ser tales que faciliten la correcta ejecución de los ensayos y/o calibraciones.

El laboratorio debe asegurar que las condiciones ambientales no invaliden los resultados o afecten adversamente la calidad requerida de cualquier medición. Particular cuidado se debe tomar cuando el muestreo, y los ensayos y/o calibraciones se efectúen en sitios distintos a las instalaciones permanentes del laboratorio. Se deben documentar los requisitos técnicos para la instalación y las condiciones ambientales que puedan afectar los resultados de los ensayos y de las calibraciones

El laboratorio debe monitorear, controlar y registrar las condiciones ambientales requeridas por especificaciones, métodos y procedimientos relevantes o cuando éstas influyan en la calidad de los resultados. Se debe prestar atención debida, por ejemplo, a perturbaciones electromagnéticas, radiación, humedad, suministro eléctrico, temperatura y vibración, como sea apropiado para las actividades técnicas concernientes. Los ensayos y/o calibraciones deben ser detenidos cuando las condiciones ambientales comprometan los resultados de las mismas.

Debe haber una separación efectiva entre las áreas adyacentes, en las que existan actividades incompatibles. Se deben tomar medidas para evitar contaminación cruzada.

Debe controlarse el acceso y el uso de las áreas que afectan la calidad de los ensayos y/o calibraciones. El laboratorio debe determinar el grado de control, con base en sus circunstancias particulares.

Se deben tomar medidas para asegurar el buen mantenimiento cotidiano del laboratorio. Cuando sea necesario se deben preparar procedimientos especiales.

2.2.3. MÉTODOS DE ENSAYE Y/O CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MÉTODO

El laboratorio debe usar métodos y procedimientos apropiados para todos los ensayos y/o calibraciones dentro de su alcance. Estos incluyen muestreo, manejo, transporte, almacenamiento, y preparación de los elementos que serán ensayados y/o calibrados, y cuando sea apropiado, una estimación de la incertidumbre de la medición, así como también las técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo y/o calibración.

El laboratorio debe tener instrucciones para el uso y operación de todo el equipo relevante y para el manejo y preparación de los elementos para ensayo y/o calibración o ambos, cuando la ausencia de tales instrucciones pudiera comprometer los resultados de los ensayos y/o calibraciones. Todas las instrucciones, normas, manuales y datos de referencia relevantes para el trabajo del laboratorio deben ser actualizados y deben estar fácilmente disponibles al personal (véase 2.1.3.). Las desviaciones a los métodos de ensayo y/o calibración, deben ocurrir solamente si esas desviaciones han sido documentadas, técnicamente justificadas, autorizadas y aceptadas por el cliente.

2.2.3.1 Selección de métodos

El laboratorio debe usar métodos de ensayo y/o calibración, incluyendo métodos para muestreo, que satisfagan las necesidades del cliente y que sean apropiadas para los ensayos y calibraciones que realice. Deben usarse preferentemente los métodos publicados en normas internacionales, regionales o nacionales. El laboratorio debe asegurarse de que usa la última edición vigente de una norma, a menos que esto no sea apropiado o posible de hacer. Cuando sea necesario, la norma debe ser complementada con detalles adicionales para asegurar su aplicación consistente.

El laboratorio debe seleccionar métodos apropiados, cuando el cliente no lo especifique, que hayan sido publicados ya sea en normas internacionales, regionales o nacionales, o por organizaciones técnicas reconocidas, o en textos o publicaciones científicas importantes, o como sea especificado por el fabricante del equipo. También podrán usarse los métodos desarrollados o adaptados por el laboratorio, si son apropiados para el uso pretendido y si éstos son validados. El cliente debe ser informado del método escogido. El laboratorio debe confirmar que puede operar adecuadamente métodos normalizados antes de implantar los ensayos o calibraciones. Si el método normalizado cambia, la confirmación debe

ser repetida.

El laboratorio debe informar al cliente cuando el método propuesto por éste es considerado inapropiado u obsoleto.

2.2.3.2. Métodos desarrollados en el laboratorio

La implantación de los métodos de ensaye y calibración desarrollados por el laboratorio para su propio uso debe ser una actividad planeada y debe ser asignada a personal calificado, equipado con recursos apropiados.

Los planes deben ser actualizados según evolucione su desarrollo y debe asegurarse una comunicación efectiva entre todo el personal involucrado.

2.2.3.3. Métodos no normalizados

Cuando sea necesario usar métodos no cubiertos por métodos normalizados, éstos deben ser tema de un acuerdo con el cliente y debe incluir una clara especificación de los requisitos del cliente y el propósito del ensaye y/o calibración. El método desarrollado debe ser validado apropiadamente antes de su uso.

Se deben desarrollar los procedimientos antes de que se realicen los ensayes y/o calibraciones, para los nuevos métodos de ensaye y/o calibración, y deben contener al menos la siguiente información:

- a) Identificación apropiada;
- b) Alcance;
- c) Descripción del tipo de elemento que será ensayado o calibrado;
- d) Parámetros o cantidades e intervalos que serán determinados;
- e) Aparatos y equipo, incluyendo requisitos de desempeño técnico;
- f) Patrones y materiales de referencia requeridos;
- g) Condiciones ambientales requeridas y cualquier periodo de estabilización necesario;
- h) Descripción del procedimiento, incluyendo:
 - Colocación de marcas de identificación, manejo, transportación, almacenamiento y preparación de los elementos,
 - Comprobaciones antes de iniciar el trabajo,

- Verificación de que el equipo está trabajando adecuadamente y, cuando sea requerido, calibración y ajuste del equipo antes de cada uso,
 - Método para registro de las observaciones y de los resultados,
 - Cualquier medida de seguridad que deba ser observada;
- i) Criterios y/o requisitos para aprobación / rechazo.
 - j) Datos por registrar y método para su análisis y presentación;
 - k) Incertidumbre o el procedimiento para la estimación de incertidumbre.

2.2.3.4. Validación de métodos

La validación es la confirmación por examen y la aportación de evidencia objetiva de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico propuesto.

El laboratorio debe validar métodos no-normalizados, métodos diseñados / desarrollados por el laboratorio, métodos normalizados usados fuera de su alcance propuesto, y ampliaciones y modificaciones de métodos normalizados para confirmar que los métodos se ajustan al uso propuesto. La validación debe ser tan extensiva como sea necesario para satisfacer las necesidades de la aplicación o del campo de aplicación dado. El laboratorio debe registrar los resultados obtenidos, el procedimiento usado para la validación, y una declaración acerca de que el método se ajusta al uso propuesto.

La validación puede incluir procedimientos para muestreo, manejo y transportación.

Las técnicas usadas para la determinación del desempeño de un método pueden ser una, o una combinación de las siguientes:

- Calibración usando patrones de referencia o materiales de referencia;
- Comparación de resultados alcanzados con otros métodos;
- Comparaciones entre laboratorios;
- Evaluación sistemática de los factores que tienen influencia en los resultados;
- Evaluación de la incertidumbre de los resultados con base en el conocimiento científico de los principios teóricos del método y de la experiencia práctica

Cuando se hacen algunos cambios en los métodos no-normalizados validados, la influencia de tales cambios, debe ser documentada y si es apropiado, se puede realizar una nueva validación.

El intervalo y exactitud de los valores que se pueden obtener de los métodos validados (p.ej. la incertidumbre de los resultados, el límite de detección, la selectividad del método, la linealidad, el límite de repetibilidad y/o reproducibilidad, la consistencia contra influencias externas y/o la sensibilidad cruzada contra interferencias de la matriz del elemento de ensayo / muestra), deben ser relevantes con las necesidades de los clientes, como se evaluaron para el uso propuesto.

La validación incluye las especificaciones de los requisitos, determinación de las características del método, una verificación de que se pueden cumplir los requisitos usando dicho método y una declaración en la validez.

2.2.3.5. Estimación de la incertidumbre de medición

Un laboratorio de calibración o de ensayos, que realiza sus propias calibraciones debe tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de medición para todas las calibraciones y tipos de calibración.

Los laboratorios de ensayos deben tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de medición. En algunos casos, la naturaleza del método de ensayo puede impedir el cálculo riguroso, metrológico y estadísticamente válido de la incertidumbre de medición. En estos casos, el laboratorio debe al menos, intentar identificar todos los componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable, y debe asegurar que la manera de informar los resultados no proporcione una impresión errónea de la incertidumbre. Una estimación razonable debe estar basada en el conocimiento del desempeño del método y del alcance de la medición y debe hacer uso, por ejemplo, de la experiencia previa y de la validación de los datos.

En aquellos casos en que un método de ensayo bien reconocido especifique límites a los valores de las principales fuentes de incertidumbre de medición y especifique la forma de presentación de los resultados calculados, se considera que el laboratorio satisface esta cláusula siguiendo los métodos de ensayo e instrucciones de informe.

Cuando se esté estimando la incertidumbre de medición deben ser tomadas en cuenta todos los componentes de incertidumbre que sean de importancia para la situación dada, usando métodos apropiados de análisis.

Las fuentes que contribuyen a la incertidumbre incluyen, pero no necesariamente se limitan a, patrones y materiales de referencia utilizados, métodos y equipo usados, condiciones ambientales, propiedades y condiciones del elemento que está siendo ensayado o calibrado, y el operador.

2.2.3.6. Control de datos

Los cálculos y la transferencia de datos deben estar sujetos a verificaciones

adecuadas en una forma sistemática.

Cuando se utilizan computadoras o equipo automatizado para la adquisición, procesamiento, registro, informe, almacenamiento o recuperación de datos de ensayos o calibración, el laboratorio debe asegurar que:

- a) El software desarrollado por el usuario esté documentado con suficiente detalle y sea validado adecuadamente para su uso.
- b) Se establezcan e implanten procedimientos para protección de los datos, tales procedimientos deben incluir, pero no limitarse a, la integridad y la confidencialidad de la entrada o colección de datos, almacenamiento, transmisión y procesamiento de datos.
- c) Las computadoras y equipo automatizado se mantengan en buenas condiciones para asegurar un adecuado funcionamiento y sean provistos con las condiciones ambientales y de operación necesarias para mantener la integridad de los datos de ensayos y calibración.

El software comercial (p.ej. procesadores de texto, bases de datos y programas estadísticos) de uso general, puede considerarse suficientemente válido dentro del intervalo de aplicación para el cual fue diseñado. Sin embargo, las configuraciones / modificaciones del software del laboratorio, deben ser validadas.

2.2.4. EQUIPO

El laboratorio debe contar con todos los elementos para muestreo, medición y equipo de ensaye, requeridos para la correcta ejecución de los ensayos y/o calibraciones (incluyendo muestreo, preparación de los elementos de ensayos y/o calibración, procesamiento y análisis de los datos de ensaye y/o calibración.). En aquellos casos en que el laboratorio necesita usar equipo fuera de su control permanente, éste debe asegurar que se cumplan estos requisitos.

El equipo y su software empleados para ensaye, calibración y muestreo, deben ser capaces de alcanzar la exactitud requerida y deben cumplir con las especificaciones pertinentes para los ensayos y/o calibraciones relacionadas.

Los programas de calibración deben ser establecidos para las cantidades o valores clave de los instrumentos donde esas propiedades tengan un efecto significativo en los resultados.

Antes de ser puesto en servicio, el equipo (incluyendo el utilizado en muestreo) debe ser calibrado o verificado para establecer que cumple los requisitos de la especificación del laboratorio y que cumple con las especificaciones de la norma relevante. Debe ser verificado y/o calibrado antes de su uso.

El equipo debe ser operado por personal autorizado. Las instrucciones actualizadas sobre el uso y mantenimiento del equipo (incluyendo cualquier manual relevante suministrado por el fabricante del equipo), deben ser fácilmente disponibles para uso del personal apropiado del laboratorio.

Cada elemento del equipo y su software usados para ensayo y calibración, y que tengan influencia significativa para el resultado, deben, cuando sea práctico, ser identificados individualmente.

Deben mantenerse registros para cada elemento del equipo y su software, significativos para los ensayos y/o calibraciones efectuados. Los registros deben incluir al menos lo siguiente:

- a) La identificación del elemento del equipo y su software;
- b) El nombre del fabricante, identificación del tipo y número de serie u otra identificación única;
- c) Los comprobantes de que el equipo cumple con las especificaciones;
- d) La ubicación actual, cuando sea apropiado;
- e) Los instructivos del fabricante, si están disponibles, o referencia para su localización;
- f) Las fechas, resultados y copias de los informes y certificados de todas las calibraciones, ajustes, criterios de aceptación, así como la fecha de vencimiento de la última calibración;
- g) El plan de mantenimiento, cuando sea apropiado, y el mantenimiento realizado a la fecha;
- h) Cualquier daño, mal funcionamiento, modificación o reparación al equipo.

El laboratorio debe tener procedimientos para el manejo seguro, transporte, almacenamiento, uso y mantenimiento planeado del equipo de medición para asegurar el funcionamiento apropiado y con el fin de prevenir contaminación o deterioro.

Pueden ser necesarios procedimientos adicionales cuando el equipo de medición es usado fuera de las instalaciones permanentes del laboratorio para ensayos, calibraciones o muestreos.

Debe ponerse fuera de servicio, el equipo que haya estado sujeto a sobrecargas o mal manejo, que dé resultados sospechosos, que haya mostrado estar defectuoso o fuera de los límites especificados. Debe ser aislado para prevenir su uso o claramente etiquetado o marcado, como fuera de servicio hasta que haya

sido reparado y demuestre por calibración o ensayos que funciona correctamente. El laboratorio debe examinar el efecto del desperfecto o de la desviación de los límites especificados en ensayos y/o calibraciones previos y debe iniciar el procedimiento 'Control de trabajo no conforme'.

Siempre que sea práctico, todo el equipo bajo el control del laboratorio que requiera calibración, debe ser etiquetado, codificado o identificado de otra manera para indicar el estado de calibración, incluyendo la fecha de la última calibración y la fecha o criterio de expiración cuando se requiera la recalibración.

Cuando por cualquier razón, el equipo quede fuera del control directo del laboratorio, el laboratorio debe asegurar que el funcionamiento y estado de calibración del equipo es verificado y demuestre ser satisfactoria antes de ser retornado al servicio.

Cuando sean necesarias verificaciones intermedias para mantener confianza en el estado de calibración del equipo, éstas deben ser efectuadas de acuerdo a un procedimiento definido.

Cuando las calibraciones den lugar a un conjunto de factores de corrección, el laboratorio debe tener procedimientos para asegurar que las copias (p.ej. en software), sean correctamente actualizadas.

El equipo de ensayo y calibración, incluyendo tanto software como hardware, deberán ser protegidos de ajustes que puedan invalidar los resultados de los ensayos y/o calibraciones.

2.2.5. TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN

Los laboratorios de calibración deben contar con un programa para calibración de sus equipos, diseñado y operado de tal manera que asegure que las calibraciones y las mediciones que efectúa sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). Todo el equipo usado para ensayos y/o calibraciones, incluyendo equipo para mediciones auxiliares (p.ej. para condiciones ambientales), que tenga un efecto significativo sobre la exactitud o validez del resultado de ensaye, calibración o muestreo, deben ser calibrados antes de ser puestos en servicio.

El programa debe incluir un sistema para selección, uso, calibración, verificación, control y mantenimiento de los patrones de medición, materiales de referencia usados como patrones de medición, así como equipo de medición y ensayos usado para efectuar los ensayos y las calibraciones.

2.2.5.1. Calibración

Un laboratorio de calibración establece la trazabilidad de sus propios patrones e instrumentos de medición al SI, por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones, vinculándolas a los patrones primarios relevantes

de las unidades de medición del SI. El vínculo con las unidades del SI puede ser alcanzado por referencia a los patrones nacionales de medición.

Cuando se utilicen servicios de calibración externos, se debe asegurar la trazabilidad de la medición mediante el uso de servicios de calibración de laboratorios que puedan demostrar competencia, capacidad de medición y trazabilidad. Los certificados emitidos por estos laboratorios deben contener los resultados de la medición, incluyendo la incertidumbre de medición y/o una declaración de cumplimiento con una especificación metrológica identificada.

Un certificado de calibración que porta el logotipo de un organismo de acreditación emitido por un laboratorio de calibración acreditado en la norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2000 para la calibración concerniente, es suficiente evidencia de trazabilidad de los datos de calibración informados.

Cuando sea posible, se requiere la participación en un programa adecuado de comparaciones entre laboratorios.

2.2.5.2. Ensaye

Para los laboratorios de ensaye, aplican los requisitos dados en 2.2.3.2. para el equipo de medición y ensaye con las funciones de medición usadas, a menos que se haya establecido que la contribución asociada de la calibración contribuye poco a la incertidumbre total del resultado del ensaye. Cuando surja esta situación, el laboratorio debe asegurar que el equipo utilizado puede proveer la incertidumbre de medición necesaria.

Cuando no sea posible y/o no sea relevante la trazabilidad de las mediciones a las unidades del SI, se requerirán los mismos requisitos para trazabilidad de los laboratorios de calibración, por ejemplo a materiales de referencia certificados, métodos acordados y/o patrones de consenso.

2.2.5.3. Materiales de referencia

Los materiales de referencia deben ser, cuando sea posible, trazables a las unidades de medición del SI, o a los materiales de referencia certificados. Los materiales de referencia internos deben ser verificados tanto como sea técnica y económicamente posible.

2.2.6. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El laboratorio debe tener procedimientos para manejo, transporte, almacenaje y uso seguro, de los patrones y materiales de referencia, con objeto de prevenir contaminación o deterioro y de proteger su integridad.

Pueden ser necesarios procedimientos adicionales cuando los patrones y materiales de referencia son usados fuera de las instalaciones permanentes del

laboratorio para ensayos, calibraciones o muestreo.

2.2.7 MUESTREO

El muestreo es un procedimiento definido, por medio del cual se obtiene una parte de una sustancia, material o producto representativo del total.

El laboratorio debe tener un plan y procedimientos para efectuar el muestreo, cuando lleve a cabo muestreo de sustancias, materiales o productos para ensaye y/o calibración subsecuente. El plan así como también los procedimientos de muestreo deben estar disponibles en la localidad donde se realice el muestreo. Siempre que sea razonable, los planes de muestreo deben estar basados en métodos estadísticos apropiados. Los procesos de muestreo deben considerar los factores que van a ser controlados, para asegurar la validez de los resultados de ensaye y calibración.

Los procedimientos de muestreo deben describir la selección, el plan de muestreo, el retiro y la preparación de una muestra o muestras de una sustancia, material o producto para producir la información requerida.

El laboratorio debe tener procedimientos para registrar los datos relevantes y las operaciones relacionadas al muestreo, que forman parte del ensaye o calibración que sean emprendidas. Estos registros deben incluir el procedimiento de muestreo usado, la identificación de quien realizó el muestreo, las condiciones ambientales (si es importante) y los diagramas u otros medios equivalentes para identificar la instalación de muestreo, según sea necesario y, si es adecuado, las estadísticas en las que se basan los procedimientos de muestreo.

2.2.8. MANEJO DE LOS ELEMENTOS DE ENSAYE Y CALIBRACIÓN

El laboratorio debe tener procedimientos para la transportación, recepción, manejo, protección, almacenaje, retención y/o disposición final de los elementos de ensaye y/o calibración, incluyendo todas las provisiones necesarias para proteger la integridad del elemento de ensaye y/o calibración, y para proteger los intereses del laboratorio y del cliente.

El laboratorio debe tener un sistema para la identificación de los elementos para ensaye y/o calibración. La identificación debe ser retenida durante la permanencia del elemento en el laboratorio. El sistema debe ser diseñado y operado de manera que asegure que los elementos no puedan ser confundidos físicamente o cuando se haga referencia a ellos en los registros u otros documentos. El sistema debe, cuando sea apropiado, acomodar una subdivisión de grupos de elementos y la transferencia de los elementos dentro y desde el laboratorio.

El laboratorio debe tener procedimientos e instalaciones adecuadas para evitar deterioro, pérdida o daño del elemento para ensaye y/o calibración durante el almacenaje, manejo y preparación. Se deben seguir las instrucciones de manejo

provistas con el elemento. Cuando los elementos tengan que ser almacenados o preparados bajo condiciones ambientales específicas, éstas deben ser mantenidas, observadas y registradas. Cuando un elemento o parte del elemento para ensaye y/o calibración tenga que manejarse con seguridad, el laboratorio debe tener las medidas de almacenaje y de seguridad que protejan las condiciones e integridad de los elementos asegurados o porciones relacionadas.

Cuando los elementos de ensaye se regresan a servicio después de los ensayos, se requiere especial cuidado para asegurar que no sean dañados o averiados durante los procesos de manejo, ensaye o almacenaje / espera.

Debe proporcionarse un procedimiento de muestreo e información sobre el almacenaje y transporte de las muestras, incluyendo información sobre los factores de muestreo que influyen en los resultados del ensaye o calibración, a aquellos responsables de tomar y transportar las muestras.

2.2.9. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DE ENSAYE Y CALIBRACIÓN

El laboratorio debe tener procedimientos de control de calidad para supervisar la validez de los ensayos y/o calibraciones comprometidas. Los datos resultantes deben ser registrados en tal forma que las tendencias sean detectadas y cuando sea práctico, deben aplicarse técnicas estadísticas para revisar los resultados. Esta supervisión debe ser planeada y revisada y puede incluir, pero no limitarse a, lo siguiente:

- a) Uso regular de materiales de referencia certificados y/o control de calidad interno utilizando materiales de referencia secundarios;
- b) Participación en comparaciones entre laboratorios o programas de ensayos de aptitud;
- c) Duplicar los ensayos o calibraciones, utilizando el mismo o diferentes métodos;
- d) Repetir el ensaye o calibración de los elementos retenidos;
- e) Correlación de resultados para diferentes características de un elemento.

Los métodos elegidos deben ser apropiados para el tipo y volumen del trabajo realizado.

2.2.10. INFORME DE RESULTADOS

Los resultados de cada ensaye, calibración o de series de ensayes o calibraciones llevadas a cabo por el laboratorio, deben ser informados de manera exacta, clara, sin ambigüedad, objetivamente y de acuerdo con cualquier instrucción específica en los métodos de ensaye o calibración.

Los resultados deben ser informados normalmente en un informe de ensayes o en un certificado de calibración y debe incluir toda la información requerida por el cliente y necesaria para la interpretación de los resultados de ensaye o calibración y toda la información requerida por el método usado.

En el caso de ensayes y/o calibraciones efectuadas para clientes internos, o en el caso de acuerdos escritos con el cliente, los resultados pueden ser informados al cliente en una forma simplificada.

2.2.10.1. Informes de ensayo y certificado de calibración

Cada informe de ensaye o certificado de calibración debe incluir por lo menos la siguiente información, a menos que el laboratorio tenga razones válidas para no hacerlo:

- a) Un título (p.ej. "Informe de ensayes o "certificado de calibración");
- b) Nombre y dirección del laboratorio y localidad donde se efectuaron los ensayes y /o calibraciones, si es diferente de la dirección del laboratorio.
- c) Identificación única del informe del ensaye o del certificado de calibración (tal como un número de serie), y en cada página una identificación con objeto de asegurar que la página sea reconocida como una parte del informe de ensaye o del certificado de calibración y una clara identificación del final del informe de ensaye o del certificado de calibración;
- d) Nombre y dirección del cliente;
- e) Identificación del método usado;
- f) Descripción, condición e identificación sin ambigüedad del (los) elemento(s) ensayado(s) o calibrado(s);
- g) La fecha de recepción de el(los) elemento(s) del ensaye o calibración, cuando sea crítico para la validez y aplicación de los resultados y la(s) fecha(s) de realización del ensaye o calibración;
- h) Referencia al plan de muestreo y a los procedimientos usados por el laboratorio u otros organismos, cuando sea relevante para la validez o aplicación de los resultados;

- i) Resultados del ensaye o calibración; las unidades de medida, cuando sea apropiado;
- j) El(los) nombre(s), función(es) y firma(s), o identificación equivalente de la(s) persona(s) que autorizan el informe de ensaye o certificado de calibración;
- k) Donde sea relevante, una declaración de que los efectos de los resultados se relacionan únicamente a los elementos ensayados o calibrados.

Las copias en papel de los informes de ensaye y del certificado de calibración también deberían incluir el número de página y el número total de páginas.

Se recomienda que los laboratorios incluyan una declaración especificando que el informe de ensaye o certificado de calibración, no deben ser reproducidos, excepto en su totalidad, sin la aprobación por escrito del laboratorio.

2.2.10.2. Informes de ensaye

En adición a los requisitos listados en 2.2.10.1, donde sea necesario para la interpretación de los resultados de ensaye, los informes deben incluir:

- a) Desviaciones, adiciones o exclusiones del método de ensaye, y la información sobre las condiciones específicas del ensaye, tales como las condiciones ambientales;
- b) Donde sea relevante, una declaración de conformidad o no conformidad con los requisitos y/o especificaciones;
- c) Donde sea aplicable, una declaración de la incertidumbre estimada de medición; la información acerca de la incertidumbre es necesaria en los informes de ensaye cuando ésta es importante para la validez o aplicación de los resultados del ensaye, cuando una instrucción del cliente así lo requiera, o cuando la incertidumbre afecta la conformidad con un límite de especificación;
- d) Donde sea apropiado y necesario, opiniones e interpretaciones;
- e) La información adicional que pueda ser requerida por los métodos específicos, por los clientes o grupos de clientes.

En adición a los requisitos listados en 2.2.10.1 y 2.2.10.2., los informes de ensaye que contengan los resultados del muestreo deben contener, donde sea necesario para la interpretación de los resultados del ensaye, lo siguiente:

- a) La fecha del muestreo;
- b) Identificación sin ambigüedad, de la sustancia, material o producto muestreado, (incluyendo nombre del fabricante, el modelo o tipo de

- designación y números de serie como sea apropiado);
- c) Lugar del muestreo, incluyendo cualquier diagrama, esquema o fotografía;
 - d) Una referencia al plan de muestreo y a los procedimientos utilizados;
 - e) Detalles de cualquier condición ambiental durante el muestreo que pudiera afectar la interpretación de los resultados del ensaye;
 - f) Cualquier norma u otra especificación para el método o procedimiento de muestreo y desviaciones, adiciones a, o exclusiones de, las especificaciones relacionadas.

2.2.10.4. Certificados de calibración

En adición a los requisitos listados en 2.2.10.1, los certificados de calibración deben incluir lo siguiente, donde sea necesario para la interpretación de los resultados de calibración:

- a) Las condiciones (p.ej. ambientales) bajo las cuales fueron hechas las calibraciones, que tengan influencia sobre los resultados de la medición;
- b) La incertidumbre de medición y/o una declaración de la conformidad con una especificación metrológica identificada o cláusulas relacionadas;
- c) Evidencia de que las mediciones son trazables (véase 2.2.5.2).

El certificado de calibración debe relacionar solamente las magnitudes y los resultados de los ensayos funcionales. Si se hace una declaración de conformidad con una especificación, esta declaración debe identificar qué cláusulas de la especificación se cumplen o no se cumplen.

Cuando se hace una declaración de conformidad con una especificación omitiendo los resultados de medición y las incertidumbres asociadas, el laboratorio debe registrar esos resultados y mantenerlos para posibles referencias futuras.

Se debe tomar en cuenta la incertidumbre de la medición, cuando se hacen declaraciones de conformidad.

Cuando un instrumento de calibración ha sido ajustado o reparado, los resultados de calibración antes y después del ajuste o la reparación, si están disponibles, deben ser informados.

Un certificado de calibración (o etiqueta de calibración) no debe contener ninguna recomendación sobre el intervalo de calibración, excepto cuando esto ha sido acordado con el cliente. Este requisito puede ser reemplazado por regulaciones legales.

2.2.10.5. Opiniones e interpretaciones

Cuando se incluyen opiniones e interpretaciones, el laboratorio debe documentar las bases sobre las cuales se han realizado las opiniones e interpretaciones. Las opiniones e interpretaciones deberán ser claramente marcadas como tales en un informe de ensaye.

Las opiniones e interpretaciones incluidas en un informe de ensaye pueden comprender, pero no estar limitado a lo siguiente:

- Una opinión sobre la declaración de cumplimiento / no cumplimiento conformidad / no conformidad de los resultados a requisitos;
- El cumplimiento de los requisitos contractuales;
- Recomendaciones sobre como usar los resultados;
- Directrices a ser utilizadas para mejoras.

2.2.10.7. Transmisión electrónica de resultados

En el caso de transmisión de resultados de ensaye o calibración por teléfono, telex, fax u otro medio electrónico o electromagnético, se deben cumplir los requisitos siguientes

Los cálculos y la transferencia de datos deben estar sujetos a verificaciones adecuadas en una forma sistemática.

Cuando se utilizan computadoras o equipo automatizado para la adquisición, procesamiento, registro, informe, almacenamiento o recuperación de datos de ensayos o calibración, el laboratorio debe asegurar que:

- a) el software desarrollado por el usuario esté documentado con suficiente detalle y sea validado adecuadamente para su uso.
- b) se establezcan e implanten procedimientos para protección de los datos, tales procedimientos deben incluir, pero no limitarse a la integridad y la confidencialidad de la entrada o colección de datos, almacenamiento, transmisión y procesamiento de datos.
- c) las computadoras y equipo automatizado se mantengan para asegurar un adecuado funcionamiento y sean provistos con las condiciones ambientales y de operación necesarias para mantener la integridad de los datos de ensayos y calibración.

NOTA: El software comercial (p.ej. procesadores de texto, bases de datos y programas estadísticos) de uso general, puede considerarse suficientemente

válido dentro del intervalo de aplicación para el cual fue diseñado. Sin embargo, las configuraciones / modificaciones del software del laboratorio, deben ser validadas.

2.2.10.8. Formato de los informes y los certificados

El formato debe ser diseñado para adaptar cada tipo de ensaye o calibración llevadas a cabo y para minimizar la posibilidad de malas interpretaciones o mal uso.

Se debe dar atención a la disposición del informe de ensaye o certificado de calibración, especialmente con respecto a la presentación de los datos del ensaye o calibración y la facilidad de asimilación por el lector.

Los encabezados deben ser uniformes tanto como sea posible.

2.2.10.9. Enmiendas a los informes de ensaye y certificados de calibración.

Las enmiendas materiales a un informe de ensaye o certificado de calibración después de haberlo emitido, deben ser hechas únicamente en la forma de un documento adicional, o transferencia de datos, el cual incluye la declaración "Complemento al Informe de Ensayes o Certificado de Calibración, numero de serie..., (o como se haya identificado)", o una redacción equivalente. Tales enmiendas deben cumplir todos estos requisitos.

Cuando sea necesario emitir un informe de ensaye o certificado de calibración completamente nuevo, este debe ser identificado individualmente y debe contener una referencia al documento original al que reemplaza.

LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y PRUEBA DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

CAPITULO 3

3. CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYE

3.1 MÁQUINAS DE ENSAYE

Son aquellas que generan y aplican fuerzas por medios mecánicos, hidráulicos, neumáticos, etc., constituidas por marco o marcos de carga, sistemas de medición, de indicación y de operación. En las Figuras 1 y 2 se observa el esquema de una maquina universal de fuerza y sus componentes.

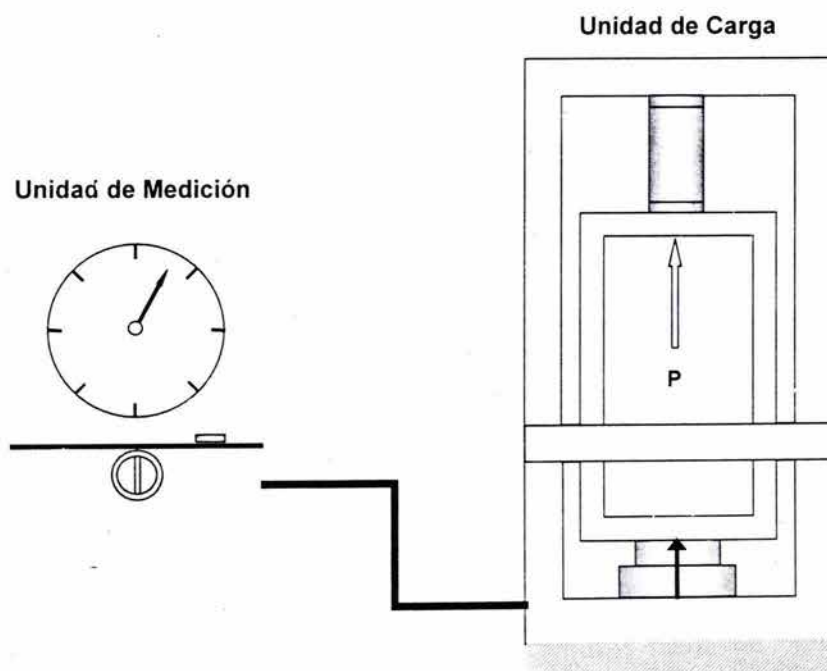
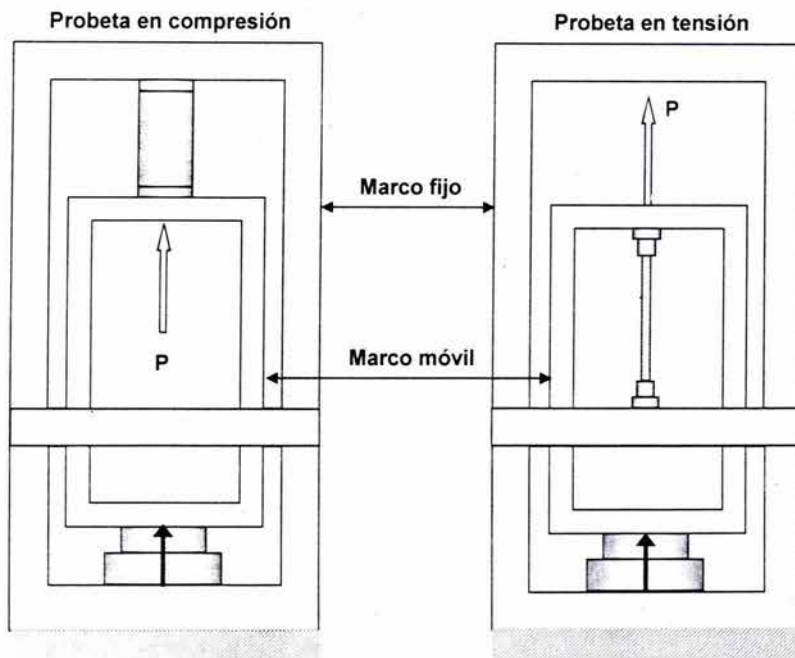


Figura 1. Máquina universal para ensayo a compresión y a tensión

La máquina universal utiliza dos marcos, uno fijo y el otro móvil combinando de acuerdo al ensayo que se va a efectuar, ver Figura 2.



Sistema hidráulico de aplicación de fuerza

Figura 2. Sistema de carga de una máquina universal de fuerza.

3.1. CLASIFICACIÓN.

Las máquinas, según los componentes que las constituyen, se dividen en: universales, para compresión y para tensión.

Por la forma en que aplican la fuerza	{ Universales Compresión Tensión
Por su sistema de funcionamiento	{ Mecánico Hidráulico
Por su sistema de medición	{ Con péndulo Con brazo de palanca, tipo báscula Con tubos de Burdón Con elementos elásticos Con transductores electrónicos Con celdas de carga
Por la forma de indicar la fuerza	{ Analógico Digital
Por la forma de operación	{ Manuales Semiautomáticas Automáticas

a) Máquina Universal

Es aquella constituida por dos marcos, uno fijo y otro móvil que aplica fuerza a la compresión y a la tensión, generalmente mediante un sistema hidráulico, y su sistema de indicación puede ser digital o analógico. Figura 3.

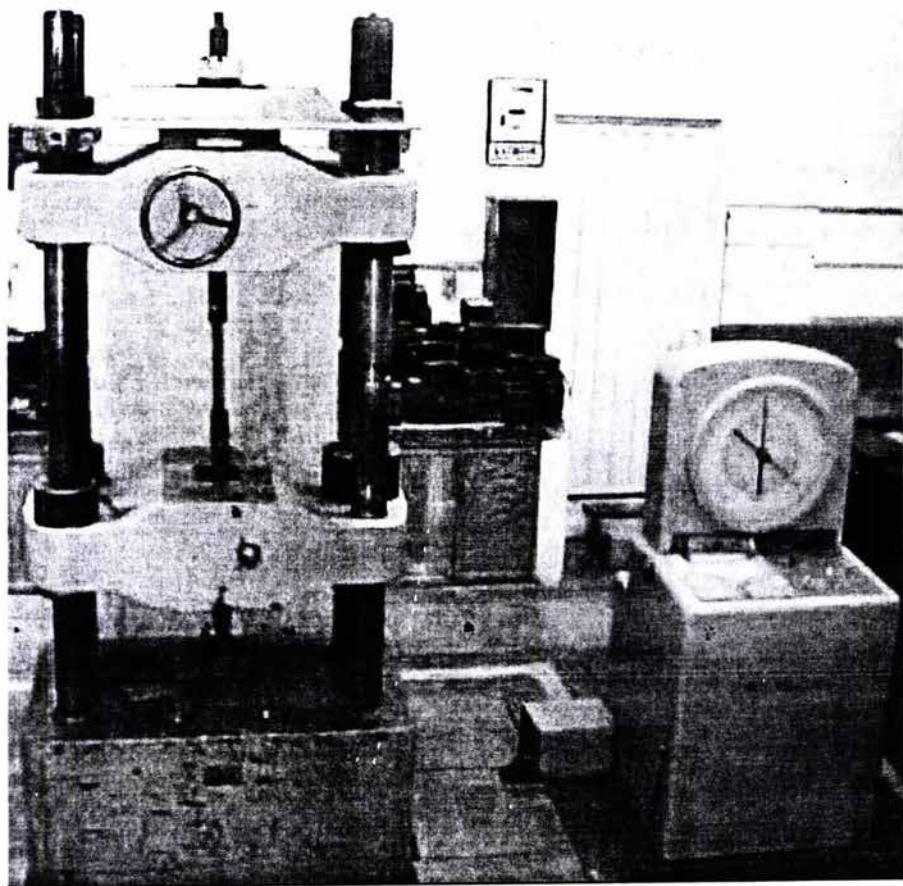


Figura 3. Máquina Universal marca Shimadzu de 1 961 kN (200 000 kgf) de capacidad

b) Máquina para compresión

Es aquella que cuenta con un marco de carga y un dispositivo de aplicación de fuerza de compresión que genera la fuerza por medio de un gato hidráulico de accionamiento manual o eléctrico y su sistema de indicación puede ser analógico o digital, ver Figura 4.

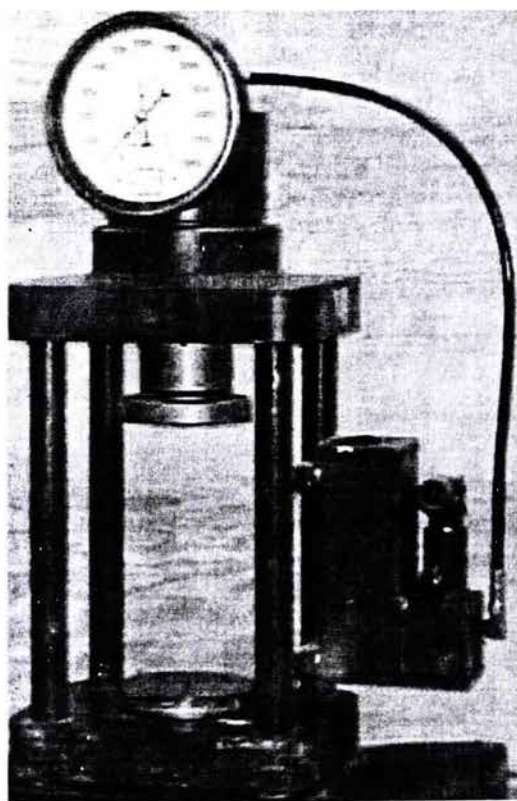


Figura 4. Máquina para compresión de cilindros de concreto de 1 177 kN (120 000 kgf) de capacidad, con sistema de indicación analógico

c) Máquina con anillo de carga

Es aquella que cuenta con un marco de carga, un dispositivo de aplicación de fuerza de compresión de accionamiento manual o eléctrico, y un sistema de medición mediante un anillo de carga con indicador de carátula o digital, Figura 5.

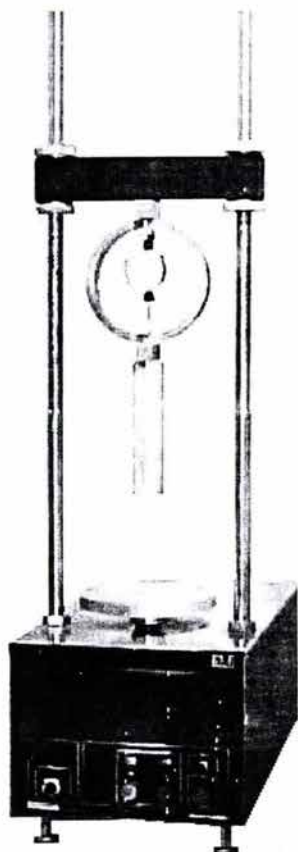


Figura 5. Máquina para compresión con anillo de carga e indicador de carátula, de 44,13 kN (4 500 kgf) de capacidad.

3.2. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN.

Es un proceso que se debe realizar previo a la calibración y se debe llevar a cabo con la finalidad de cuidar y asegurar el buen funcionamiento y operación de las máquinas.

Los servicios de mantenimiento se deben efectuar periódicamente, dependiendo de la frecuencia de uso de la máquina y del lugar donde se encuentre instalada.

La mala operación y el descuido son factores que influyen de manera importante en el funcionamiento, lo cual obliga a efectuar reparaciones frecuentes que restan confiabilidad.

El mantenimiento se divide en dos tipos: mantenimiento menor y mantenimiento mayor.

3.2.1. MANTENIMIENTO MENOR

Consiste en verificar el funcionamiento de las partes que están sometidas a un desgaste continuo, a fin de detectar con anticipación y corregir las posibles fallas que se pueden presentar.

Se recomienda que el mantenimiento menor sea efectuado una vez al año, o menos, dependiendo del uso, del lugar donde se encuentre instalada la máquina y del cuidado que se tenga de la misma.

a) Máquina universal

Para realizar el mantenimiento menor a máquinas universales, se deberán considerar los siguientes puntos:

- Verificación del funcionamiento general y estado en que se encuentra la máquina.
- Revisión de los sistemas mecánico, hidráulico, eléctrico, electrónico.
- Limpieza y lubricación de partes móviles (husillos, rótula, mordazas).
- Limpieza de conexiones eléctricas y electrónicas.
- Revisión de la nivelación y alineación del eje de carga

b) Máquina para compresión con manómetro

Para realizar este mantenimiento, a máquinas de compresión, se deberán considerar los siguientes puntos:

- Verificación del funcionamiento general y estado en que se encuentra la máquina.
- Revisión de los sistemas mecánico, hidráulico, eléctrico, electrónico. (si es que las tiene)
- Limpieza de conexiones eléctricas y electrónicas. (si es que las tiene)
- Revisión de la nivelación y alineación del eje de carga

c) Máquina para compresión con anillo de carga

Para realizar este mantenimiento a máquinas con anillo de carga, se deberán considerar los siguientes puntos:

- Verificación del funcionamiento general y estado en que se encuentra la máquina.
- Revisión de los sistemas mecánico, eléctrico y electrónico (si es que tiene).
- Limpieza de conexiones eléctricas y electrónicas (si es que tiene).
- Revisión de la nivelación y alineación del eje de carga.

3.2.2. MANTENIMIENTO MAYOR

Consiste en realizar limpieza profunda, cambio de partes deterioradas y efectuar los ajustes por este hecho, a fin de mantener la confiabilidad en su operación.

El mantenimiento mayor se debe llevar a cabo de acuerdo a un programa retroalimentado por los resultados del mantenimiento menor. El período de tiempo para proporcionar este mantenimiento será de dos veces el del mantenimiento menor; sin embargo, este tiempo puede acortarse o alargarse dependiendo del uso, del lugar donde se encuentre instalada la máquina y del cuidado que se tenga de la misma.

a) Máquina universal

Los puntos considerados para el mantenimiento de este tipo de máquinas son los siguientes:

- Verificación del funcionamiento general y estado en que se encuentra la máquina.
- Verificación del funcionamiento del manómetro de medición o indicador digital.

- Limpieza de conexiones eléctricas y electrónicas. (si es que las tiene)
- Limpieza y lavado general.
- Lavado del depósito de aceite, purga general del sistema hidráulico y efectuar cambio de aceite.
- Lavado y ajuste de las válvulas de control y de presión (cheks) de la bomba hidráulica.
- Lavado ó cambio de los filtros internos o externos de la bomba hidráulica si es necesario.
- Cambio de empaques, conexiones y mangueras de alta presión si es necesario.
- Limpieza y lubricación de partes móviles (husillos, rotula, mordazas.).
- Verificación de la planeidad de las placas de apoyo solicitando su rectificación si es necesario.
- Nivelación del marco y alineación del eje de carga.

b) Máquina para compresión con manómetro

A continuación se mencionan los puntos a considerar para el mantenimiento de este tipo de máquinas:

- Verificación del funcionamiento general y estado en que se encuentra la máquina.
- Verificación del funcionamiento del manómetro de medición.
- Limpieza de conexiones eléctricas y electrónicas. (si es que las tiene)
- Limpieza y lavado general.
- Lavado del depósito de aceite, purga general del sistema hidráulico y cambio de aceite.
- Lavado y ajuste de las válvulas de control y de presión (cheks) de la bomba hidráulica ya sea de accionamiento manual ó eléctrica.
- Cambio de empaques, conexiones y mangueras de alta presión si es necesario.
- Limpieza y lubricación de rótula de la placa de carga.

- Verificación de la planeidad de las placas de apoyo solicitando su rectificación si es necesario.
- Nivelación del marco y alineación del eje de carga.

c) Máquina para compresión con anillo de carga

Para realizar este mantenimiento deben considerarse los siguientes puntos.

- Revisión del funcionamiento general y estado en que se encuentra la máquina.
- Verificación, limpieza, lavado general y engrasado de engranes del pistón de aplicación de carga.
- Limpieza del indicador de carátula y del anillo de carga.
- Limpieza de conexiones eléctricas y electrónicas. (si es que las tiene)
- Nivelación del marco y alineación del eje de carga.
- Verificación de la planeidad de las placas de apoyo solicitando su rectificación si es necesario.

3.2.3. REPARACIÓN

a) Máquina universal

Son las actividades que se realizan para restablecer el funcionamiento y operación de una máquina con la finalidad de corregir algún desperfecto, cambiando o reparando la pieza o el sistema dañado. Se debe evitar en lo posible las reparaciones, lo cual se puede lograr realizando el mantenimiento en forma oportuna de acuerdo a las características y frecuencia de uso de las máquinas, debido a que el mal funcionamiento, ocasiona retraso en las actividades de los laboratorios de ensaye y esto repercute principalmente en la confiabilidad, prestigio y en la economía de los mismos.

La reparación deberá realizarse de acuerdo con los manuales de cada máquina, en caso de no contar con el manual se deberá seguir las recomendaciones contenida en la tabla 17.

Tabla 17. Fallas comunes de máquinas universales y su posible solución.

PROBLEMA	FALLA	SOLUCIÓN
La bomba hidráulica no enciende.	Existe una mala alimentación de la corriente	Generalmente existe algún fusible abierto, se recomienda sustituirlo.
El motor eléctrico no enciende	El transformador de cambio de voltaje de 220/110 V se encuentra abierto.	Se recomienda sustituirlo
Sube y baja el cabezal, pero el pistón no trabaja	El relevador de la bomba se encuentra con los platinos pegados.	Estos relevadores cuentan con un pequeño botón que se debe de apretar para reajustar.
La bomba del pistón se mueve pero el cabezal no.	El relevador del pistón se encuentra con los platinos pegados.	Estos relevadores cuentan con un pequeño botón que se debe de apretar para reajustar.
El manómetro no registra la carga que esta aplicando la máquina.	El voltaje de alimentación no llega al potenciómetro de ajuste a cero por haberse dañado el transformador	Se sustituye el transformador, o mientras se sustituye se busca un voltaje de 120 V y se efectúa un puente al potenciómetro.
La máquina no aplica la fuerza para la que esta diseñada.	El aceite esta muy delgado o demasiado viejo y perdió su viscosidad.	Realizar cambio de aceite, poniendo el indicado por el manual.
El marco de carga aplica fuerza pero la unidad de medición no registra carga	El transductor no registra la carga	Cambiar el transductor
Al ensayar cilindros de concreto hidráulico a compresión, la lectura es mas baja que en otras máquinas	Las placas de apoyo de la máquina se encuentran disperejas o con deformidades	Se recomienda rectificarlasy pulirlas
La máquina no sostiene la fuerza de aplicación.	Disminuye la presión debido a una fuga de aceite	Apretar bien las conexiones o cambiar el empaque en donde se detectó la fuga de aceite.
La aguja no se puede ajustar perfectamente a cero	Se encuentra desajustado el carro de carga, con la aguja indicadora.	Aflojar los tornillos sujetadores de la aguja, centrar con la aguja perfectamente el cero y después apretar perfectamente los tornillos sujetadores.
Se tienen dudas en las lecturas de la máquina.	Deriva, debido al largo periodo de calibración.	Realizar la calibración.

b) Máquina para compresión con manómetro

La reparación deberá realizarse de acuerdo con los manuales de cada de máquina, en caso de no contar con el manual se deberá seguir las recomendaciones contenida en la tabla 18.

Tabla 18. Fallas comunes de máquinas para compresión y su posible solución.

PROBLEMA	FALLA	SOLUCIÓN
En la maquinas que funcionan con bombas eléctricas no encienden.	Existe una mala alimentación de la corriente	Generalmente existe algún fusible abierto, se recomienda sustituirlo.
El manómetro no registra la fuerza aplicada.	Daños en el tubo de burdón	Cambiar el manómetro.
La bomba no levanta presión	A. Aire en la unidad de bombeo. B. Nivel de aceite bajo. C. La válvula de descarga no cierra. D. Coladera de la bomba de aceite tapada. E. Fuga en la válvula de descarga de baja presión. F. El aceite pasa por las balas del check de alta presión. G. El aceite pasa por el pistón de la bomba.	A. Purgar la bomba de aceite. B. Llenar tanque de aceite. C. Asentar aguja de la válvula, cambiar empaques. D. Limpiar coladera de aceite. E. Asentar la válvula y cambiar empaques. F. Asentar la base de las balas. G. Cambiar los empaques del pistón.
Se agrega frecuentemente aceite	Fugas excesivas de aceite.	Localizar cualquier fuga visible de aceite y corregirla.
La máquina no aplica la fuerza para la que esta diseñada.	El aceite esta muy delgado o demasiado viejo y perdió su viscosidad.	Realizar cambio de aceite, poniendo el indicado en el manual.
Al ensayar cilindros de concreto hidráulico, la lectura es mas baja que en otras máquinas	Las placas de apoyo de la máquina se encuentran disperejas o con deformidades	Se recomienda rectificarias y pulirlas
La máquina no sostiene la fuerza de aplicación.	Disminuye la presión debido a una fuga de aceite	Apretar bien las conexiones o cambiar el empaque en donde se detectó la fuga de aceite.
En maquinas con bombas manuales, la bomba no aplica fuerza.	Las válvulas no asientan bien o cuentan con alguna basura que impide cerrar bien.	Lavar bien la bomba, y verificar si los asientos de la bomba se encuentran sin daños.
Se tienen dudas en las lecturas de la máquina.	Deriva, debido al largo periodo de calibración.	Realizar la calibración.

c) Máquina para compresión con anillo de carga

La reparación deberá realizarse de acuerdo con los manuales de cada máquina, en caso de no contar con el manual se deberá seguir las recomendaciones contenida en la tabla 19:

Tabla 19. Fallas comunes de máquinas con anillo de carga y su posible solución.

PROBLEMA	FALLA	SOLUCIÓN
En la maquinas que funcionan con motor eléctrico no enciende.	Existe una mala alimentación de la corriente	Generalmente existe algún fusible abierto, se recomienda sustituirlo.
La máquina eléctrica no enciende	El fusible se encuentra abierto.	Se recomienda sustituirlo
El marco de carga aplica fuerza pero la unidad de medición no registra carga.	El indicador de carátula no se encuentra bien apoyado en la base del anillo de carga.	Ajustar bien el vástago del indicador a la base del anillo.
Al mover la palanca de aplicación de carga se atora, o no efectúa la aplicación de carga	Ruptura de los dientes de los engranes.	Sustituir engranes dañados.
El indicador de carátula, la lectura no cumple con repetibilidad.	La aguja se atora.	Lavar el indicador y revisar que la maquinaria se encuentre sin daños.
Se tienen dudas en las lecturas de la máquina.	Deriva, debido al largo periodo de calibración.	Realizar la calibración.

NOTA 1: Según la norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI, después de cualquier reparación, se debe efectuar un mantenimiento menor.

NOTA 2: Cuando en el mantenimiento elimina la grasa de partes móviles y cambio de aceite de las máquinas, se debe de aplicar grasa y aceite recomendados por el fabricante. En la tabla 20 y 21. se mencionan algunos tipos de grasas y aceites de acuerdo a la marca y al grado de viscosidad.

Tabla 20. Grasas recomendadas para lubricar las rotulas, mordazas, husillos y partes móviles.

MOBIL	ELF	PEMEX	TEXACO	ESSO
LITHIUM GREASE-SPECIAL	ELFSO LITREXA 6049-V	MULTI-LITIO MOLY-No2	MOLITEX GREASE No.2M	MULTIPORPUSE GREASE-MOLLY

Tabla 21. Aceites equivalentes a los recomendados en los manuales de máquinas de ensaye, de acuerdo a la marca y grado de viscosidad.

MOBIL	QUAKER	ELF	PEMEX	TEXACO	ESSO
DTE-24	SPEDD-OIL LIGHT	ELF-DTE 32	HIDRAULICO MH-150	RANDO 32	NU TO H-32
DTE-25	SPEDD-OIL MEDIUM	ELF-DTE 46	HIDRAULICO MH-220	RANDO 46	NU TO H-46
DTE-26	SPEDD-OIL HEAVY-MEDIUM	ELF-DTE 68	HIDRAULICO MH-300	RANDO 68	NU TO H-68
DTE-BB	SPEDD-OIL QQ	ELF-DTE 220	HIDRAULICO MH-150	RANDO 220	TERESSO 220

Un punto muy importante, es la limpieza habitual que cada laboratorista realice a la máquina que utiliza para sus ensayes, esto asegura en gran medida el buen funcionamiento de la misma.

- Se recomienda que los laboratoristas mantengan limpias las máquinas, teniendo cuidado de retirar los desperdicios del material ensayado al término de cada jornada de trabajo.
- Limpiar y lubricar las partes expuestas y partes móviles cada dos semanas, o una vez por mes, según el uso y el medio ambiente en que se encuentre instalada la máquina.
- En zonas con medio ambiente tropical y húmedo, conviene mantener las máquinas con una capa delgada de aceite ligero.
- Conviene que para proteger las máquinas del medio ambiente, se utilicen cubiertas ó fundas para taparlas, sobre todo, las partes del sistema de medición.

El mantenimiento de las máquinas es muy importante debido a que los datos obtenidos de éstas, impacta en el resultado de los ensayes realizados.

3.3 CALIBRACIÓN

3.3.1. PATRONES DE FUERZA

Son los instrumentos o sistemas de medición, destinados a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de la magnitud de fuerza, para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de fuerza. El patrón de fuerza para calibración de máquinas no debe tener un error relativo de repetibilidad mayor de 0,6% ni un error relativo de interpolación mayor de 0,3%. Los patrones empleados en México deberán ser calibrados por el Centro Nacional de Metrología (CENAM).

Cuando el equipo patrón para máquina es un dispositivo elástico y es usado a una temperatura de trabajo diferente a la temperatura de calibración, será necesario corregir la deflexión o lectura de respuesta del dispositivo elástico, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D_c = D_t [1 - K (t_t - t_c)]$$

Donde:

D_c = es la lectura de la deflexión corregida a la temperatura de calibración t_c (en °C)

D_t = es la deflexión a la temperatura de trabajo t_t (en °C)

$K = 0,00027$ es el coeficiente de temperatura, en $1/^\circ\text{C}$

Para dispositivos elásticos hechos de materiales de acero que no tengan más del 7% de aleación, se puede usar el valor del coeficiente $K = 0,00027/^\circ\text{C}$.

En general la mayoría de los transductores de fuerza con salida eléctrica o celdas de carga, están compensados por temperatura, sin embargo cuando estos no sean de este tipo, el valor de K debe ser proporcionado por el fabricante.

Nota 3: Cuando el dispositivo es de acero y la lectura de deflexión esté en unidades de longitud, la corrección por temperatura es aproximadamente igual a 0,001 por cada variación de 4°C .

a) Celdas de carga

Son elementos metálicos que al aplicárseles una fuerza de tensión o de compresión, aprovechando su comportamiento elástico, se deforman de manera proporcional a la fuerza aplicada. Esta deformación es transformada en impulsos eléctricos mediante galgas extensométricas, que son recibidas en un indicador eléctrico. Las celdas de carga deberán tener una capacidad igual o mayor a la de

la máquina que se pretende calibrar y un error de exactitud cuatro veces menor que el especificado para la máquina, Figura 6.

Las celdas pueden trabajar a tensión y/o a compresión.

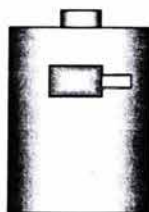


Figura 6. Celda de carga

b) Cápsulas de mercurio

Son dispositivos mecánicos que contienen mercurio en su interior, cuentan con un bulbo de vidrio y una marca de nivel para observar el desplazamiento del mercurio cuando a la cápsula se le aplica fuerza, además cuentan con un tornillo micrométrico que relaciona el desplazamiento del mercurio con la fuerza aplicada; pueden trabajar a compresión y a tensión deberán tener una capacidad igual o mayor al de la máquina que se pretende calibrar y un error de exactitud cuatro veces menor que el especificado para la máquina, ver Fig. 7.

Estas cápsulas son de origen suizo y ya no se fabrican, a pesar de ser dispositivos de muy alta exactitud. Estos patrones al igual que los anillos son muy sensibles a los cambios de temperatura por lo que se recomienda su uso en locales donde se tenga controlada la temperatura ambiente del local; asimismo, durante su operación se recomienda efectuar los ajustes por temperatura.

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA CAPSULA DE CALIBRACION MD 31

- 1.-CILINDRO DE DEFORMACION
- 2.-BLOCK DE COMPENSACION
- 3.-CAVIDAD
- 4.-CILINDRO MICROMETRICO
- 5.-PISTON DE MEDICION
- 6.-TUBO CAPILAR DE VIDRIO
- 7.-BULBO DE VIDRIO
- 8.-INDICADOR DE NIVEL DEL MERCURIO
- 9.-TORNILLO EMBOLO PARA AJUSTE
- 10.-ESCALA MICROMETRICA
- 11.-LENTE CON AUMENTO
- 12.-VIDRIO OPACO
- 13.-PLACA DE PRESION
- 14.-ESFERA METALICA (ROTULA)
- 15.-SOPORTE DE ROTULA
- 16.-MERCURIO
- 17.-AISLANTE DE PIEL

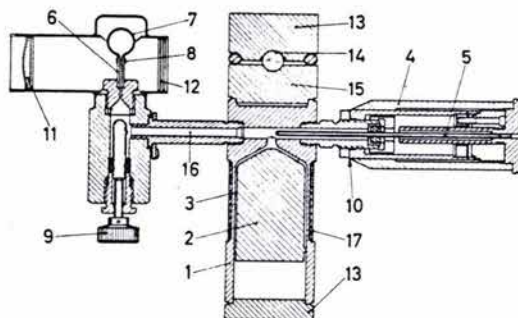


Figura 7. Cápsula de Mercurio

c) Anillos de fuerza

Es un dispositivo elástico en el cual la deflexión del anillo, cuando ha sido cargado a lo largo de su diámetro es medido por un tornillo micrométrico y una lengüeta vibrante montados diametralmente en el anillo; o bien un tornillo micrométrico que actúa dentro de una carátula indicando la deformación que sufre el anillo.

Los anillos de fuerza son calibrados contra patrones conocidos y de acuerdo a especificaciones de Laboratorios Nacionales, posteriormente se extiende un informe o certificado de calibración que indica como fue calibrado el instrumento, la temperatura a la cual se calibró e indica las fuerzas de calibración aplicadas así como sus correspondientes deflexiones y los coeficientes para la ecuación de calibración utilizada.

En la Figura 8. se observa las partes que integran un anillo de fuerza.

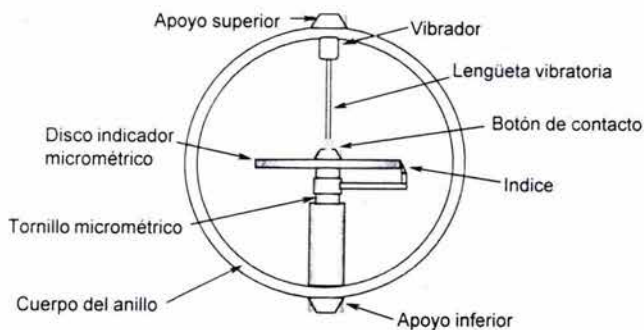


Figura 8. Anillo de fuerza

3.3.2 PROCEDIMIENTOS

Son las acciones ejecutadas en forma ordenada para lograr un propósito determinado. El procedimiento deberá contener, además del objetivo y alcance, los pasos detallados de la forma de realizar la actividad, de acuerdo a la estructura y orden siguiente.

- **Nombre y nomenclatura**
- **Objetivo o propósito:** para qué sirve el procedimiento
- **Alcance y campo de aplicación:** de dónde a dónde va y en dónde se aplicará
- **Responsabilidades:** quién es el responsable de elaborar el procedimiento, el que implementa y el que aplica
- **Documentos de referencia:** son los documentos que no forman parte del sistema: normas, reglamentos, etc.
- **Documentos relacionados:** son los documentos que forman parte del sistema: otros procedimientos u orden de trabajo
- **Históricos de cambios:** información de los cambios que va sufriendo el procedimiento a través del tiempo
- **Definiciones y acrónimos:** palabras claves y nuevas que se emplea en el procedimiento y que conviene describir su significado, descripción de las siglas

que se emplean para simplificar; ejemplo: SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes; ENEP Aragón: Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, etc.

- **Áreas involucradas:** áreas que intervienen en el procedimiento
- **Desarrollo del procedimiento:** descripción paso a paso del procedimiento.

Tabla 22. Ejemplo de un procedimiento

Calibración de máquinas universales con sistema de indicación analógico y/o digital	Nomenclatura	DGST-DPE-001/03
Objetivo o propósito: <i>Para qué sirve</i>	Caracterizar los errores de indicación y las incertidumbres que inciden en las mediciones de la máquina universal.	
Alcance y campo de aplicación: <i>De dónde a dónde va y en dónde se aplicará</i>	Este procedimiento se aplica a todas las máquinas universales con sistema de indicación analógica y/o digital	
Responsabilidades: Quien es el responsable de elaborar el procedimiento, el que implementa y el que aplica	Implementa: Subdirección de Laboratorios. Elabora: Depto. de Pruebas Estructurales. Ejecuta: Jefe de Laboratorio de Calibración y Mantenimiento.	
Documentos de referencia: <i>Son los documentos que no forman parte del sistema</i>	Norma NMX-CH-23-1994-SCFI	
Documentos relacionados: <i>Son los documentos que forman parte del sistema</i>	Norma NMX-CH-27-1994-SCFI	
Históricos de cambios: <i>Información de cambio del procedimiento a través del tiempo</i>	30 de junio de 1992 16 de abril de 1995 10 de marzo del 2000	
Definiciones y acrónimos: <i>Siglas que se emplean para simplificar</i>	NMX: Norma Mexicana SCFI: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.	
Áreas involucradas: <i>Áreas que intervienen en el procedimiento</i>	Subdirección de Laboratorios. Departamento de Pruebas Estructurales.	

Desarrollo del procedimiento:

Descripción paso a paso del procedimiento.

- El equipo patrón se debe ambientar muy cerca de la máquina que se va a calibrar 2 horas antes de iniciar la calibración.
- En caso que el equipo patrón cuente con alimentación de corriente alterna, verificar que el valor de alimentación sea correcto para el equipo.
- Conectar entre la alimentación eléctrica y el equipo patrón un regulador de voltaje.
- Los equipos patrón que funcionan con corriente eléctrica se deben energizar por lo menos 30 minutos antes para estabilizar sus componentes.
- Colocar un termómetro calibrado y certificado para medir la temperatura ambiente.
- Se enciende la máquina a calibrar por lo menos 30 minutos antes para que el aceite alcance la temperatura óptima de trabajo y con ello, evitar que la bomba se pueda dañar.
- Revisar el estado de funcionamiento de la máquina, encenderla y realizar movimientos de la platina y el cabezal para asegurar que trabaja sin ningún problema.
- Revisar que las tuberías estén bien conectadas, que no existan fugas y que se encuentren en buenas condiciones de funcionamiento, además, verificar que la máquina cuente con el nivel de aceite; que la viscosidad de éste, sea el adecuado.
- Verificar que todas las conexiones eléctricas estén en buen estado; asimismo, corroborar que no existan cables sueltos o dañados que pudieran provocar falsos contactos o cortos circuitos; también verificar que la alimentación eléctrica, sea la correcta.
- Observar que las partes mecánicas no se encuentren dañadas, trabadas o rotas y verificar la nivelación del marco de carga y de la unidad de medición.
- Se coloca el equipo que se va a utilizar para la calibración, centrándolo correctamente en la platina de la máquina, y si es necesario, ayudarse con un vernier, una regla o un flexómetro.
- Antes de iniciar la calibración se deben aplicar 2 series de cargas (precargas) del 80% al 100% del alcance máximo de medición de la máquina, manteniendo ésta durante dos minutos para que el equipo y la máquina disminuyan su histéresis y adquieran la estabilidad

	<p>necesaria para la operación.</p> <ul style="list-style-type: none">• Se aplica una carga continua tomando lecturas a cada décima parte del alcance máximo de medición de la máquina, a fin de verificar que la desviación que tiene cumpla con el requisito que establece la norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI, en caso contrario, se harán los ajustes necesarios a fin de mantener la desviación dentro del límite que establece la norma.• Una vez que el equipo de calibración se encuentra totalmente estabilizado y verificadas sus lecturas, se puede iniciar la calibración de la máquina universal.• Se aplican las cargas en forma continua, registrando 10 puntos de medición equivalente a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 y 1,0 parte del alcance total de medición de la máquina, de acuerdo con la Norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI.• Se deben realizar tres series de aplicación de cargas en forma ascendente, girando el equipo patrón, después de cada serie, un ángulo de 120°, 240° y 360°.• La aplicación de las cargas se realizará de manera constante, y de preferencia a una sola velocidad. Esta velocidad, por lo general la determina la resolución del equipo patrón. <p>La descarga de la máquina debe hacer a la misma velocidad a la que se efectuaron las cargas.</p>
--	---

a) Máquinas para compresión con sistema de indicación mediante anillos de carga e indicador de carátula o de cuadrante

Para efectuar la calibración a este tipo de máquinas se debe seguir el siguiente procedimiento.

Calibración de máquinas para compresión con sistema de indicación mediante anillos de carga e indicador de carátula o de cuadrante.	Nomenclatura	DGST-DPE-002/03
Objetivo o propósito:	Caracterizar los errores de indicación y las incertidumbres que inciden en las mediciones de la máquina para compresión con anillo de carga e indicador de carátula.	
Alcance y campo de aplicación:	Este procedimiento se aplica a todas las máquinas para compresión con anillo de carga e indicador de carátula.	
Responsabilidades:	Implementa: Subdirección de Laboratorios. Elabora: Depto. de Pruebas Estructurales. Ejecuta: Jefe de Laboratorio de Calibración y Mantenimiento.	
Documentos de referencia:	Norma NMX-CH-23-1994-SCFI	
Documentos relacionados:	Norma NMX-CH-27-1994-SCFI	
Históricos de cambios:	30 de junio de 1992 16 de abril de 1995 10 de marzo del 2000	
Definiciones y acrónimos:	NMX: Norma Mexicana SCFI: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.	
Áreas involucradas	Subdirección de Laboratorios. Departamento de Pruebas Estructurales.	
Desarrollo del procedimiento:	<ul style="list-style-type: none"> • El equipo patrón se debe ambientar muy cerca de la máquina que se va a calibrar 2 horas antes de iniciar la calibración. • En caso que el equipo patrón cuente con alimentación de corriente alterna, verificar que el valor de alimentación sea correcto para el equipo. • Conectar entre la alimentación eléctrica y el equipo 	

	<p>patrón un regulador de voltaje.</p> <ul style="list-style-type: none">• Los equipos que funcionan con corriente eléctrica se deben energizar por lo menos 30 minutos antes de iniciar la calibración para estabilizar sus componentes.• Colocar un termómetro calibrado y certificado.• Verificar que las partes mecánicas no se encuentren dañadas, que el maneral de aplicación de carga funcione correctamente, también verificar que la máquina esté bien nivelada desde la base hasta el cabezal.• Verificar que el anillo de carga no esté deformado, que el vástago del indicador de carátula tenga libertad de movimiento y que la aguja indicadora regrese a cero.• Revisar que todas las conexiones eléctricas estén en buen estado; asimismo, corroborar que no existan cables sueltos o dañados que pudieran provocar falsos contactos o cortos circuitos; también verificar que la alimentación eléctrica, sea la correcta.• Revisar que las partes que integran el marco de carga, estén perfectamente sujetas entre sí.• Se coloca el equipo que se va a utilizar para la calibración, centrándolo correctamente en el plato de carga de la máquina y si es necesario, ayudarse con una regla o un flexómetro.• Antes de iniciar la calibración se deben aplicar series de 2 cargas (precargas) del 80% al 100% del alcance máximo de medición de la máquina, manteniendo ésta dos minutos para que el equipo y la máquina disminuyan su histéresis y adquieran la estabilidad necesaria para la operación.• Se aplica una carga continua tomando lecturas a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, y 1,0 parte a lo largo del alcance máximo de medición de la máquina, a fin de verificar que la desviación que tiene, cumpla con el requisito que establece la norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI, en caso contrario, se harán los ajustes necesarios a fin de mantener la desviación dentro del límite que establece la norma.• Una vez que el equipo patrón de calibración se encuentra totalmente estabilizado, se puede iniciar la calibración de la máquina con anillo de carga.• Se aplica la carga en forma continua, registrando 10 puntos de medición equivalente a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, y 1,0 parte del alcance total de medición
--	--

	<p>de la máquina, de acuerdo con la Norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI.</p> <ul style="list-style-type: none">• Se deben realizar tres series de aplicación de cargas en forma ascendente, girando el equipo patrón, después de cada serie, un ángulo de 120°, 240° y 360°.• La aplicación de las cargas se realizará de manera constante, y de preferencia a una sola velocidad. Esta velocidad, por lo general la determina la resolución del equipo patrón.• Durante la calibración se recomienda no tocar el anillo de carga de la máquina, debido a que esto ocasiona alteraciones por cambio de temperatura en su masa. <p>La descarga de la máquina debe hacerse a la misma velocidad a la que se efectuaron las cargas.</p>
--	---

b) Máquinas para compresión con sistema de indicación analógico mediante manómetros.

Para efectuar la calibración a este tipo de máquinas se debe seguir el siguiente procedimiento.

Calibración de máquinas para compresión con sistema de indicación mediante manómetros.		Nomenclatura	DGST-DPE-003/03
Objetivo o propósito:	Caracterizar los errores de indicación y las incertidumbres que inciden en las mediciones de la máquina para compresión con sistema de indicación mediante manómetros.		
Alcance y campo de aplicación:	Este procedimiento se aplica a todas las máquinas para compresión con sistema de indicación mediante manómetros.		
Responsabilidades:	Implementa: Subdirección de Laboratorios. Elabora: Depto. de Pruebas Estructurales. Ejecuta: Jefe de Laboratorio de Calibración y Mantenimiento.		
Documentos de referencia:	Norma NMX-CH-23-1994-SCFI		
Documentos relacionados:	Norma NMX-CH-27-1994-SCFI		
Históricos de cambios:	30 de junio de 1992 16 de abril de 1995 10 de marzo del 2000		
Definiciones y acrónimos:	NMX: Norma Mexicana SCFI: Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.		
Áreas involucradas	Subdirección de Laboratorios. Departamento de Pruebas Estructurales.		
Desarrollo del procedimiento:	<ul style="list-style-type: none"> • El equipo patrón se debe ambientar muy cerca de la máquina que se va a calibrar 2 horas antes de iniciar la calibración. • En caso que el equipo patrón cuente con alimentación de corriente alterna, verificar que el valor de alimentación sea correcto para el equipo. • Conectar entre la alimentación eléctrica y el equipo patrón un regulador de voltaje. 		

- Los equipos que funcionan con corriente eléctrica se deben energizar por lo menos 30 minutos antes para estabilizar sus componentes.
- Colocar un termómetro calibrado y certificado.
- Verificar que las tuberías estén bien conectadas, que no existan fugas y que se encuentren en buenas condiciones de funcionamiento, además, verificar que la máquina cuente con el nivel de aceite y que la viscosidad de éste sea el adecuado.
- Verificar que todas las conexiones eléctricas estén en buen estado; asimismo, corroborar que no existan cables sueltos o dañados que pudieran provocar falsos contactos o cortos circuitos; también verificar que la alimentación eléctrica (si es que la tiene), sea la correcta.
- Verificar que las partes mecánicas no se encuentren dañadas, trabadas o rotas y verificar la nivelación del marco de carga.
- Revisar el estado de funcionamiento de la máquina realizando movimientos con el cabezal de carga para asegurar que trabaja sin ningún problema.
- Se coloca el equipo que se va a utilizar para la calibración, centrándolo correctamente en el plato de carga de la máquina y si es necesario, ayudarse con una regla o un flexómetro.
- Antes de iniciar la calibración se deben aplicar 2 series de cargas (precargas) del 80% al 100% del alcance máximo de medición de la máquina, manteniendo ésta dos minutos para que el equipo y la máquina disminuyan su histéresis y adquieran la estabilidad necesaria para la operación.
- Se aplica una carga continua tomando lecturas a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, y 1,0 parte a lo largo del alcance máximo de medición de la máquina, a fin de verificar que la desviación que tiene cumpla con el requisito que establece la norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI, en caso contrario, se harán los ajustes necesarios, a fin de mantener la desviación dentro del límite que establece la norma.
- Una vez que el equipo de calibración se encuentra totalmente estabilizado y verificadas sus lecturas, se puede iniciar la calibración de la máquina.
- Se aplican las cargas en forma continua, registrando 10 puntos de medición equivalente a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5,

	<p>0,6, 0,7, 0,8, 0,9, y 1,0 parte del alcance total de medición de la máquina, cada uno, de acuerdo con la Norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI.</p> <ul style="list-style-type: none">• Se deben realizar tres series de aplicación de carga en forma ascendente, girando el equipo patrón, después de cada serie, un ángulo de 120°, 240° y 360°.• La aplicación de las cargas se realizará de manera constante, y de preferencia a una sola velocidad. Esta velocidad, por lo general la determina la resolución del equipo patrón. <p>La descarga de la máquina debe hacerse a la misma velocidad a la que se efectuaron las cargas.</p>
--	--

3.3.3. INFORME DE CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Es el documento formal, que contiene la información de la máquina calibrada, del equipo de calibración empleado y los resultados de la calibración.

Los datos mínimos requeridos que debe contener un informe de calibración son los siguientes:

a) Identificación de la máquina a calibrar.

- Dependencia atendida.
- Ubicación.
- Tipo de máquina.
- Marca y/o modelo.
- Número de serie.
- Alcance de medición.
- Escala.
- Intervalo calibrado.
- Resolución de la máquina.
- Fecha de la última calibración.

b) Identificación del equipo de calibración utilizado como patrón.

- Tipo de patrón utilizado.
- Marca y/o modelo.
- Numero de serie
- Alcance de medición.
- Intervalo de calibración del equipo patrón.
- Número de certificado.
- Fecha de calibración.
- Incertidumbre del patrón.

c) Los resultados de la calibración.

- Cargas aplicadas.
- Lectura de la máquina bajo prueba.

d) Cálculos.

- Promedio.
- Error relativo de cero.
- Error relativo de exactitud.
- Error relativo de repetibilidad.
- Incertidumbre de resolución.
- Incertidumbre de repetibilidad.
- Incertidumbre combinada.
- Incertidumbre expandida.
- Temperatura de calibración.

A continuación en la Figura 9, se muestra el formato de un informe de calibración y en la Figura 10, se presenta el informe completo de la calibración.

LABORATORIO DE CALIBRACION

DEPENDENCIA ATENDIDA:											HOJA Nr:				
UBICACION:											CAL				
EQUIPO:											PATRON USADO:				
ALCANCE DE MEDICION:											ALCANCE DE MEDICION:				
ESCALA:											INTERVALO CALIBRADO:				
INTERVALO CALIBRADO:											MARCA:				
MARCA:											SERIE NUM.				
SERIE NUM:											FECHA:				
RESOLUCION:											INCERTIDUMBRE:				
ULTIMA CALIBRACION:															
FUERZA APLICADA		LECTURAS DE LA MAQUINA						MEDIA		ERROR	INCERTIDUMBRE DE LA CALIBRACION				
EQUIPO PATRON		SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	(kN)	(%)	Ur	Ur	UP	Uc	Uexp	
(kN)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kN)	(kN)	(kN)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	
Intervalo de Temp =															
OBSERVACIONES:															
EL JEFE DE LA SECCION DE CALIBRACION											JEFE DEL LABORATORIO DE CALIBRACION Y MANTENIMIENTO				

Figura 9. Formato de informe de calibración.

3.3.4. EJEMPLO

Se desea calibrar una máquina universal marca Shimadzu, de 980,7 kN de capacidad, serie 51206, en la escala de carga de 882,6 kN (90 000 kgf), instalada en la Unidad General de Servicios Técnicos del Centro S.C.T. Sinaloa

En la calibración de ésta máquina se tomará en cuenta lo siguiente:

- Se empleará una celda de carga de 882,6 kN (90 000 kgf), con indicador digital. (patrón de referencia)
- Se aplicarán tres series de cargas ascendentes registrando nueve puntos en cada uno, correspondientes a 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 y 0,9, del alcance máximo de medición.
- Debido a que la lectura de la máquina está dada en kilogramos fuerza, en el informe se presentarán los resultados tanto en kilogramos fuerza como en kilo Newton.
- El análisis de los resultados se hará de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-1994-SCFI.

Las lecturas obtenidas de la calibración se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Lecturas obtenidas del proceso de calibración en kgf.

FUERZA APLICADA		LECTURAS EN LA CARATULA DE LA MAQUINA		
EQUIPO PATRÓN		SERIE 1 (0°)	SERIE 2 (120°)	SERIE 3 (240°)
(kN)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)
0	0	0	50	0
98,07	10000	9950	9950	9950
196,1	20000	19900	19900	19900
294,2	30000	29900	29800	29900
392,3	40000	39900	39900	40000
490,3	50000	50000	49900	49900
588,4	60000	59900	59900	59900
686,5	70000	70100	70000	70000
784,5	80000	80000	80100	80000
882,6	90000	89800	90000	89800

A manera de ejemplo se efectúa el cálculo de los errores relativos de repetibilidad, de exactitud y de cero, así como las incertidumbres de repetibilidad, de resolución, del patrón, combinada y expandida para la carga de 490,3 kN (50 000kgf) y los valores de las tres series obtenidos en la carátula de la máquina en kgf, se utilizan para realizar los cálculos correspondientes en kN.

Una vez obtenidas las lecturas de la calibración, se calcula el promedio de las tres series, para obtener el error relativo de repetibilidad y exactitud.

Error relativo de repetibilidad (b)

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \cdot 100$$

En donde:

b = Error relativo de repetibilidad del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensaye.

F_{\max} = es el valor mas alto de F para la misma fuerza discreta

F_{\min} = es el valor mas bajo de F para la misma fuerza discreta

\bar{F} es la media aritmética de tres mediciones de F para la misma fuerza discreta.

$$\bar{F} = \frac{490,33 \text{ kN} + 489,35 \text{ kN} + 489,35 \text{ kN}}{3} = 489,68 \text{ kN}$$

Por lo tanto

$$F_{\min} = 489,35$$

$$F_{\max} = 490,33$$

$$b = \frac{490,33 \text{ kN} - 489,35 \text{ kN}}{489,68 \text{ kN}} \cdot 100$$

$$b = 0,2 \%$$

Error relativo de exactitud (q)

que es expresado en porcentaje por:

$$q = \frac{\bar{F} - F}{F} \cdot 100$$

Donde:

q = Error relativo de exactitud del sistema de medición de fuerza de la máquina de ensaye.

F = Fuerza verdadera indicada por el patrón cuando se aplica fuerza de prueba ascendente,

\bar{F} = es la media aritmética de tres mediciones de F para la misma fuerza.

Por lo tanto:

$$q = \frac{489,68 \text{ kN} - 490,33 \text{ kN}}{490,33 \text{ kN}} \cdot 100$$

$$q = -0,13 \%$$

Posteriormente se calculan las incertidumbres del informe de calibración.

Error relativo de cero (F_0)

El error relativo de cero se calcula usando la siguiente ecuación

$$F_0 = \frac{F_{0f} - F_{0i}}{F_N} \cdot 100$$

En donde:

F_0 = Error relativo de cero de la maquina de ensaye.

F_{0f} = es la lectura indicada por la máquina 30s después de retirada la carga.

F_{0i} = es la lectura indicada por la máquina antes de aplicar la carga.

F_N = es el valor correspondiente al alcance máximo de medición de la máquina.

Por lo tanto:

$$F_0 = \frac{0,49 \text{ kN} - 0 \text{ kN}}{980,67 \text{ kN}} \cdot 100$$

$$F_0 = 0,05 \%$$

Cálculo de incertidumbres

La incertidumbre de una medición refleja la falta del conocimiento exacto del valor del mensurando, por lo que en este sentido la incertidumbre de la medición es el "Parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando.

La incertidumbre del resultado de una medición está constituido por componentes, que se agrupan en dos categorías, dependiendo de la manera en que se estime su valor numérico.

De acuerdo a la forma en que se obtiene la incertidumbre, esta se clasifica en dos tipos: A y B.

Incertidumbre tipo A

Aquellas que se evalúan por métodos estadísticos caracterizadas mediante las varianzas estimadas de la desviación estándar y el número de lecturas o grados de libertad.

Incertidumbre de repetibilidad (U_R)

Incertidumbre de resolución (U_r)

Incertidumbre combinada (U_c)

Incertidumbre expandida (U_{exp})

Incertidumbre tipo B

Se caracteriza mediante cantidades que pueden ser consideradas como aproximaciones de las varianzas correspondientes

Incertidumbre del patrón (U_p).

Para el ejemplo se calcularán las incertidumbres de repetibilidad, de resolución, combinada y expandida, ya que son las que afectan principalmente la operación de una máquina de fuerza.

Incertidumbre de repetibilidad (U_R)

Cálculo de la desviación estándar

$$U_R = \frac{s \cdot t}{\sqrt{n}}$$

siendo $t_{n-1, 95,5\%}$ la "t" de Student con n-1 grados de libertad y nivel de confianza de 95,45%.

y

n, el número de lecturas para el mismo.

En la tabla 24 se observan diferentes valores de la t de Student para una distribución normal, este valor de corrección debe aplicarse principalmente cuando se tengan menos de 10 lecturas.

Número de observaciones n	t	t/2
	K = 1 P = 68,27%	K = 2 P = 95,45%
2	1,84	6,985
3	1,32	2,265
4	1,20	1,655
5	1,14	1,435
6	1,11	1,325
7	1,09	1,260
8	1,08	1,215
9	1,07	1,185
10	1,06	1,160
100	1,005	1,0125
∞	1,000	1,000

Tabla 24. Valores de la t de Student para menos de 10 lecturas.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(F_i - \bar{F})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(490,33 - 489,68)^2 + (489,35 - 489,68)^2 + (489,35 - 489,68)^2}{3 - 1}} = 0,57$$

$$U_R = \frac{S \cdot t}{\sqrt{3}} = \frac{0,57 \cdot 2,265}{1,7320}$$

$$U_R = 0,74$$

Incertidumbre de resolución (U_r)

La resolución (r) de un instrumento es el valor menos significativo (**DMS**) que puede ser leído claramente por el operador.

La resolución " r " de un instrumento analógico se obtiene de la relación entre el ancho de la aguja y la distancia centro a centro entre dos marcas adyacentes de graduación de la escala (división de la escala). Las relaciones recomendadas son siguiente $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$ o $\frac{1}{10}$, requiriéndose un espacio de 2,5 mm o mayor para la estimación de un décimo de división de la escala y se debe calcular de la manera:

$$r = \frac{1}{\frac{d}{c} + 1} D$$

D = valor de la división mínima de la escala,

d = longitud de la división mínima de la escala,

c = ancho de la aguja,

se asigna una distribución rectangular con ancho R :

Cuando $d/c \geq 10$ tendremos que:

Las unidades de d y c son de longitud, mientras que la de D es lectura del indicador, en fuerza.

$$r = \frac{D}{10} \text{ en los demás casos,}$$

por lo que la incertidumbre estándar se calcula dividiendo el resultado anterior entre $2\sqrt{3}$, debido a que también para un nivel de confianza del 95,45%, por lo tanto.

$$U_r = \frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

$$U_r = \frac{0,490 \text{ kN}}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

$$U_r = 0.141 \text{ kN}$$

Incertidumbre del Patrón (U_p)

La incertidumbre del patrón, es la incertidumbre que está declarada en el certificado de calibración del equipo con el que se calibra la máquina. Por lo tanto:

$$U_p = 0,1912 \text{ kN}$$

Incertidumbre Combinada (U_c)

$$U_c = \sqrt{U_R + U_r + U_p}$$

Teniendo finalmente que la incertidumbre de la calibración se obtendrá aplicando la siguiente ecuación.

$$U_c = \sqrt{U_{\text{Re solución}}^2 + U_{\text{Re petibilidad}}^2 + U_{\text{patrón}}^2}$$

$$U_c = \sqrt{(0,141)^2 + (0,74)^2 + (0,1912)^2}$$

$$U_c = 0,78 \text{ kN}$$

Incertidumbre Expandida (U_{exp}).

La incertidumbre Expandida se considera 2 veces la incertidumbre combinada, solo que el valor de esta incertidumbre se representa en (%)

$$U_{\text{exp}} = 2 \cdot U_c$$

$$U_{\text{exp}} = \frac{0,78 \text{ kN} \cdot 2}{490,3 \text{ kN}} \cdot 100$$

$$U_{\text{exp}} = 0,32 \%$$

LABORATORIO DE CALIBRACION

INFORME DE CALIBRACION DE MAQUINA UNIVERSAL

DEPENDENCIA ATENDIDA:		Unidad General de Servicios Tecnicos							FOJA N°:		2 / 6				
UBICACION:		Culiacan, Sin.							CAL:		85				
									FECHA:		4/09/2003				
MAQUINA:		Máquina universal							PATRON USADO:		Celdas de Carga / Indicador Digital				
MARCA:		Shimadzu							MARCA:		Control's / Control's				
SERIE NUM:		51206							SERIE NUM:		601494 / 104242				
ALCANCE DE MEDICION:		980.7 kN (100 000 Kgf)							ALCANCE DE MEDICION:		1 000 kN				
ESCALA:		980.7 kN							INTERVALO CALIBRADO:		99.9 - 999.9 kN				
INTERVALO CALIBRADO:		98.07 - 882.6 kN							CERTIFICADO NUM:		00081				
RESOLUCION:		0.490 kN							FECHA:		12/11/02				
ULTIMA CALIBRACION:		Octubre / 02							INCERTIDUMBRE:		Se indica en columna U _{ip}				
FUERZA APLICADA EQUIPO PATRON		LECTURAS EN LA CARATULA								ERROR EN (%)	INCERTIDUMBRE DE LA CALIBRACION				
		SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	PROMEDIO	U _r		U _r	U _p	U _c	U _{exp}	
(kN)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	
0	0	0.00	50	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
98.07	10000	9950	9950	9950	97.58	97.58	97.58	97.58	-0.50	0.00	0.141	0.1912	0.24	0.49	
196.1	20000	19900	19900	19900	195.2	195.2	195.2	195.2	-0.50	0.00	0.141	0.1912	0.24	0.24	
294.2	30000	29900	29800	29900	293.2	293.2	293.2	293.2	-0.44	0.74	0.141	0.1912	0.78	0.53	
392.3	40000	39900	39900	40000	391.3	391.3	392.3	391.6	-0.17	0.74	0.141	0.1912	0.78	0.40	
490.3	50000	50000	49900	49900	490.3	489.4	489.4	489.7	-0.13	0.74	0.141	0.1912	0.78	0.32	
588.4	60000	59900	59900	59900	587.4	587.4	587.4	587.4	-0.17	0.00	0.141	0.1912	0.24	0.08	
686.5	70000	70100	70000	70000	687.4	686.5	686.5	686.8	0.05	0.74	0.141	0.1912	0.78	0.23	
784.5	80000	80000	80100	80000	784.5	785.5	784.5	784.9	0.04	0.74	0.141	0.1912	0.78	0.20	
882.6	90000	89800	90000	89800	880.6	882.6	880.6	881.3	-0.15	1.48	0.141	0.1912	1.50	0.34	
Error relativo de cero = 0.05%															
Intervalo de Temp. = 29.0 - 30.0°C															
OBSERVACIONES:															
De acuerdo a los resultados del error, la máquina queda denominada como clase 1, conforme a la norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI, en el intervalo calibrado.															
La máquina debe ser empleada únicamente dentro del intervalo calibrado.															
U _r = Incertidumbre de repetibilidad. U _r = Incertidumbre de resolución. U _p = Incertidumbre del patrón. U _c = Incertidumbre combinada. U _{exp} = Incertidumbre expandida.															
AJUAR TECNICO DE CALIBRACION								JEFE DEL LABORATORIO DE CALIBRACION Y MANTENIMIENTO							

Figura 10. Informe de calibración terminado

LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y PRUEBA DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

CAPITULO 4

4 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Los materiales pétreos o suelos empleados para la construcción de pavimento de una carretera son seleccionados de acuerdo a sus características físicas y propiedades mecánicas. Dependiendo de estas cualidades físicas y mecánicas, y de la forma en que son conformados, estabilizados y del lugar que ocupa la capa de este material en la estructura del pavimento, reciben nombre como subrasante, sub-base, base y capa de rodamiento. Asimismo, en la construcción de estructuras de concreto y estructuras metálicas para puentes o sistemas de señalización, se emplean diferentes tipos de aceros, tales como acero de refuerzo, de preesfuerzo, estructural y láminas.

4.1. MATERIAL PARA SUBRASANTE

Esta capa se construye con gravas clasificadas como: grava bien graduada GW, grava mal graduada GP, grava limosa GM y grava arcillosa GC; arenas clasificadas como: arena bien graduada SW, arena mal graduada SP, arena limosa SM y arena arcillosa SC; y finos clasificados como: limo de baja compresibilidad ML, arcilla de baja compresibilidad CL y materia orgánica de baja compresibilidad OL. Estos materiales deben tener un valor relativo de soporte no menor de 10%.

4.2. MATERIAL PARA SUB-BASE

Los materiales empleados para la construcción de la capa de sub-base pueden ser materiales pétreos que no requieren ningún tratamiento de disgregación, cribado o trituración; material pétreo que requiere de tratamiento de disgregación, cribado o trituración; o materiales obtenidos de la mezcla de los dos anteriores. Estos materiales deben tener un valor relativo de soporte no menor de 50%.

4.3. MATERIAL PARA BASE

Los materiales empleados para la construcción de la capa de base de pavimento flexible y para sub-base de pavimento rígido, pueden ser materiales pétreos que no requieren ningún tratamiento de disgregación, cribado o trituración; material pétreo que requiere de tratamiento de disgregación, cribado o trituración; o materiales obtenido de la mezcla de los dos anteriores. Estos materiales deben tener un valor relativo de soporte no menor de 100%.

4.4. MATERIAL PARA CAPA DE RODAMIENTO

4.4.1. CARPETA ASFÁLTICA

La capa de rodamiento se construye con una mezcla elaborada con un material pétreo y un producto asfáltico en caliente, denominada mezcla asfáltica o concreto asfáltico. El material pétreo requiere de uno o varios de los siguientes tratamientos: disgregación, cribado, trituración y cribado, y lavado. También existe la posibilidad de emplear la mezcla de dos de los materiales antes mencionados.

La mezcla asfáltica así fabricada deberá cumplir con un valor mínimo de estabilidad Marshall de 6,86kN (700 kgf).

4.4.2. LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO

La losa de concreto hidráulico empleada como capa de rodamiento en pavimento rígido se construye con concreto elaborado con material pétreo y cementante hidráulico, para una resistencia a la compresión simple f_c y un módulo de ruptura MR, de proyecto. Este concreto deberá cumplir con los siguientes requisitos de variabilidad de la resistencia a la compresión simple y el módulo de ruptura establecidos en el proyecto.

4.4.2.1. REQUISITOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

El número de muestras debe ser como mínimo de dos especímenes a la edad especificada. El resultado de una prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los dos especímenes.

Los requisitos de resistencia deberán cumplirse con un nivel de confianza del 98 %.

4.4.2.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El concreto debe alcanzar la resistencia a la compresión (f_c) especificada, con un mínimo de 30 pruebas, a la edad de 28 días o a otra edad convenida y cumplir con lo siguiente:

Se acepta que no más del 10 % del número de pruebas de resistencia a compresión, tengan valores inferiores a la resistencia especificada f_c .

Se acepta que no más del 1 % de los promedios de 3 pruebas de resistencia a la compresión consecutiva, sean inferiores a la resistencia especificada.

Cuando el número de pruebas para el cálculo del promedio de pruebas consecutivas establecidas, es menor de 30, todos los promedios de pruebas consecutivas posibles de resultados obtenidos, deben ser igual o mayores que las cantidades indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 25. Valores de $f_{p_{\min}}$ para diferentes números de pruebas consecutivas

Número de pruebas consecutivas	Resistencia promedio a la compresión	
	Mpa	(kgf/cm ²)
1	$f'c - 3,43$	$(f'c - 35)$
2	$f'c - 1,27$	$(f'c - 13)$
3	$f'c$	$(f'c)$

Cada uno de estos valores se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$f_{p_{\min}} = f'_c - \sigma \left[\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{10} \right]$$

En donde:

$f_{p_{\min}}$ = valor mínimo aceptable del promedio de pruebas consecutivas, en MPa (kgf/cm²)

f'_c = resistencia a la compresión especificada en MPa (kgf/cm²)

σ = desviación estándar para resistencia a la compresión, 3,43 MPa (35 kgf/cm²)

t_1 = 1,282

t_{10} = 2,326

n = número de pruebas consecutivas

Este criterio de evaluación es aplicable cuando la f'_c es igual o mayor de 19,6 Mpa (200 kgf/cm²), a menos que de común acuerdo se establezca otro valor entre el productor del concreto y el estructurista o usuario.

Para eliminar la ocurrencia de resultados excesivamente bajos, es conveniente tener como valor máximo para operación de producción de concreto, una desviación estándar (σ) de 3,43 MPa (35 kgf/cm²).

4.5. ACEROS

4.5.1. ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO HIDRÁULICO

El acero, varillas corrugadas y varillas corrugadas torcidas en frío, empleado como refuerzo del concreto armado, se fabrica a partir de lingotes, rieles o ejes.

Las varillas se identifican con el grado y el número. El grado es el valor del límite de fluencia del acero en kgf/mm^2 ; y el número, es el número de octavos de pulgada que indica el diámetro de la varilla.

Las varillas corrugadas deberán cumplir con los requisitos de tensión, alargamiento y doblado, indicados en la Tabla 26.

Tabla 26. Requisitos de tensión de varillas corrugadas.

Concepto	Varillas procedentes de lingotes			Varillas procedentes de rieles		Varillas procedentes de ejes		Varillas torcidas en frío		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
Límite de fluencia, en MPa(kgf/cm^2), mínimo	294 (3000)	412 (4200)	510 (5200)	343 (3500)	412 (4200)	294 (3000)	412 (4200)	412 (4200)	490 (5000)	588 (6000)
Esfuerzo máximo, en MPa(kgf/cm^2), mínimo	490 (5000)	618 (6300)	686 (7000)	549 (5600)	618 (6300)	490 (5000)	618 (6300)	510 (5200)	588 (6000)	686 (7000)

4.5.2. ACERO DE PREESFUERZO PARA CONCRETO HIDRÁULICO

El acero de preesfuerzo empleado generalmente en estructuras de concreto, comúnmente conocido como torón, está formado por seis alambres colocados en forma helicoidal sobre un alambre central con un paso uniforme no menor de 12 a 16 veces el diámetro nominal del torón.

El torón para concreto preesforzado se clasifica en dos grupos, de acuerdo con su resistencia (norma mexicana NMX-NMX-B-292).

Grado 176 1725 MPa (176 kgf/mm^2)

Grado 190 1860 MPa (190 kgf/mm^2)

REQUISITOS FÍSICOS.

El acero de preesfuerzo, después de su fabricación, es sometido a un proceso de relevado de esfuerzos para obtener las propiedades mecánicas requeridas.

ACABADO.

El alambre para la fabricación del torón tendrá un acabado común.

Los torones tendrán un diámetro uniforme, sin defectos perjudiciales.

Cuando el torón se corte, sin sujetadores, los alambres no deben quedar fuera de posición. Cuando uno o varios alambres quedan fuera de su posición y sea posible acomodarlos manualmente, el torón se considerará como satisfactorio.

A menos que se especifique lo contrario no se aceptarán juntas ni traslapes en la longitud total de los torones.

Durante el proceso de fabricación de los alambres individuales para fabricar el torón, se permitirá la soldadura antes del tratamiento térmico de patentado o en la última etapa de patentado del alambre, antes del estirado final.

Durante la fabricación del torón pueden hacerse juntas soldadas a tope en los alambres individuales previendo que no exista más de una junta en cualquier tramo de 45 m del torón terminado. Cuando se especifique torón sin uniones soldadas se proporcionará un producto libre de soldadura.

No se permitirá que los torones estén aceitados o engrasados; la oxidación no será motivo de rechazo siempre que ésta no haya causado picaduras visibles a simple vista.

DIMENSIONES

El torón terminado se clasifica con el diámetro nominal, en milímetros.

El diámetro del alambre central de cualquier torón, será mayor que el diámetro de cualquiera de los seis alambres exteriores que lo constituyen, conforme a lo indicado en la Tabla 27.

TOLERANCIAS

Diámetro

La tolerancia en el diámetro nominal para los torones del grado 176 es de $\pm 0,40$ mm y para el grado 190, es de $+0,66$ a $-0,15$ mm.

Área

Las variaciones en la sección transversal, como consecuencia de la variación en el diámetro del torón, no será motivo de rechazo, siempre y cuando las diferencias en el diámetro de los alambres individuales y el diámetro del torón estén dentro de las tolerancias indicadas en la Tabla 27.

Dimensiones especiales

Pueden emplearse torones relevados de esfuerzos y de bajo relajamiento con diámetros nominales hasta 19 mm, siempre y cuando en el proyecto se

especifique la resistencia de ruptura y que la resistencia de fluencia cumpla con la resistencia a la tensión.

RESISTENCIA A LA TENSIÓN

La resistencia a la tensión del acero de presfuerzo (torón) terminado, cumplirá con los requisitos indicados en la Tabla 27.

Límite de fluencia

El límite de fluencia mínimo indicado en la Tabla 27 no será menor del 85% de la resistencia de ruptura mínima especificada.

Alargamiento

El alargamiento total del torón bajo carga será como mínimo de 3,5% con base a una longitud calibrada de 610 mm.

Las probetas que se rompan fuera de la zona calibrada y que cumplan con los valores mínimos especificados, deben considerarse que cumplen con los requisitos de alargamiento.

Si se cumple con el requisito de alargamiento mínimo antes de la ruptura, no será necesario determinar el valor de alargamiento hasta la carga de ruptura.

Tabla 27. Características y requisitos mecánicos de torones de siete alambres.

Diámetro nominal		Diferencia mínima entre los alambres central y exterior	Area nominal	Masa nominal aproximada	Carga inicial		Carga mínima al 1% (límite de fluencia)		Carga a la ruptura		
in	mm				mm	mm ²	kg/1 000m	N	kgf	N	kgf
Grado 176											
1/4	6,35	0,025	23,22	182	4 000	410	34 000	3 470	40 000	4 080	
5/16	7,94	0,038	37,42	294	6 500	660	54 700	5 580	64 500	6 580	
3/8	9,53	0,051	51,61	405	8 900	910	75 600	7 710	89 000	9 070	
7/16	11,11	0,063	69,68	548	12 000	1 220	102 300	10 430	120 100	12 250	
1/2	12,70	0,076	92,90	730	16 000	1 630	136 200	13 880	160 100	16 330	
0.6	15,24	0,102	139,35	1 094	24 000	2 450	204 200	20 820	240 200	24 500	
Grado 190											
3/8	9,53	0,051	54,84	432	10 200	1 040	87 000	8 870	102 300	10 430	
7/16	11,11	0,063	74,19	582	13 800	1 410	117 200	11 950	137 900	14 060	
1/2	12,70	0,076	98,71	775	18 400	1 870	156 100	15 920	183 700	18 730	
0.6	15,24	0,102	140,00	1 102	26 100	2 660	221 500	22 590	260 700	26 580	

4.5.3. ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO

El acero estructural al carbono se suministra en la modalidad y formas de perfiles, planchas y barras, para construcciones remachadas, atornilladas o soldadas, en puentes y edificios y para usos estructurales en general.

Requisitos mecánicos

El acero estructural al carbono deberá cumplir con los requisitos de la prueba de tensión indicada en la tabla 28.

No será necesario someter a pruebas de tensión los perfiles con sección transversal menor de 6,45 cm² y las barras que no sean soleras, menores de 1,27 cm de espesor o de diámetro.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7,9 mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200 mm, de 1,25% por cada 0,8 mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7,9 mm. Para efectuar esta deducción puede emplear la siguiente ecuación.

$$a = A - \left[\frac{1,25(7,9 - e)}{0,8} \right]$$

a = Alargamiento ajustado

A = Alargamiento real

e = Espesor o diámetro

La probeta para doblado deberá soportar un doblado en frío hasta de 180° sobre un mandril cuyo diámetro se indica en la tabla 29, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

Tabla 28. Requisitos de tensión para acero estructural

Concepto	Requisitos
Planchas, perfiles (a) y barras:	
Esfuerzo máximo, MPa(kgf/cm ²)	398 a 549 (4 060 a 5 600)
Límite elástico aparente, MPa(kgf/cm ²), mínimo	247 (2 520) ^(b)
Planchas y barras:	
Alargamiento en 200 mm, por ciento, mínimo	20 ^(c)
Alargamiento en 50 mm, por ciento, mínimo	23
Perfiles:	
Alargamiento en 200 mm, por ciento, mínimo	20 ^(c)
Alargamiento en 50 mm, por ciento, mínimo	21 (a)

- a) Para perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m. Solamente se especifica el esfuerzo máximo de 398 MPa (4 060 kgf/cm²) como mínimo y alargamiento en 50 mm, de 19% mínimo.
- b) Para planchas con espesor mayor de 200 mm, el límite elástico será de 220 MPa (2 240 kgf/cm²), mínimo.

Tabla 29. Requisito para la prueba de doblado de acero estructural

Espesor del elemento en mm	Relación diámetro mandril / espesor de la probeta para planchas, perfiles y barras *
Hasta 19,1 incl.	0,5
Mayor de 19,1 hasta 25,4 incl.	1,0
Mayor de 25,4 hasta 38,1 incl.	1,5
Mayor de 38,1 hasta 50,8 incl.	2,5
Mayor de 50,8	3,0

*Estas relaciones se aplican únicamente para el comportamiento de un espécimen bajo la acción del doblado; dicho espécimen se toma siempre en dirección longitudinal y generalmente se le hace una preparación en sus aristas. Cuando las planchas se doblan para una operación de fábrica, se deben usar unos radios mayores, particularmente si el eje de doblado se encuentra en la dirección desfavorable (longitudinal).

4.5.4. LÁMINAS DE ACERO PARA DEFENSAS DE CARRETERA

Las defensas son un sistema compuesto por vigas metálicas acanaladas de dos (2) o tres (3) crestas, fijadas con tornillos y tuercas a separadores, que a su vez lo están a postes metálicos colocados en puntos específicos a lo largo de una carretera.

Requisitos mecánicos

El material empleado en la fabricación de los tramos de vigas, vigas de transición, secciones terminales, parachoques, separador y poste, será acero obtenido mediante el proceso de horno de hogar abierto, básico al oxígeno u horno eléctrico; y debe cumplir con los requisitos mecánicos indicados en la Tabla 30.

Tabla 30.- Requisitos de tensión para defensa guarda caminos

Elementos de defensa	Límite de fluencia mínimo MPa (kgf/cm ²)	Esfuerzo de tensión mínimo MPa (kgf/cm ²)	Alargamiento mínimo en 50 mm %
Secciones de vigas, vigas de transición y placas de respaldo	345 (3 500)	483 (4 900)	12
Secciones terminales y parachoques	227 (2 300)	310 (3 200)	20
Postes y separadores	245 (2 500)	402 (4 100)	20

4.5.5. LÁMINAS DE ACERO PARA SEÑALAMIENTO VERTICAL EN CARRETERA

Es el conjunto de elementos metálicos, tableros, estructuras y postes, que forman y sustentan el sistema de señalamiento vertical en carreteras.

Requisitos mecánicos

En la fabricación de los dispositivos para el señalamiento vertical se emplearán láminas de acero al carbono laminado en caliente, perfiles tubulares rectangulares (PTR), perfiles de acero en canal Mon-Ten, perfiles estructurales "L", ángulos, tornillos, birlos, anclas, tuercas y arandelas. El acero de dichos elementos se obtendrá mediante el proceso de horno de hogar abierto, básico al oxígeno u horno eléctrico.

Las láminas y estructuras para señalamiento vertical cumplirán con los valores especificados en la Tabla 31.

TABLA 31.- Requisitos de tensión para láminas, ángulos y perfiles de dispositivos de señalamiento y estructuras

Propiedades	Láminas y ángulos	Perfiles
Resistencia en el límite de fluencia, mínima, en MPa (kgf/cm ²)	173 (1 764)	227 (2 315)
Resistencia a la tensión, mínima, en MPa (kgf/cm ²)	310 (3 161)	358 (3 650)
Alargamiento en 50 mm, mínimo, en %, para espesores de:		
5,839 a 2,469 mm	27	25
2,466 a 1,615 mm	25	24
1,613 a 0,648 mm	23	21
Alargamiento en 200 mm, mínimo, en %, para espesores de:		
5,839 a 2,469 mm	20	19
2,466 a 2,266 mm	18	17

LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y PRUEBA DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

CAPITULO 5

5. ENSAYE DE MATERIALES

5.1. VALOR RELATIVO DE SOPORTE (CBR)

Es el índice de resistencia de los suelos empleados en diferentes capas de la estructura de los pavimentos

5.1.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinar la resistencia de los suelos empleados en la construcción de capas de pavimentos para carreteras, mediante la penetración de un pistón cilíndrico de 4,95 cm de diámetro.

5.1.2. EQUIPO

Máquina de compresión con capacidad mínima de 29,4 kN (3 000 kg) y aproximación de 98,1 N (10 kg), provista de un pistón de penetración de acero, con diámetro de 4,95 cm y sección de 19,35 cm², Figura 11. Deberá contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 2 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

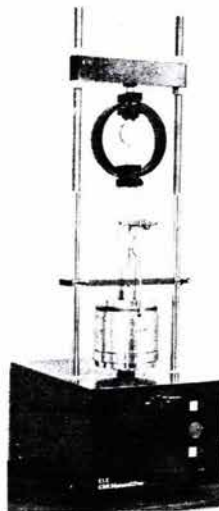


Figura 11. Prensa para determinar la resistencia CBR en muestras de suelos

5.1.3. PREPARACIÓN

De una muestra de suelo para una determinada capa de pavimento se determina el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima, mediante el método de compactación AASHTO estándar o modificado; posteriormente se elaboran los especímenes que se emplearán para la determinación del CBR, en los que se reproduce el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima previamente determinados. Fig. 12.

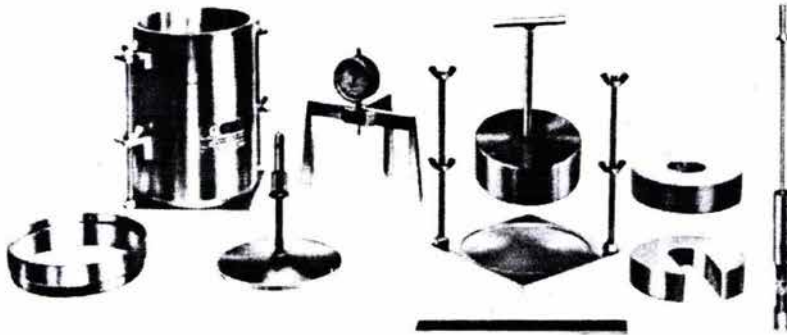


Figura 12. Equipo y dispositivos para efectuar la compactación y medir la expansión en muestras de suelos.

- a) Se determina la altura h_e , en milímetros, con aproximación de un milímetro de la muestra. Esta altura corresponde a la altura del molde sin la placa de base y sin el collarín.
- b) Se coloca en la parte superior del espécimen, en el orden en el que se indica, 1 ó 2 hojas de papel filtro, la placa perforada y las dos placas de carga; enseguida se introduce al tanque de saturación el molde conteniendo el espécimen, procurando que este último quede totalmente cubierto con un tirante de agua de aproximadamente 2 cm sobre el borde superior del molde.
- c) Inmediatamente después, con el objeto de determinar la expansión del espécimen por saturación, se monta el dispositivo de medición sobre los bordes del molde y sobre el cual se instala el indicador de carátula apoyándolo sobre el vástago de la placa perforada. Fig. 13. Se toma la lectura inicial del indicador de carátula, anotándola como L_i , en mm, con aproximación de 0,01mm; se verifica cada 24 horas la lectura del indicador de carátula y cuando en 2 lecturas sucesivas se observe que no hay diferencia, se anota ese valor como lectura final L_f en mm, con aproximación de 0,01mm y se retiran del tanque de saturación el tripode con el indicador de carátula y el molde con el espécimen. El periodo de saturación generalmente varía de 3 a 5 días.



Figura 13. Dispositivo para medir la expansión en muestra de material para capa de pavimento.

- d) Cuando no se requiera mucha aproximación en la determinación de la expansión, se podrá hacer las mediciones del incremento de altura que experimente el espécimen, utilizando un calibrador de vernier, con aproximación de 0,1mm, debiendo hacerse lecturas en diferentes puntos para promediar el valor obtenido.
- e) A continuación se coloca el molde que contiene el espécimen y las placas en posición horizontal y se deja así durante 3 minutos, a la sombra, para que escurra el agua. Inmediatamente después se retiran las placas y el papel filtro, y se vuelven a colocar únicamente las 2 placas de carga.

5.1.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- a) Se instalan en la prensa el indicador de carátula y el molde con el espécimen y las placas de carga, Figura 11, introduciendo el pistón de penetración, montado en el vástago de la prensa, a través del orificio de las placas, hasta tocar la superficie de la muestra; se aplica una carga inicial no mayor de 10 kg, inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el indicador de carátula para registrar el desplazamiento vertical del pistón de penetración.
- b) Se aplica carga para que el pistón penetre en el espécimen con una velocidad uniforme aproximadamente de 1,27mm por minuto, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones indicadas en el siguiente cuadro, con aproximación de 10 kg.

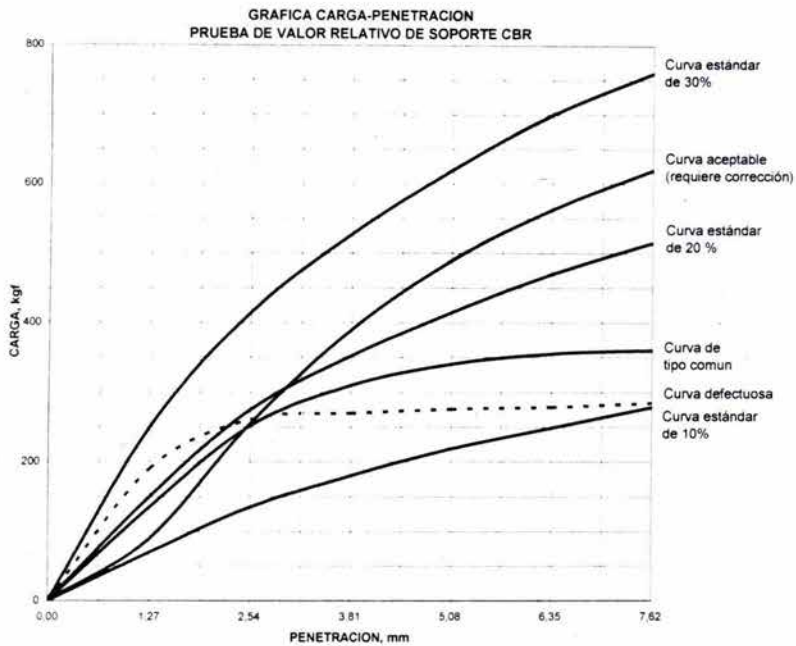
Lecturas	Tiempo en min	Penetración en mm	Carga en kgf
Primera	1	1,27	500
Segunda	2	2,54	1000
Tercera	3	3,81	1300

Cuarta	4	5,08	1700
Quinta	5	7,62	2180

- c) Inmediatamente después de efectuada la penetración, se obtiene una muestra de la parte superior del espécimen, hasta 2,5 cm de profundidad para determinar el contenido de agua.

5.1.5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS VALORES DETERMINADOS

- a) En un sistema de ejes coordenados se marcan los puntos correspondientes a las penetraciones y cargas antes mencionadas, las primeras en el eje de las abscisas y las segundas en el eje de las ordenadas, y uniendo dichos puntos se dibuja la curva correspondiente, la cual no deberá presentar cambios bruscos de pendiente y en general será de la forma que se muestra con líneas interrumpidas en la figura No. 14; si la curva es defectuosa como la dibujada con línea interrumpida en la figura antes mencionada, la prueba no estuvo bien efectuada y deberá repetirse con una porción nueva del material.
- b) En los casos en que la curva dibujada presente en su inicio concavidad hacia arriba, se efectuará la corrección correspondiente trazando una tangente en el punto de máxima pendiente, punto A de la figura No. 15, hasta cortar el eje de las abscisas en el punto que se designa como B, el cual se tomará como nuevo origen y a partir de él se marcará el punto C, correspondiente a la penetración CC' (2,54 mm), representa la carga corregida para dicha penetración, en kg.
- c) Se registra la carga correspondiente a la penetración de 2,54 mm, $C_{2,54}$, con aproximación de 10 kg; en el caso mencionado en el inciso anterior, este valor corresponderá a la carga corregida.



Penetracion mm	0	1,27	2,54	3,81	5,08	6,35	7,62
Carga kgf							

Figura 14. Gráfica carga-deformación CBR

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

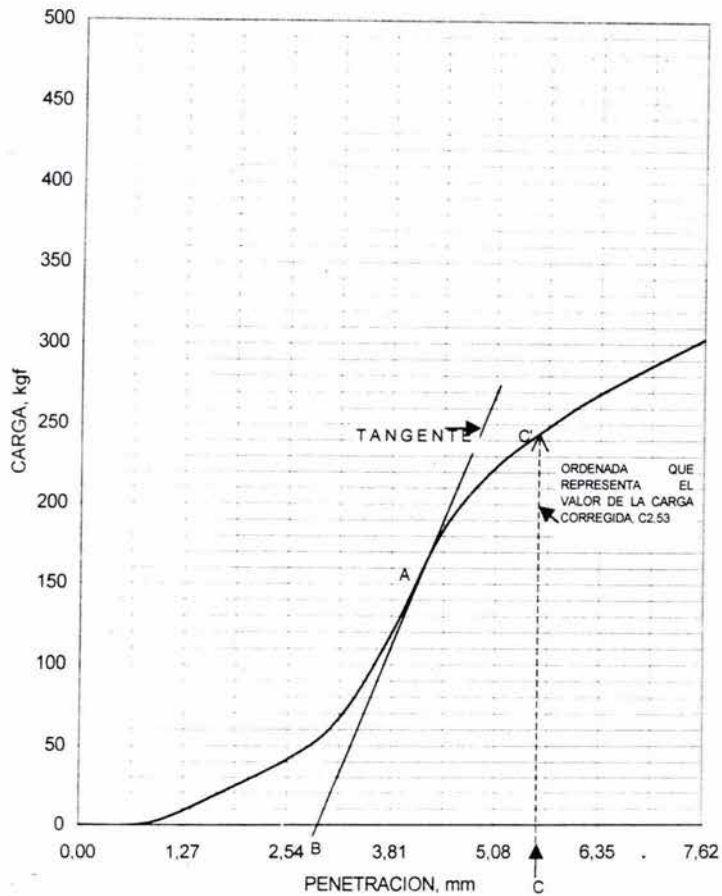


Figura 15. Corrección a la curva Carga-Penetración

5.1.6. CÁLCULOS

Se calcula el valor relativo de soporte y la expansión de la muestra, con las siguientes formulas:

$$CBR = \frac{C_{2,54}}{1360} \cdot 100$$

$$E = \frac{L_f - L_i}{h_c} \cdot 100$$

En donde:

CBR = Resistencia a la penetración referido a la carga estándar de penetración de 1360 kg, en por ciento.

$C_{2,54}$ = carga correspondiente a la penetración de 2,54 mm, en kilogramos

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

L_f = lectura del indicador de carátula al finalizar la saturación, en milímetros.

L_i = lectura del indicador de carátula al iniciarse la saturación, en milímetros.

h_c = altura inicial del espécimen, en milímetros.

5.1.7. REPORTE

Se grafican los resultados obtenidos (Figura 16) y se elabora el reporte correspondiente. El reporte deberá contener la siguiente información:

Datos de la obra y procedencia del material

Peso volumétrico seco máximo

Humedad óptima

Expansión

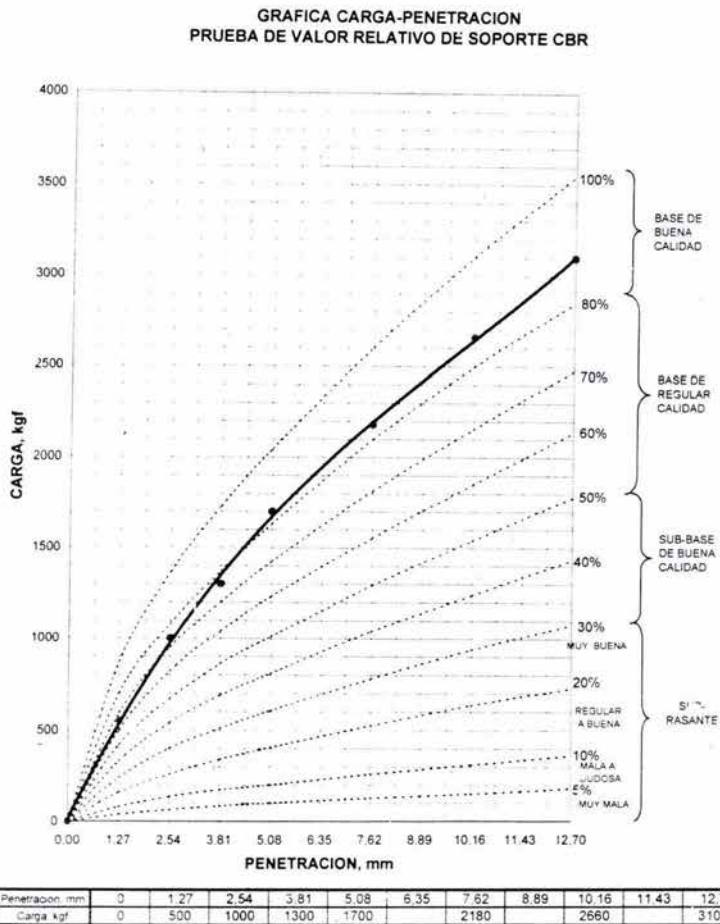


Fig. 16. reporte de CBR

5.2. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

El valor de estabilidad es el índice de la resistencia estructural de una mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación. Estos parámetros se obtienen mediante el método Marshall que se emplea para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente o emulsiones asfálticas

5.2.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinar la resistencia estructural y la pérdida de resistencia a la deformación de una mezcla compactada, empleada como capa de rodamiento en las obras viales.

5.2.2. EQUIPO

Máquina de prueba Marshall con capacidad para 29,4 kN (3000 kgf), con resolución de 98,1 kN (10 kgf), accionada con motor eléctrico, equipada con mordazas semicirculares para aplicar carga a los especímenes de prueba a una velocidad constante de deformación de 50,8 mm/min, Figura 17. Deberá contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 2 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

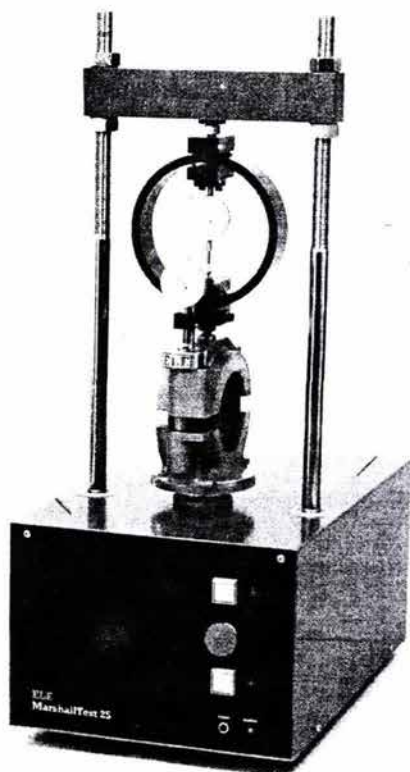


Figura 17. Prensa Marshall empleada para determinar la estabilidad y flujo de mezclas asfálticas

Indicador de carátula con carrera de 25,4mm y resolución de 0,1 mm, para medir la deformación vertical o flujo del espécimen.

Baño de agua o tanque de saturación con control termostático que mantenga una temperatura entre 20°C y 80°C, con resolución de 0,5°C; profundidad mínima de 150 mm, falso fondo perforado y dimensiones aproximadas de 420 x 320 x 180 mm

5.2.3. PREPARACIÓN

Se fabricarán 15 especímenes o pastillas de prueba como máximo dividido entre cinco punto con tres pastillas por punto; se elaborarán con cemento o emulsión asfáltica de acuerdo con la norma SCT Libro 6.01.03, Tomo II; los especímenes elaborados con cemento asfáltico se sumergirán en el tanque de saturación durante un tiempo de 30 a 42 minutos, a una temperatura de 60°C±1°C; los especímenes fabricados con emulsión se mantendrán en un ambiente con aire a una temperatura de 25°C ±1°C por espacio de dos horas.

Se lubrican las guías de las mordazas de prueba, se limpian sus superficies interiores y se mantienen éstos a una temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ para ensayar mezclas elaboradas con cemento asfáltico, en el caso de mezclas con emulsión, estos cabezales se mantendrán a $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

5.2.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

La determinación de la estabilidad y el flujo se iniciará a los 30 minutos después de que las pastillas fueron sumergidas en agua y durante la prueba se van extrayendo sucesivamente los especímenes del baño, debiendo sacar y probar el último a los 42 minutos de haber sido introducidos en el baño de agua.

- Se saca del baño de agua un espécimen, se le elimina con un trapo la humedad superficial que presente, se le coloca dentro de la mordaza de prueba y se centra éste en la máquina de compresión.
- Se instala el indicador de carátula que medirá la deformación o flujo y se ajusta a cero.
- Se pone a cero el indicador de carátula del anillo de carga de la máquina
- Se aplica carga al espécimen a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min hasta que se presente la carga máxima de falla. Esta carga es el valor de estabilidad Marshall. Asimismo, se registra la lectura de deformación máxima correspondiente a la carga de falla como el valor del flujo.
- Los especímenes fabricados con emulsión se mantendrá durante dos horas en aire a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y se ensayarán a la misma velocidad y el mismo período de tiempo.

La ejecución del ensayo para determinar la estabilidad y el flujo no deberá durar más de 30 segundos, contado a partir del momento en que el espécimen es retirado del baño.

5.2.5. CÁLCULOS

Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes que hayan resultado con altura diferente de 63,5 mm, utilizando para ello los factores que correspondan de la Tabla 32.

Tabla 32. Factores de corrección por esbeltez para los valores de estabilidad Marshall

Altura aproximado del espécimen, mm	Factor de corrección
50	1,51
51	1,46
52	1,41

53	1,36
54	1,32
55	1,27
56	1,23
57	1,20
58	1,16
59	1,13
60	1,10
61	1,07
62	1,04
63	1,01
64	0,99
65	0,96
66	0,94
67	0,91
68	0,89
69	0,87
70	0,85

5.2.6. REPORTE

Se reportarán los resultados de estabilidad, peso volumétrico, vacíos, vacíos del agregado mineral, vacíos ocupados por el asfalto y flujo, resumidos en la Figura 18.

LABORATORIO DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS

PRUEBA MARSHALL

OBRA: Carretera La Tinaja-Sayula		ENSAYE NUM: MA-1051/1650	
LOCALIZACION: Tramo Ciudad Aleman - Loma Bonita		FECHA DE RECIBO: Sept/2003	
ENVIADO POR: Centro SCT Veracruz		FECHA DE INFORME: oct-03	
MATERIAL PARA CAPA DE: Carpeta asfáltica			
OBJETO DEL ENSAYE: ESTUDIO (X)		REVISION ()	

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES	CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
FE DEL INGENIERO DE INGENIEROS	2.66		V.A.M. (%)	18.3	13 MIN
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	6.5		ESTABILIDAD (kg)	1780	815 MIN
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	2400		FLUJO (mm)	3.8	2-3.5
VACIOS (%)	5.0	3-5	V.A.F. (%)	70	65-75
ESPEZ. MEN. COMPACTADO CON EL LABORATORISTA	75		GOLPES DEL PISON POR CARA A LA TEMPERATURA DE	145 °C	ENSAYADOS A 60 °C
					EL JEFE DE LA OFICINA DE ASFALTOS Y MEZCLAS ASFALTICAS

Figura 18. Reporte del estudio Marshall efectuado a una mezcla asfáltica.

5.3. COMPRESIÓN SIMPLE EN CONCRETO HIDRÁULICO

5.3.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinar la resistencia a la compresión simple de muestras de especímenes cilíndricos de concreto hidráulico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, representativo del concreto empleado en diversas estructuras de las obras viales.

5.3.2. EQUIPO

Prensa hidráulica con capacidad para 1 177 kN (120 000kgf), con control de velocidad de aplicación de carga, sin producir impactos ni pérdidas de carga, Figura 19. Deberá contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 3 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

La máquina de prueba debe estar equipada con 2 bloques de acero con una cara endurecida para la aplicación de la carga con una dureza Rockwell no menor de C-55. Uno de los bloques debe tener asiento esférico y apoyarse en la parte superior del espécimen.



Figura. 19 Prensa para ensaye de cilindro de concreto hidráulico.

5.3.3. PREPARACIÓN

5.3.3.1. Curado

El ensaye a la compresión de los especímenes curados en húmedo debe efectuarse tan pronto como sea posible después de retirarlos de la pileta o del cuarto húmedo y una vez que el material de cabeceo haya adquirido la resistencia requerida; durante el tiempo transcurrido desde el retiro del cuarto húmedo y el ensaye, los especímenes deben conservarse húmedos por cualquier método.

5.3.3.2. Dimensiones

El diámetro y la altura del espécimen de prueba debe determinarse con una aproximación de 1 mm promediando las medidas de 2 diámetros perpendiculares entre sí a una altura media del espécimen y la altura, el promedio de dos valores opuestos.

5.3.3.3. Cabeceo

Los especímenes deberán ser cabeceados con una capa de azufre de aproximadamente 3 mm de espesor en cada uno de sus extremos de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-109-1197-ONNCCE Industria de la construcción-Concreto-Cabeceo de especímenes cilíndricos.

5.3.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Los especímenes previamente curados y debidamente cabeceados, se colocan entre las placas superior e inferior de la máquina, uno a la vez, alineándolo con el eje de la placa de carga haciendo que éstas hagan un contacto suave con el espécimen.

Se aplica carga a una velocidad uniforme y continua sin producir impactos, ni pérdida de carga, dentro del intervalo de 2,4 kN/s a 6,0 kN/s (14,8 t/min a 37,1 t/min), hasta la falla.

Se registra la carga máxima aplicada y el tipo de falla ocurrida

5.3.5. CÁLCULOS

La resistencia a la compresión simple se calcula dividiendo la carga máxima de falla entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro promedio medido en dos puntos diametralmente opuestos del espécimen. El resultado se expresará con una aproximación de 100 kPa (1 kg/cm²).

$$f_c = \frac{P}{A}$$

En donde:

f_c = Resistencia a la compresión simple en Mpa (kgf/cm²).

P = Fuerza máxima aplicada para producir la falla en la muestra, kN (kgf).

A = Área promedio de la sección transversal del espécimen cilíndrico, (cm²).

5.3.6. REPORTE

El reporte, tal como se muestra en la Figura 20, deberá contener la siguiente información:

- Clave de identificación del espécimen.
- Edad nominal del espécimen.
- Diámetro y altura en centímetros, con aproximación al décimo.
- Área de la sección transversal, en centímetros cuadrados con aproximación al décimo.

- e) Masa del espécimen en kg, con aproximación al centésimo.
- f) Carga máxima en kN (kgf), con aproximación a 1 kN (101,97 kgf).
- g) Resistencia a la compresión, calculada con aproximación de 100 kPa (1 kgf/cm²).
- h) Defectos observados en el espécimen o en sus extremos.

LABORATORIO DE CONCRETO HIDRÁULICO

OBRA:	Vialidad de Acapulco		ENSAYE No.	CCP-0384/1099		
LOCALIZACIÓN:	Tramo Entronque Mozimba-Entronque Pie de la Cuesta, Km 9+100 a km 19+045		FECHA DE RECIBO	23-mayo-2001		
ENVIADA POR	Jefe de la Unidad Regional de Servicios Técnicos de Morelia		FECHA DE INFORME	12-julio-2001		

IDENTIFICACIÓN	ENSAYE No. MUESTRA No.		1	2	3	4	5
	TOMADA DE						
DATOS PREVIOS	PROPORCIONAMIENTO No. 2	f'c (kg/cm ²)	450				
		REV. PROYECTO, cm	4-6				
	CEMENTO, MARCA Y TIPO	Tolteca, CPP 30 R					
	CONSUMO CEMENTO						
	CANTIDAD PROJ. Y TIPO	454					
	FINALIDAD						
DATOS DE LA OBRA	CEMENTO	MARCA Y TIPO					
	ADICIONANTE, MARCA Y TIPO	CANTIDAD USADA					
		FINALIDAD					
DATOS DEL ESPECÍMEN	EQUIPO DE MEZCLADO Y SU CAPACIDAD		Mezcladora eléctrica con capacidad de 40 lts.				
	TIPO DE VIBRADOR UTILIZADO						
	AGUA, CONSUMO POR SACO, lt		22	22	22	22	22
	REVENIMIENTO, cm		6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	DIAMETRO, cm		15,2	15,2	15,2	15,3	15,2
	SECCIÓN, cm ²		181,5	181,5	181,5	183,5	181
	FECHA DE COLADO		11.06.2001	11.06.2001	11.06.2001	11.06.2001	11.06.2001
	FECHA DE RUPTURA		18.06.2001	18.06.2001	09.07.2001	09.07.2001	09.07.2001
	EDAD, DÍAS		7	7	28	28	28
	TIPO DE PRUEBA		Compresión Simple Cámara H.	Compresión Simple Cámara H.	Compresión Simple Cámara H.	Compresión Simple Cámara H.	Compresión Simple Cámara H.
PROCEDIMIENTO DE CURADO							
DATOS DEL ENSAYE	CARGA DE RUPTURA, kgf		61800	72600	84949	89899	89293
	RESISTENCIA, kgf/cm ²		340	400	468	489	452
	% DE LA RESISTENCIA DE PROYECTO		76	89	104	109	109
PESO, kg		13,300	13,320	12,255	13,200	13,100	
PESO VOLUMÉTRICO kg/m ³		2434	2430	2402	2378	2374	
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES							
La resistencia promedio a la compresión simple a la edad de 7 días es de 370 kgf/cm ² y a 28 días, de 483 kgf/cm ² , superior a la de proyecto que es de 450 kgf/cm ² .							
EL LABORATORISTA		EL JEFE DE LA SECCIÓN DE CONCRETOS		EL JEFE DEL LABORATORIO DE CONCRETOS HIDRÁULICOS			

Figura 20. Reporte de resultados de resistencia a la compresión simple de especímenes cilíndricos de concreto hidráulico

5.4. TENSIÓN POR FLEXIÓN EN CONCRETO HIDRÁULICO

Este método se refiere a la prueba de resistencia a la flexión de concreto, mediante el uso de una viga libremente apoyada con aplicación de carga en los tercios para hacer la prueba de flexión del concreto, mediante bloques de apoyo que aseguren que únicamente se apliquen a las vigas fuerzas verticales y sin excentricidad.

5.4.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinar la tensión por flexión de muestras de especímenes prismáticos (vigas) de concreto hidráulico de 15 x 15 x 60 cm, representativo del concreto empleado en diversas estructuras de las obras viales.

5.4.2. EQUIPO

Prensa hidráulica con capacidad para 50 kN (5 000kgf), con control de velocidad de aplicación de carga, sin producir impactos ni pérdidas de carga, equipado con marco de carga provisto de un dispositivo para aplicación de la carga en los tercios del claro del espécimen sujeto a ensaye, Figura 21. Deberá contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 3 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

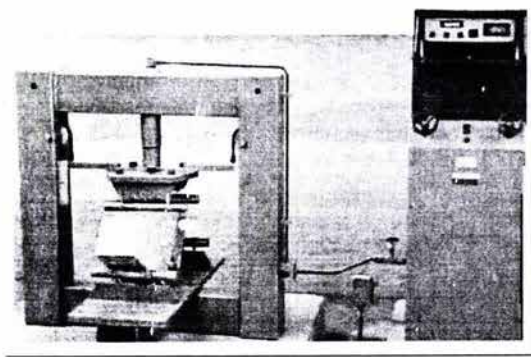


Figura 21. Prensa hidráulica para ensaye de vigas de concreto

5.4.3. PREPARACIÓN

5.4.3.1. Curado

El ensaye a la tensión por flexión de los especímenes curados en húmedo debe efectuarse tan pronto como sea posible; después del periodo de curado establecido se retiran de la pileta o del cuarto húmedo; los especímenes deben medirse y pesarse conservándolos húmedos durante este tiempo por cualquier método apropiado.

5.4.3.2. Dimensiones

Se miden y marcan dos líneas en las cuatro caras del espécimen, cada una a 7,5 cm del centro de la longitud del espécimen; después se trazan dos líneas más, una en cada extremo a 22,5 cm del centro de la longitud de la viga.

5.4.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se coloca el espécimen de costado respecto de la posición en que fue colado, haciendo coincidir las marcas indicadas en sus extremos sobre los apoyos. Los apoyos superiores deberán coincidir con las dos marcas centrales.

Los bloques de carga se deben poner en contacto con la superficie superior en los tercios del claro, tal como se ilustra en la Figura 22. Si no se obtiene un contacto completo entre el espécimen y los bloques de carga y los apoyos, debido a que las superficies de la viga no son planas, las superficies de ésta, en donde estén en contacto con los bloques o apoyo, se deben cabecear.

La carga se debe aplicar rápidamente hasta aproximadamente el 50% de la carga de ruptura, después de lo cual se deberá aplicar con una velocidad que no exceda de 10 kg/cm² por minuto.

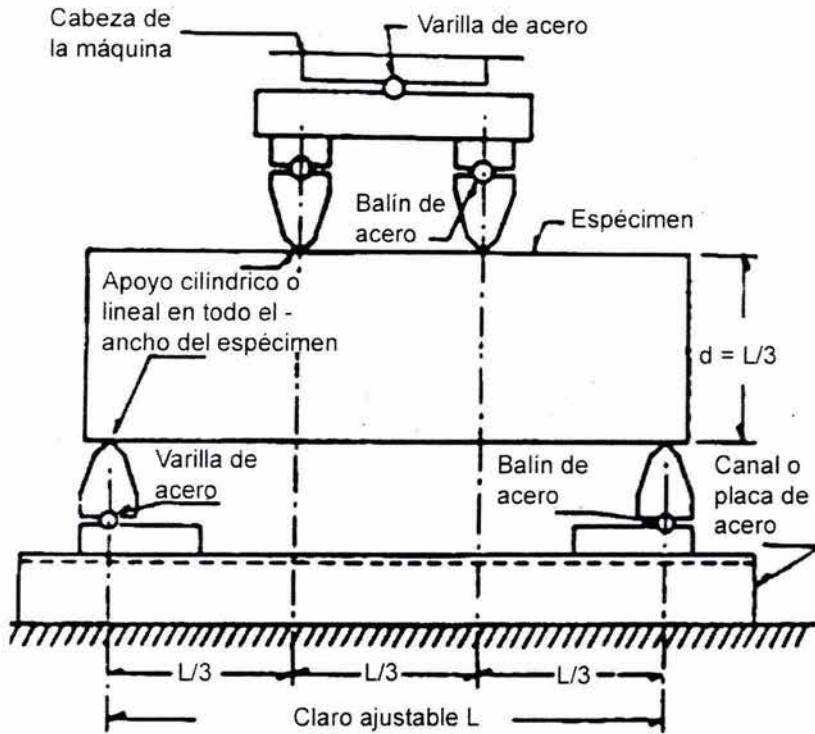


Figura 22. Esquema de aplicación de carga en la prueba de tensión por flexión de vigas de concreto.

5.4.5. CÁLCULOS

Se deberán hacer medidas con una aproximación de un décimo (0,1) de centímetro para determinar el ancho y peralte promedio del espécimen. Si la fractura ocurre dentro del tercio central, el módulo de ruptura se deberá calcular del modo siguiente:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio, desfasada respecto de éste una distancia no mayor de un 5% de la distancia entre los apoyos, el módulo de ruptura deberá calcularse del modo siguiente:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio del claro de la viga, desfasada en más del 5% respecto a la distancia entre los apoyos, la prueba deberá desecharse.

En donde:

R = Resistencia a la tensión por flexión (módulo de ruptura) en Mpa (kgf/cm²).

P = Fuerza máxima aplicada para producir la falla en la muestra.

L = Claro entre los apoyos inferiores, en cm.

b = Ancho medio de la viga, en cm.

d = Peralte medio de la viga, en cm.

a = Distancia entre la línea de fractura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en centímetros

5.4.6. REPORTE

El reporte, tal como se muestra en la Figura 23, deberá contener la siguiente información:

Ancho promedio con aproximación de un décimo de centímetro.

Distancia entre apoyos, en centímetros.

Carga máxima aplicada en kN (kgf).

Módulo de ruptura calculado con una aproximación de un décimo de MPa (kgf/cm²)

Defectos del espécimen.

Edad del espécimen.

LABORATORIO DE CONCRETO HIDRAULICO

OBRA:	Construcción de la Vialidad de Acapulco				HOJA NUM :	14 DE 45
LOCALIZACION	Tramo Entronque Mozimba-Entronque Pie de la Cuesta, km 9+100 a km 19+045				ENSAYE NUM:	CCP-22952/23251
ENVIADA POR:	El Jefe de la Unidad Regional de Servicios Técnicos Morelia				FECHA DE RECIBO:	8/01/2001
					FECHA DE INFORME:	5/02/2001
RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS A LA FLEXION EN VIGAS						
PROBETA No	1	2	3	4	5	
F. DE COLADO	09-ENERO-2001					
F. DE ENSAYE	16-ENERO-2001			06-FEBRERO-2001		
EDAD (DIAS)	7	7	7	28	28	
LARGO, en cm	60,1	60,0	60,1	60,0	60,0	
ANCHO, en cm	15,4	15,2	15,2	15,4	15,3	
PERALTE, en cm	15,1	15,1	15,2	15,1	15,1	
PESO, en kg	33.795	33.610	33.515	33.780	33.510	
PESO VOL. (kg/m³)	2418	2441	2413	2421	2417	
CARGA DE RUPTURA kgf	3296	3217	4057	3562	3519	
MODULO DE RUPTURA kgf/cm²	42	42	52	46	45	
<p>La resistencia promedio a la tensión por flexión a 7 días, es de 42 kgf/cm² y a 28 días, es de 48 kgf/cm², esta última ligeramente inferior a la de proyecto, que es de 50 kgf/cm²</p>						
EL LABAORATORISTA	EL JEFE DE LA SECCION DE CONCRETOS HIDRAULICOS		EL JEFE DEL LABORATORIO DE CONCRETOS HIDRAULICOS			
_____	_____		_____			

Figura 23. Reporte de resultados de resistencia a la tensión por flexión de vigas de concreto hidráulico

5.5. TENSION Y ALARGAMIENTO EN ACERO DE REFUERZO

El ensaye a la tensión aplicada a varillas de acero de refuerzo para concreto hidráulico se realiza con la finalidad de verificar su resistencia y deformación.

5.5.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinar el esfuerzo de tensión en el límite de fluencia, el esfuerzo máximo y el alargamiento en varillas de acero, empleado principalmente como refuerzo en diferentes estructuras de concreto para obras de carretera.

5.5.2. EQUIPO

Máquina universal con capacidad para 980,7 kN (100 000 kgf), equipada con mordazas para ensaye de acero de refuerzo, Figura 24. Deberá contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 1 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

Cortadora para acero accionado con motor eléctrico.

Báscula tipo solución con capacidad para 20 kg y resolución de 1g.

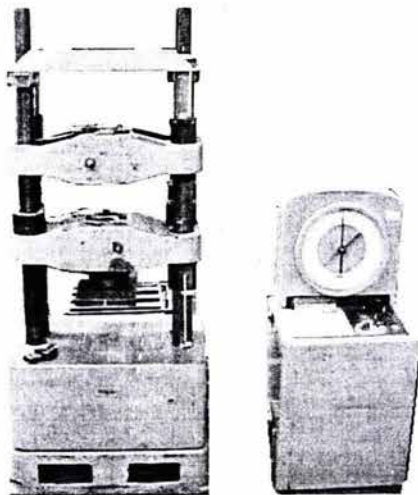


Figura 24. Máquina universal de 980,7 (100 000 kgf) de capacidad

5.5.3. PREPARACIÓN

La preparación de las varillas de acero consiste en determinar su masa unitaria, el área de su sección transversal, así como de elaborar la probeta para la prueba.

a) Masa unitaria

Para determinar la masa unitaria de una varilla corrugada, debe tomarse un tramo de aproximadamente 0,60 m, para obtener un resultado representativo.

Se mide la masa del tramo de varilla en una balanza con resolución de 1 g. La masa por metro de varilla se calcula con la siguiente fórmula.

$$M_{uv} = \frac{M_v}{L_v}$$

En donde:

M_{uv} = Masa unitaria del tramo de varilla, (kg/m), con aproximación al milésimo

M_v = Masa del tramo de varilla, (kg), con aproximación al milésimo

L_v = Longitud del tramo de varilla, (m), con aproximación al milésimo

b) Medición del área de la sección transversal

Para obtener el área neta de las varillas corrugadas, se usará la siguiente ecuación:

$$A = \frac{M_{uv}}{7840} = 1,2755M_{uv}$$

En donde:

A = Área neta de la sección transversal, (cm²), con aproximación al centésimo

M_{uv} = Masa unitaria del tramo de varilla, (kg/m), con aproximación al milésimo

7840 = Densidad del acero, (kg/m³)

c) Elaboración de probetas

Las probetas de varillas corrugadas y lisas tendrán la sección original completa de fabricación y una longitud de 0,60 m, siempre que sea posible; en caso contrario se usará una de las siguientes:

1. En probetas con la sección original del material se permite reducir ligeramente la zona de prueba con lija o maquinado lo suficiente para provocar la fractura dentro de las marcas de calibración.
2. Para material que no exceda de 4,8 mm de diámetro, el área de la sección transversal puede reducirse como máximo un 10% del área original, sin cambiar la forma de la sección transversal.
3. Para material con diámetro mayor de 4,8 mm, el diámetro puede reducirse como máximo 0,25 mm, sin que cambie la forma de su sección transversal. Las transiciones entre la zona de sección reducida y las zonas de sujeción, se harán preferiblemente con un radio de 10 mm pero no menor de 3 mm.
4. Se marca con un punzón dos puntos colocados cada uno a 10 cm del centro de la longitud de la probeta, denominada zona calibrada.

5.5.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

El ensaye de probetas de acero de refuerzo se ejecutará siguiendo los pasos que se describen a continuación:

Se coloca la probeta en las mordazas de la máquina, verificando que quede libre la zona calibrada de 20 cm, entre los puntos de sujeción.

Se aplica la carga a una velocidad uniforme que no excederá de 70 MPa/min.

Se determina la carga de fluencia en el momento que la aguja indicadora o la lectura digital de la máquina muestre un ligero retroceso para luego continuar con la carga ascendente hasta la carga máxima y posteriormente a la ruptura. Se registran estas cargas como carga de fluencia, máxima y de ruptura.

5.5.5. CÁLCULOS

a) Resistencia en el límite de fluencia y máxima

La resistencia en el límite de fluencia y máxima a la tensión, se calcula dividiendo la carga en el límite de fluencia y máxima soportada por la probeta, entre el área de su sección transversal nominal.

$$f_y = \frac{P_y}{A}$$

$$f_{max} = \frac{P_{max}}{A}$$

En donde:

f_y = Resistencia a la tensión, en el límite de fluencia, (MPa)

f_{max} = Resistencia máxima a la tensión, (MPa)

P_y = Carga en el límite de fluencia de la probeta, (MPa)

P_{max} = Carga máxima de ruptura de la probeta, (MPa)

A = Área de la sección transversal de la probeta antes de la prueba, (mm²)

b) Alargamiento

Para determinar el alargamiento, se juntan cuidadosamente las dos porciones de la probeta fracturada y se mide la distancia entre las marcas de calibración, con una aproximación de 0,5% de la longitud para una longitud de calibración de 200 mm. El alargamiento se puede determinar en forma directa empleando una escala graduada en porcentajes que aproximen hasta 0,5% de longitud de calibración. En caso de no contar con este aparato, el alargamiento se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \frac{L_f - L_i}{200} \cdot 100$$

En donde:

ΔL = Alargamiento de varillas, (%)

L_i = Longitud de calibración inicial, cm

L_f = Longitud de calibración final, (mm²)

Si la fractura se localiza fuera de las dos cuartas partes centrales de la longitud de calibración o en una de las marcas dentro de la zona de la sección reducida, el valor del alargamiento obtenido puede no ser representativo del material. Si el alargamiento así medido está dentro del mínimo especificado, no será necesario hacer otra prueba, pero si el alargamiento es menor del mínimo requerido, la prueba será rechazada y será repetida.

Para determinar el alargamiento antes de la fractura se pueden emplear métodos autográficos o bien extensométricos.

5.5.6. REPORTE

Se reportará la resistencia a la tensión en el límite de fluencia y la máxima, así como el alargamiento. Figura 25.

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

REPORTE DE ACERO DE REFUERZO
(Varilla)

SOLICITANTE:		FECHA:		23/06/2000							
DOMICILIO:		HOJA NUMERO:		1							
OBRA:											
UBICACIÓN:											
ENSAYES No. 2501/2520											
Diámetro, en mm		15.87		Area Nominal, en mm ²							
Marca :		SAN		Grado :							
Lote de :		4.6 toneladas		Numero de Probetas:							
				4							
PESO POR METRE REA Kg/m	AREA cm ²	CARGAS		ESFUERZOS		DOBLADO A 180°	ALARGAMIENTO EN	CORRUGACIONES			
		L.F. Kgf	MAX. Kgf	L.F. Kg/cm ²	MAX Kg/cm ²			S. mm	A. mm	C. mm	Grados
1 524	1.94	9250	15150	4672	7652	No se agrieto	17.2	10.6	1.1	4.4	45
1 529	1.95	9250	15100	4672	7626	No se agrieto	17.0	10.6	1.0	4.4	45
1 534	1.96	9250	15100	4672	7626	No se agrieto	17.0	10.7	1.2	4.4	45
1 526	1.95	9250	15100	4672	7626	No se agrieto	17.8	10.5	1.0	4.4	45
PROMEDIO				4672	7633		17.3	10.6	1.1	4.4	45
NORMA	MINIMO			MINIMO	MINIMO	NO DEBEN	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
S.C.T.	1.86			4200	6300	AGRIETARSE	9.0	11.1	0.7	6.3	45
OBSERVACIONES: La muestra ensayada satisface los requisitos mecánicos establecidos en la Norma de Calidad de los Materiales de la SCT.											
EL LABORATORISTA						EL JEFE DE LABORATORIO					

Figura 25. Reporte de acero de refuerzo
5.6. TENSION Y ALARGAMIENTO EN ACERO DE PREESFUERZO
5.6.1. OBJETIVO Y CAMPO A APLICACIÓN

Determinar la resistencia a la tensión de cables de acero conocido como torón de siete alambres, empleados como refuerzo en estructuras de concreto.

5.6.2. EQUIPO

Máquina universal con capacidad para 980,7 kN (100 000 kgf) equipada con mordazas para ensaye de acero de presfuerzo, Figura 24. Debe contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 1 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

Indicador de carátula con alcance de medición de 25,4 mm y resolución 0,01 mm.

Indicador de carátula con alcance de medición de 50,8 mm y resolución 0,1 mm.

Báscula tipo solución con capacidad para 20 kg y resolución de 1g.

5.6.3. PREPARACIÓN

a) Masa unitaria

La determinación de la masa unitaria de acero de preesfuerzo, se efectuará dividiendo el peso del tramo total de la probeta entre su longitud y se expresará en kg/m.

$$Mut = \frac{Mt}{Lt}$$

En donde:

Mut = Masa unitaria del tramo de torón, (kg/m) con aproximación al milésimo

Mt = Masa del tramo de torón, (kg) con aproximación al milésimo

Lt = Longitud del tramo de torón, (m) con aproximación al milésimo

b) Área de la sección transversal

Se destrenzará el cable (torón) en los dos extremos y se determinará el diámetro promedio de cada uno de los alambres que lo constituyen, utilizando un micrómetro con resolución de 0,01 mm, tomando por lo menos 2 lecturas de cada alambre en cada extremo a 90° entre sí. De los siete alambres que constituyen el torón uno, el del centro, es de mayor diámetro, por lo que el área neta se calculará con la siguiente ecuación:

$$An = 0,0025\pi \left(\sum_{i=1}^{n=6} d_i^2 + D^2 \right)$$

Donde:

An = Área neta de la sección transversal de todos los alambres del torón, (cm²) con aproximación al milésimo.

d = Diámetro de cada uno de los alambres del torón, (mm) con aproximación al centésimo.

D = Diámetro del alambre central del torón, (mm) con aproximación al centésimo.

El área neta del torón se considera igual a la suma de las áreas de cada uno de los alambres que lo forman.

Probeta

La probeta será de sección original completa y tendrá una longitud mínima de 120 cm

5.6.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- Se coloca la probeta en las mordazas de la máquina, verificando que quede libre la zona calibrada de 61 cm, entre los puntos de sujeción.
- Se aplica una carga inicial del 10% de la resistencia mínima de ruptura especificada; se sujeta el indicador de carátula con carrera de 5 mm y división mínima de 0,01 mm en la parte central de la zona calibrada de la probeta y se ajusta a una lectura de 0,001 de deformación unitaria.
- Se aplica la carga a una velocidad uniforme registrando el valor de ésta para cada incremento de deformación de 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5%, 0,6%, 0,7%, 0,8%, 0,9% y hasta que el indicador de carátula acusé una deformación unitaria de 1%. Se registra la carga correspondiente a esta deformación como la de fluencia.
- Una vez que se ha alcanzado el 1% de deformación, se remueve el indicador de carátula y se coloca el de 50,8 mm de carrera y división mínima de 0,1 mm, para medir el alargamiento de la probeta y se continúa con la aplicación de carga hasta alcanzar el alargamiento especificado.
- Se retira este último indicador de carátula y se lleva a la carga máxima de falla, la cual se presenta cuando uno o más alambres del torón se rompe. No es necesario medir la deformación en el momento de la falla, basta con verificar que se cumpla con el alargamiento especificado.

5.6.5. CÁLCULOS

a) Resistencia en el límite de fluencia y máxima

La resistencia a la tensión en el límite de fluencia y máxima, se calculará dividiendo la carga en el límite de fluencia y máxima soportada por la probeta entre el área neta de la sección transversal original de los alambres que componen el torón, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$f_y = \frac{P_y}{A}$$

$$f_{\max} = \frac{P_{\max}}{A}$$

Donde:

f_y = Resistencia a la tensión, en el límite de fluencia, (MPa)

f_{\max} = Resistencia máxima a la tensión, (MPa)

P_y = Carga en el límite de fluencia de la probeta, (kN)

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima de la probeta, (kN)

A = rea de la sección transversal de la probeta antes de la prueba, (mm²)

b) Alargamiento

El alargamiento se determina sumando las lecturas de los dos indicadores de carátula empleados durante la prueba y se divide entre la longitud calibrada de la probeta de 61 cm.

Si la fractura se localiza fuera de las dos cuartas partes centrales de la longitud de calibración o en una de las marcas dentro de la zona de la sección calibrada, el valor del alargamiento obtenido puede no ser representativo del material. Si el alargamiento así medido está dentro del mínimo especificado, no sera necesario hacer otra prueba, pero si el alargamiento es menor del mínimo requerido, la prueba será rechazada y será repetida.

Para determinar el alargamiento antes de la fractura se pueden emplear métodos autográficos o bien extensiometricos.

b) Módulo elástico

Se registran los valores de carga obtenidos por cada incremento de deformación, Tabla 33.

Tabla 33. Datos obtenidos de la prueba de tensión de acero de presfuerzo (torón)

Deformación unitaria, %	Carga registrada, kN	Esfuerzo, MPa
0,0	0,0	0,0
0,1	1 875	1 855
0,2	3 750	3 705
0,3	5 750	5 687
0,4	7 600	7 517
0,5	9 600	9 496
0,6	11 600	11 474
0,7	13 500	13 353
0,8	15 050	14 886
0,9	16 100	15 925
1,0	16 600	16 419

Se grafican los valores correspondientes a las columnas "Deformación unitaria" y "Esfuerzo", en un sistema de ejes coordenados XY, colocando los de la primera en el eje "X" y los de la segunda en el eje "Y", Figura 26.

GRAFICA ESFUERZO DEFORMACION TORON DE 12.7 mm DE DIAMETRO
PUENTE ENTRONQUE LUCERO
LIBRAMIENTO DE AGUASCALIENTES

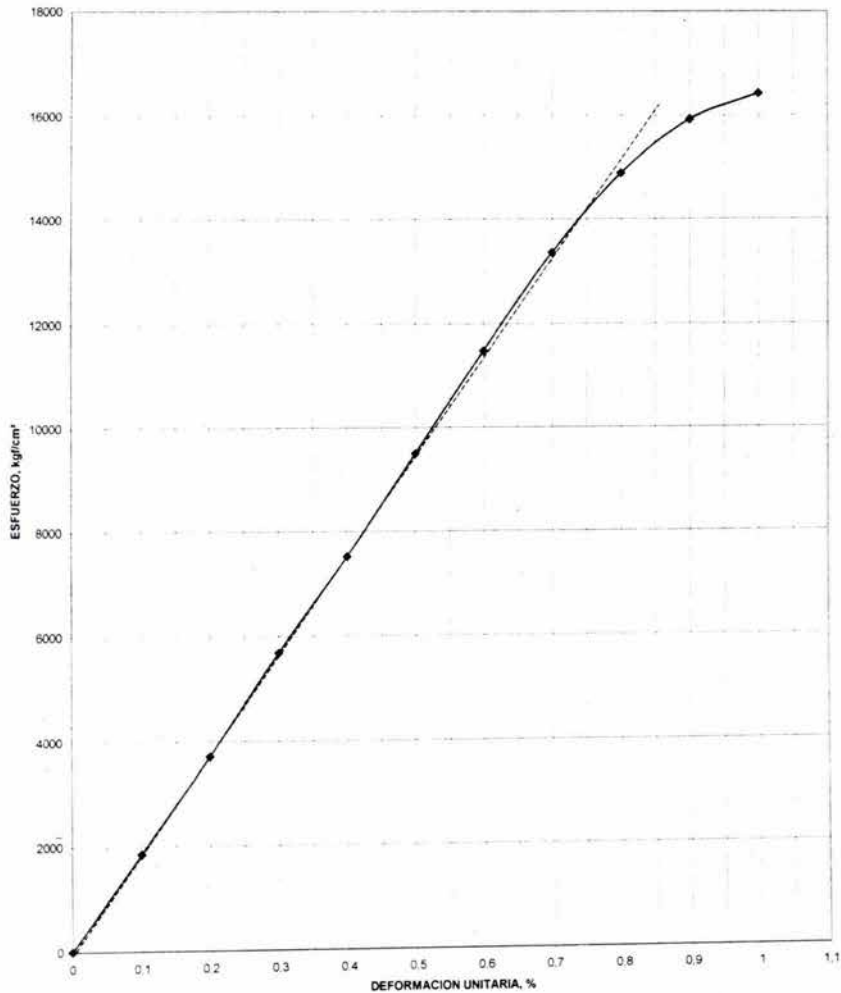


FIGURA 26. Diagrama esfuerzo-deformación mostrando el límite de fluencia o límite elástico aparente por el método de alargamiento bajo carga.

5.6.6. REPORTE

El reporte debe contener la descripción del material probado, su procedencia, el procedimiento empleado en su análisis, carga y resistencia máxima a la tensión, carga y resistencia de fluencia, alargamiento, módulo de elasticidad y el nombre de la obra donde se empleará. Figura 27.

**REPORTE DE ACERO DE PRESFUERZO
(TORÓN)**

OBRA: Puente Entronque Lucero								HOJA NUMERO: 01					
UBICACION Libramiento de Aguascalientes								ENSAYE No. RM-41776/41785					
Estado de Aguascalientes								FECHA DE RECIBO: 25/08/2002					
								FECHA DE INFORME: 8/09/2002					
ENVIÓ: Personal del Laboratorio													
NUMERO DE PROUETA	NUMERO DE ROLLO	DIAMETRO REAL mm	PASO DE LA HELICE cm	DIAMETRO ALAMBRE EXTERIOR mm	DIAMETRO ALAMBRE CENTRAL mm	DIFERENCIA DE DIAMETROS mm	AREA cm ²	CARGAS		ESFUERZOS		% DE ALARGAMIENTO	MODULO ELASTICO kgf/cm ²
								FLUENCIA kgf	MAXIMA kgf	FLUENCIA kgf/cm ²	MAXIMA kgf/cm ²		
1	2281113610	12.70	19.3	4.216	4.318	0.102	1.011	16 600	18 750	16 419	18 546	5.0	1 907 588
NMX-B-292 1988 GRADO 190	12.55 A A	15.24 A A				0.076		15 920 MINIMO	18 730 MINIMO			3.5 MINIMO	
OBSERVACIONES:													
Los resultados obtenidos indican que la muestra satisface los requisitos de tensión establecidos en la norma mexicana NMX B-292-1988, grado 190.													
EL LABORATORISTA							EL JEFE DEL LABORATORIO						

Figura 27. Resultados del ensaye a la tensión de acero de presfuerzo (torón)

5.7. TENSIÓN Y ALARGAMIENTO EN ACERO ESTRUCTURAL Y LAMINA

5.7.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Determinar la resistencia a la tensión del acero empleado en estructuras de puentes, edificios y señalamiento.

5.7.2. EQUIPO

Máquina universal con capacidad para 980,7 kN (100 000 kgf) de capacidad, equipada con mordazas para ensaye de acero de refuerzo, Figura 24. Deberá contar con certificado de calibración vigente para máquina clase 1 de acuerdo con la norma mexicana NMX-CH-27-SCFI-1994.

5.7.3. PREPARACIÓN

Para determinar la resistencia a la tensión de perfiles, barras, planchas y láminas deberán prepararse probetas especiales. Ver figuras 28, 29 y 30.

5.7.3.1. Área de la sección transversal

El área de la sección transversal de perfiles, barras, planchas y láminas, se determinará por mediciones directas de las dimensiones de la sección transversal de la probeta elaborada de cada producto y el área se calculará con los procedimientos geométricos aplicables en cada caso:

1. Con aproximación al milímetro en peraltes, anchos de patín y diámetro de tubos.
2. Con aproximación al décimo de milímetro, en espesores de alma, de patín, de pared de tubos, planchas y láminas.

5.7.3.2. Elaboración de Probetas

Las probetas maquinadas cumplirán con lo que se indica a continuación:

1. Se obtendrán del material por probar, según se indique en las especificaciones propias del producto.
2. Las probetas serán del espesor o diámetro originales, o maquinadas, según se prescriba en las especificaciones del producto por ensayar.
3. Se deberá tener cuidado en la preparación de las probetas maquinadas, para efectuar un buen ensaye, ya que los defectos en su preparación pueden conducir a resultados erróneos.
4. La probeta tendrá en el centro de la longitud calibrada una sección transversal reducida para provocar que la fractura se produzca dentro de esta longitud. Esto se obtiene por el adelgazamiento gradual en la longitud calibrada, que se permita para cada tipo de probeta.

5. Las probetas de materiales frágiles tendrán transiciones de radio grande entre la zona de sección reducida y las zonas de sujeción.
6. La longitud de calibración para determinar el alargamiento, cumplirá con las especificaciones del producto por ensayar.
7. En ningún caso la longitud de calibración será menor de 2,50 cm.
8. Las marcas de calibración serán estampadas ligeramente con un compás o marcadas con tinta indeleble. Para materiales que sean sensibles a las muescas ligeras, principalmente en probetas pequeñas, las marcas de calibración se indicarán con trazos superficiales con tinta, para minimizar la posibilidad de fractura en dichas marcas.

a) Probetas planas

Estas probetas se usan para probar materiales metálicos planos con espesores nominales de 5 mm o mayores. Ver Figura 28.

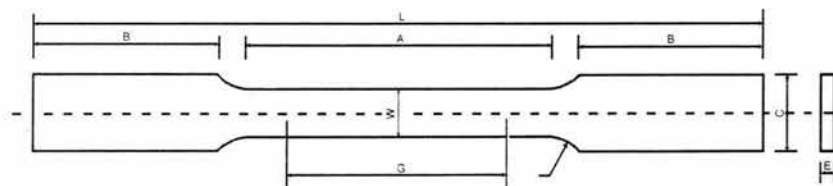


Figura 28 Probeta estándar rectangular de 200 mm de longitud de calibración, para prueba de tensión.

Características		Dimensiones, mm
G	Longitud de calibración (Nota 1)	200 ± 0,2 mm
W	Ancho (Nota 2 y 3)	40 ± 2 mm
E	Espesor (Nota 4)	Espesor del material
R	Radio de la zona de transición (Nota 5)	25 mm mínimo
L	Longitud total	450 mm mínimo
A	Longitud de la zona de sección reducida	225 mm mínimo
B	Longitud de la zona de sujeción (Nota 6)	75 mm mínimo
C	Ancho de la zona de sujeción (Nota 2 y 7)	50 mm aproximadamente

Notas de la Figura 28.

- Nota 1. Las marcas para medir el alargamiento después de la fractura se harán sobre las caras mayores o menores de la probeta y en la zona de sección reducida. Se usarán un grupo de nueve o más marcas con separación de 25 mm o uno o más pares de marcas con separación de 200 mm.
- Nota 2. Cuando sea necesario se puede usar una probeta más angosta. En tal caso, el ancho será tan grande como lo permita el ancho del material bajo prueba. Si el ancho del material es de 40 mm o menor, los lados podrán ser paralelos en toda la longitud de la probeta.
- Nota 3. Los anchos de los extremos de la zona de sección reducida no diferirán entre sí más de 0,10 mm. Puede haber una reducción gradual del ancho desde los extremos al centro, pero el ancho en cualquiera de los extremos no será mayor de 0,4 mm que el ancho en el centro.

- Nota 4. La dimensión es el espesor de la probeta que se establece en las especificaciones propias del material. El espesor mínimo de las probetas será de 5 mm.
- Nota 5. Se permite un radio mínimo de 13 mm en las zonas de transición para probetas de acero con resistencia máxima de 700 MPa, cuando se utilice una fresadora para maquinarse la zona de sección reducida.
- Nota 6. Es conveniente que la longitud de la zona de sujeción sea tal que permita que la probeta ocupe en las mordazas como mínimo las dos terceras partes de su longitud.
- Nota 7. Los extremos de la probeta serán simétricos en el eje de sección reducida con tolerancia de 2,5 mm.

b) Probetas estándar tipo lámina

Estas probetas se usan para probar láminas, cintas, bandas, flejes, soleras y perfiles en espesores nominales desde 0,1 mm hasta 16,0 mm. Ver Figura 29.

c) Probetas estándar redondas

- Se emplean generalmente para probar fundiciones y forjas. Las probetas estándar redondas con diámetros de doce punto cinco (12,5) milímetros indicadas en la Figura 30. Para fabricar estas probetas se tomará en cuenta lo siguiente:
- Se podrán usar probetas de tamaño pequeño proporcionales al estándar, cuyas dimensiones se muestran en la Figura 30, cuando no sea posible obtener probetas estándar ni las indicadas en las Figuras 28 ó 29. Se pueden emplear estas probetas redondas pequeñas, pero en tal caso, la longitud calibrada será 4 veces el diámetro de la probeta.
- Los extremos para sujeción de la probeta tendrán la forma adecuada al material por ensayar y para que las mordazas de la máquina de prueba transmitan las cargas axialmente.

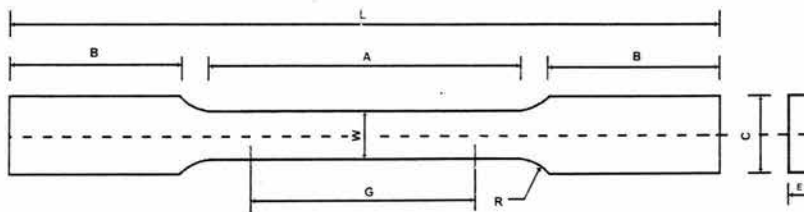


Figura 29. Probeta estándar rectangular tipo lámina, de 50 mm de longitud de calibración, para prueba de tensión

Características	Dimensiones, mm	
G	Longitud de calibración (Nota 1)	$50 \pm 0,10$ mm
W	Ancho (Nota 1 y 2)	$12,5 \pm 0,2$ mm
E	Espesor (Nota 3)	Espesor del material
R	Radio de la zona de transición	13 mm mínimo
L	Longitud total	200 mm mínimo
A	Longitud de la zona de sección reducida	60 mm mínimo
B	Longitud de la zona de sujeción (Nota 4)	50 mm mínimo
C	Ancho de la zona de sujeción (Nota 1 y 5)	20 mm aproximadamente

Notas de la Figura 29.

- Nota 1. Cuando sea necesario puede usarse una probeta más angosta; en tal caso, el ancho será tan grande como el ancho del material bajo prueba lo permita.
- Nota 2. Los extremos de zona de sección reducida no diferirán en ancho más de 0,05 mm. Puede haber una disminución gradual en el ancho desde los extremos hacia el centro, pero el ancho en cualquiera de los extremos no será mayor en 0,10 mm que el ancho en el centro.
- Nota 3. La dimensión E es el espesor de la probeta que se establece en las especificaciones propias del material. El espesor máximo de la probeta será de 16 mm.
- Nota 4. Es conveniente que la longitud de zona de sujeción sea tal que permita que la probeta ocupe en las mordazas como mínimo las dos terceras partes de su longitud. Si el espesor de la probeta es mayor de 10 mm pueden necesitarse mordazas y zonas de sujeción más largas, para prevenir fallas en estas zonas.
- Nota 5. Los extremos de las probetas serán simétricos con relación al eje de la zona de sección reducida con tolerancia de 0,25 mm. Sin embargo, puede considerarse satisfactoria una tolerancia de 1 mm en la simetría de las probetas de acero, excepto en pruebas de pentaje.

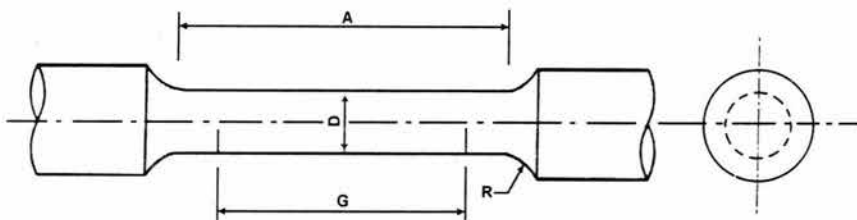


Figura 30. Probeta estándar de sección reducida de 12,5 mm de diámetro y 50 mm de longitud de calibración, para pruebas de tensión.

Requisitos de la Figura 30.

Dimensiones de la probeta	Probeta estándar	Probeta de tamaño pequeño proporcional a la estándar	
	Diámetro = 12,5 mm	Diámetro = 8,75 mm	Diámetro = 6,25 mm
G Longitud de calibración, mm.	50 + 0,10	35 + 0,10	25 + 0,10
D Diámetro, mm (Nota 1).	12,5 ± 0,25	8,75 ± 0,18	6,25 ± 0,12
R Radio de la zona de transición, mm.	10 mínimo	6 mínimo	5 mínimo
A Longitud de la zona de sección reducida, mm (Nota 2).	60,0 mínimo	45,0 mínimo	32 mínimo

Notas de la Figura 30

- Nota 1. La zona de sección reducida puede tener una disminución gradual de ambos extremos hacia el centro, pero el diámetro de los extremos no excederá en 1% del diámetro del centro.

- Nota 2. Para probetas de tamaño pequeño, la longitud de la zona de sección reducida puede ser aumentada para poder insertar el indicador de carátula. Sin embargo, las marcas de referencia para medir el alargamiento, en cualquier caso, deben estar espaciadas según se fija en la longitud de calibración.
- Nota 3. La longitud de calibración y las transiciones serán las indicadas, aunque los extremos pueden tener cualquier forma para poderse sujetar en la máquina, siempre que el esfuerzo se aplique axialmente. Si los extremos son para sujetarse con mordazas de cuña, es conveniente que la longitud de la zona de sujeción sea tal que permita que la probeta se extienda dentro de las mordazas una distancia como mínimo, las dos terceras partes de su longitud.

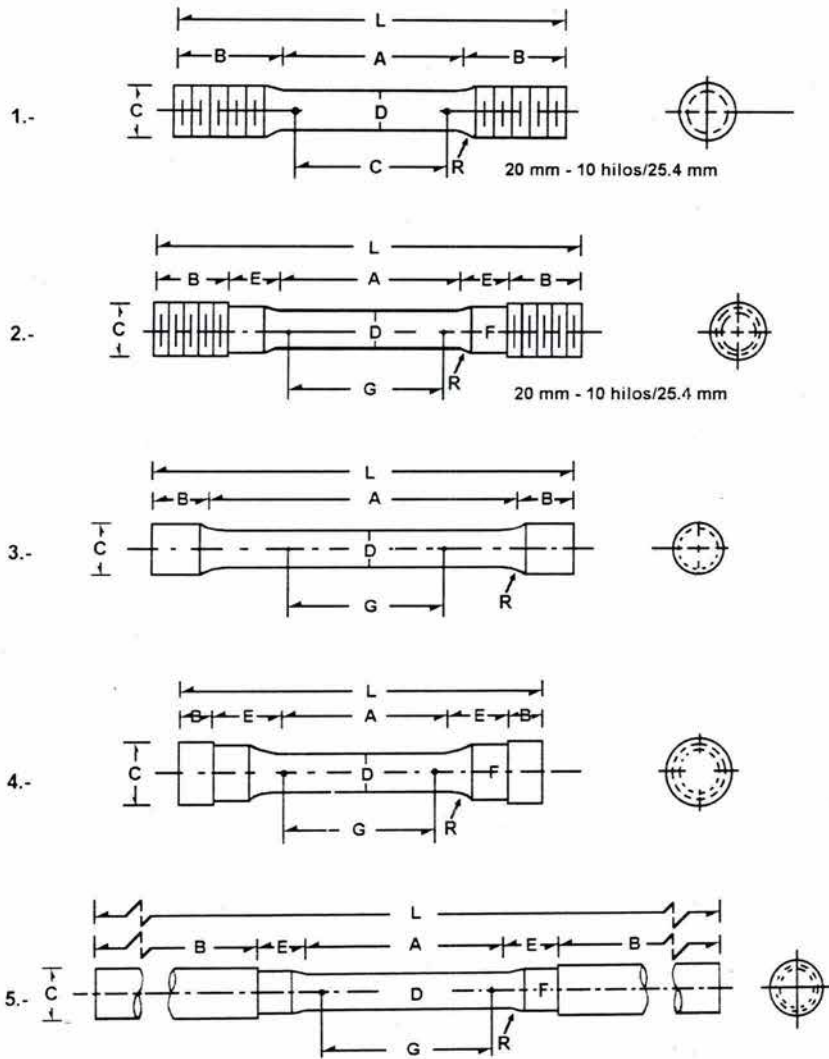


Figura 31. Diferentes tipos de extremos de probetas estándar redondas para prueba de tensión.

Requisitos de la Figura 31.

CONCEPTOS	DIMENSIONES DE PROBETAS, mm				
	1	2	3	4	5
G. Longitud de calibración (Nota 1)	50,0±,10	50,0±,10	50,0±,10	50,0±,10	50,0±,10
D. Diámetro (Nota 1)	12,5±0,25	12,5±0,25	12,5±0,25	12,5±0,25	12,5±0,25
R. Radio de la zona de transición	10 min.	10 min.	2 min.	10 min.	10 min.
A. Longitud de la sección reducida	60 min.	60 min.	100 min.	60 min.	60 min.
L. Longitud total	125 aprox.	140 aprox.	140 aprox.	120 aprox.	240 aprox.
B. Longitud de la zona de sujeción	35 aprox.	25 aprox.	20 aprox.	13 aprox.	75 aprox.
C. Diámetro de la sección extrema	20	20	18	22	20
E. Longitud de los hombros y de la zona de transición	--	16 aprox.	--	20 aprox.	16 aprox.
F. Diámetro de los hombros		16		16	15

Notas de la Figura 31:

- Nota 1. La zona de la sección reducida puede tener una disminución gradual desde los extremos al centro, pero el diámetro de los extremos no excederá en más de 0,10 mm al diámetro del centro.
- Nota 2. Con relación a la probeta 30, es conveniente que la longitud de la zona de sujeción sea tal que permita que la probeta ocupe en las mordazas como mínimo dos terceras partes de su longitud.

5.7.4. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

El ensayo de probetas de acero estructural y de lámina se realizará siguiendo los pasos que se describen a continuación.

Se coloca la probeta en las mordazas de la máquina, verificando que quede libre la zona calibrada, entre los puntos de sujeción.

Se aplica la carga a una velocidad uniforme que no exceda de 70 MPa/min. Se determina la carga de fluencia en el momento en que la aguja indicadora o la lectura digital de la máquina muestre un ligero retroceso para luego continuar con la carga ascendente hasta la carga máxima y posteriormente a la ruptura.

Durante la ejecución de la prueba, para determinar la resistencia de fluencia o el punto de fluencia, la velocidad de aplicación de esfuerzo no excederá de 70 MPa por minuto. La velocidad puede incrementarse después de quitar el indicador de carátula, pero no excederá de 0,5 mm por cada milímetro de longitud de calibración, por minuto.

Se registran las cargas como carga de fluencia, máxima y de ruptura.

5.7.5. CÁLCULOS

La resistencia en el límite de fluencia y máxima a la tensión, se calculará dividiendo la carga en el límite de fluencia y máxima soportada por la probeta de sección reducida entre el área de su sección transversal.

$$f_y = \frac{P_y}{A}$$

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Donde:

f_y = Resistencia a la tensión, en el límite de fluencia, (MPa)

$f_{m\acute{a}x}$ = Resistencia máxima a la tensión, (MPa)

P_y = Carga en el límite de fluencia de la probeta, (kN)

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima de la probeta, (kN)

A = Área de la sección transversal de la probeta antes de la prueba, (mm²)

Para determinar el alargamiento, se juntas cuidadosamente las dos porciones de la probeta fracturada y se mide la distancia entre las marcas de calibración, con una aproximación de 0,25 mm para una longitud de calibración, de 50 mm y menor, o con una aproximación de 0,5% de longitud de calibración para longitudes de calibración mayores de 50 mm. Se puede usar una escala graduada en porcentajes que aproximen hasta 0,5% de longitud de calibración.

Si la fractura se localiza fuera de las dos cuartas partes centrales de la longitud de calibración o en una de las marcas centro de la zona de la sección reducida, el valor del alargamiento obtenido puede no ser representativo del material. Si el alargamiento así medido está dentro del mínimo especificado, no será necesario hacer otra prueba, pero si el alargamiento es menor del mínimo requerido, la prueba será rechazada y será repetida.

Para determinar el alargamiento antes de la fractura se pueden emplear métodos autográficos o bien extensométricos.

5.7.6. REPORTE

El reporte, Figura 32, debe contener la descripción del material probado, su procedencia, el procedimiento empleado en su análisis, resistencia máxima a la tensión, resistencia de fluencia, alargamiento y el nombre de la obra donde se empleará.

REPORTE DE ACEROESTRUCTURAL

OBRA: Protección y señalización		HOJA NUMERO: 1			
UBICACION: Red carretera federal		FECHA: 19/04/2002			
		NUMERO DE ENSAY: RM-3471/3485			
ENVIADO POR:					
IDENTIFICACION: Lámina galvanizada para defensa de 2 crestas					
PRUEBAS	RESULTADOS			PROMEDIO	ESPECIFICACION
NUMERO DE PROBETA	M2-1	M2-2	M2-3		AASHTO M-180
ESPEJOR, EN mm	2.70	2.70	2.70	2.70	
DIAMETRO, EN mm					
ANCHO, EN mm	12.80	12.70	12.60	12.70	
AREA, EN mm ²	34.56	34.29	34.02	34.29	
CARGA EN EL LIMITE ELASTICO, EN kgf	1525	1460	1470	1485	
CARGA MAXIMA, EN kgf	1750	1720	1680	1717	
ESFUERZO EN EL LIMITE ELASTICO, EN kgf/mm ²	44.13	42.58	43.21	43.30	35,15 Mimino
ESFUERZO MAXIMO, EN kgf/mm ²	50.64	50.16	49.38	50.06	49,22 Mimino
% DE ALARGAMIENTO EN 50 mm	26.00	24.00	25.00	25.00	12,00 Mimino
PRUEBA DE DOBLADO					
A 180° SOBRE UN MANDRIL DE 0.5 VECES EL ESPESOR DEL ESPECIMEN	No se Agrietó	No se Agrietó	No se Agrietó		No Deben Presentar Agrietamiento
OBSERVACIONES:					
Los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas realizadas, indican que las muestras de lámina galvanizada satisfacen los requisitos mecánicos de tensión y de doblado establecidos en la Norma AASHTO M-180.					
EL LABORATORISTA			EL JEFE DE LABORATORIO		

Figura 32. Resultados del ensaye de una muestra de defensa metálica para carretera

LA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS Y PRUEBA DE MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

CAPITULO 6

6. COMPARACIÓN DE LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN Y/O ENSAYE

Una buena práctica de laboratorio se puede asegurar mediante la capacitación de su personal, el empleo de métodos de ensaye normalizados y en la calibración de sus equipos de medición; sin embargo, esto no proporciona suficiente evidencia de su confiabilidad; no existen parámetros de referencia que sirvan al laboratorio para conocer que tan alejado o que tan cercano está del valor verdadero de la magnitud que está midiendo, por ello es necesario evaluar los resultados de calibración o de ensayes obtenidos por distintos laboratorios, de una misma máquina o de un mismo material, mediante una comparación interlaboratorios.

En las comparaciones interlaboratorios se reúne un grupo de laboratorios con intereses comunes a participar en programas de ensayos de aptitud a fin de demostrar la confiabilidad de los ensayes y mediciones que realizan.

Las comparaciones interlaboratorios se llevan a cabo por las siguientes razones:

- a) Determinar el desempeño de laboratorios individuales cuando efectúan ensayes o mediciones específicas y efectuar el seguimiento de ese desempeño;
- b) Identificar problemas en los laboratorios, que pueden estar relacionados, por ejemplo, con el desempeño del personal o la calibración de los métodos establecidos;
- c) Establecer la efectividad y el grado de comparación de nuevos métodos de ensaye o medición y en forma similar, hacer el seguimiento de los métodos establecidos;
- d) Proveer confianza adicional a los clientes de los laboratorios;
- e) Identificar diferencias entre laboratorios;
- f) Asignar valores a materiales de referencia y evaluar su adecuación al uso en procedimientos específicos de ensayo o calibración.

La mayoría de los organismos que evalúan la competencia técnica de los laboratorios exigen o esperan un desempeño satisfactorio en programas de ensaye de aptitud como una evidencia significativa de la habilidad de un laboratorio para producir resultados confiables (excepto cuando el ensaye de aptitud sea inadecuado).

Sin embargo, se hace hincapié en que existe una diferencia fundamental entre:

- a) La evaluación de la competencia de un laboratorio por medio de ensayos de su operación total contra requisitos predeterminados y
- b) El examen de los resultados de la participación de un laboratorio de ensayos de aptitud, que puede solo considerarse como que proporciona información sobre la competencia técnica del laboratorio de ensayo en un momento dado bajo las condiciones específicas del ensayo (o ensayos) involucrando en un programa particular de ensayos de aptitud.

Por ello, es esencial que los operadores de estos programas cumplan con los principios para conducir programas de aptitud que sean administrados con profesionalismo, tanto en los que se refiere a los requisitos técnicos y procedimientos estadísticos como a la administración de la calidad.

6.1 TIPOS DE PROGRAMAS DE ENSAYES DE APTITUD

El programa de ensayo de aptitud proporciona a los laboratorios un método objetivo para evaluar y demostrar la confiabilidad de los datos que producen. Existen varios tipos de programas de ensayos de aptitud; programa de comparación de mediciones, de ensayo interlaboratorios, de ensayo de muestra dividida, cualitativo, con valores conocidos y de procesos parciales; la mayoría comparte la característica común de la comparación de resultados de ensayo y de medición, obtenidos por dos o más laboratorios

Uno de los principales usos de los programas de ensayo de aptitud es evaluar la capacidad de los laboratorios para efectuar ensayos en forma competente.

Las técnicas de ensayos de aptitud varían según la naturaleza del material de ensayo, el método en uso y el número de laboratorios participantes. En algunos programas, uno de los laboratorios participantes puede ejercer la función de control, coordinación o referencia.

6.1.1 PROGRAMA DE COMPARACIÓN DE MEDICIONES

En los programas de comparación de mediciones se hace circular sucesivamente el material (dispositivo de medición), que será medido o calibrado, de un laboratorio participante al siguiente. Las características generales de estos programas son las siguientes:

- a) Los valores asignados para el material de ensayo son proporcionados por un laboratorio de referencia, que podría ser la máxima autoridad de un país para la medición en cuestión.
- b) Este programa permite la participación secuencial de laboratorios que consume tiempo, a veces años, para su culminación.

- c) Los resultados de medición individuales se comparan con los valores establecidos por el laboratorio de referencia. Se recomienda que el coordinador tome la incertidumbre de medición declarada de cada laboratorio que participa.
- d) Ejemplos de material (dispositivos de medición) usados en este tipo de ensayos de aptitud incluyen a los patrones de referencia.

6.1.2 PROGRAMA DE ENSAYE INTERLABORATORIOS

Los programas de ensayos interlaboratorios contemplan la distribución simultánea a los laboratorios de ensayo participantes, de sub-muestras seleccionadas al azar de una fuente de material para ser ensayadas concurrentemente. Los materiales usados en este tipo de ensayo de aptitud son: suelos, concreto hidráulico, agua y otros materiales naturales o procesados. En algunos casos se circulan porciones separadas de materiales de referencia, cuyos valores han sido establecidos (certificados) previamente.

Es esencial que el lote de material de ensayo suministrado a los participantes en cada ronda sea suficientemente homogéneo, de modo que cualquier resultado identificado posteriormente como valor extremo no sea atribuido a una variable significativa de los materiales de ensayo.

En ocasiones, esta técnica también es usada para programas de medición interlaboratorios. Al finalizar el ensayo, los resultados son devueltos al organismo coordinador y son comparados con el valor(es) asignado(s), con el fin de dar una indicación del desempeño de los laboratorios individuales y del grupo en su conjunto.

6.1.3 PROGRAMA DE ENSAYE DE MUESTRA DIVIDIDA

El ensayo de muestra dividida consiste en la comparación de los datos producidos por pequeños grupos de laboratorios que están siendo evaluados como proveedores especiales o continuos de servicios de ensayo. Se usa para estimar la exactitud de un laboratorio a un nivel específico de un mesurando. Evita problemas asociados con mediciones repetidas sobre el mismo material de ensayo, o con la inclusión de dos materiales de ensayo idénticos en la misma ronda de ensayos de aptitud.

En los programas de ensayo de muestra dividida se divide la muestra de un producto o de un material en dos o en más partes y cada laboratorio participante ensaya una parte de cada muestra. Entre los usos de este tipo de programa se puede mencionar la identificación de una precisión pobre, la verificación de la efectividad de las acciones correctivas.

Estos programas a menudo requieren suficiente material para resolver cualquier diferencia percibida entre los laboratorios involucrados, por medio de un análisis adicional realizado por otros laboratorios.

6.1.4 PROGRAMA CUALITATIVO

La evaluación del desempeño de los laboratorios en la realización de ensayos no siempre involucrará comparaciones interlaboratorios. Por ejemplo, algunos programas son diseñados para evaluar la capacidad de los laboratorios para caracterizar entidades específicas (ejemplo tipo de asbesto, identidad de un organismo patogénico específico, etc.).

Tales programas pueden involucrar la preparación especial de los materiales de ensayo con el agregado del componente en cuestión, por el coordinador del programa. Como tal, el programa es de naturaleza "cualitativa" y no necesita la participación de múltiples laboratorios o comparaciones interlaboratorios para evaluar el desempeño del laboratorio en la realización de ensayos.

6.1.5 PROGRAMA CON VALORES CONOCIDOS

Otros tipos especiales de programas de ensayo de aptitud puede involucrar la preparación de material de ensayo con cantidades conocidas del mesurando sometido a ensayo. Es así posible evaluar la capacidad de un laboratorio particular para ensayar el material y proveer resultados numéricos para ser comparados con el valor asignado. Una vez más, tales programas de ensayo de aptitud no necesitan la participación de múltiples laboratorios.

6.1.6 PROGRAMA DE PROCESOS PARCIALES

Existen tipos especiales de ensayos de aptitud que consisten en evaluar la competencia de los laboratorios para realizar partes de procesos completos de ensayo o medición. Por ejemplo algunos programas existentes de ensayo de aptitud evalúan la competencia de los laboratorios para transformar e informar un conjunto dado de datos (en vez de conducir el ensayo o la medición real) o para tomar y preparar muestra o especímenes de acuerdo con una especificación.

6.2 ORGANIZACIÓN Y DISEÑO

La etapa de diseño de cualquier programa de ensayo de aptitud requiere la participación de expertos técnicos, estadísticos y un coordinador del programa, para asegurar su éxito y operación uniforme.

Es conveniente que el coordinador, en consulta con los otros colaboradores, desarrolle un programa apropiado para el ensayo de aptitud en particular. Para evitar cualquier confusión sobre sus objetivos es conveniente que se diseñe un programa de ensayo de aptitud. Se deberá acordar y documentar un plan antes de iniciar el programa, el que deberá incluir la siguiente información:

- a) El nombre y la dirección del organismo que conduce el programa de aptitud;
- b) El nombre y la dirección del coordinador y de las otras personas involucradas en el diseño y la operación del programa de aptitud;

- c) La naturaleza y el propósito del programa de aptitud;
- d) Un procedimiento para la selección de participantes o criterios que deben ser cumplidos antes de permitir la participación;
- e) El nombre y la dirección del laboratorio que lleva a cabo el programa o parte de éste (por ejemplo el muestreo, el procesamiento de la muestra, el ensaye de homogeneidad y la asignación de valores) y el número de participantes esperados;
- f) La naturaleza del material y el ensaye seleccionado, así como una breve descripción de las razones en las que se basan dichas elecciones;
- g) Una descripción de la forma de cómo se obtienen, procesan controlan y transportan los materiales de ensaye;
- h) Una descripción de la información suministrada a los participantes en esta fase (prenotificación) y del cronograma, para las diversas fases del ensaye de aptitud;
- i) Las fechas en que se espera iniciar y finalizar el programa de aptitud, incluidas las fechas para que los participantes lleven a acabo el ensaye;
- j) Para los programas continuos, la frecuencia con la que se distribuyen los materiales de ensaye;
- k) Información sobre los métodos y procedimientos que los participantes puedan necesitar para realizar los ensayos o mediciones (comúnmente sus procedimientos de rutina);
- l) Un esquema del análisis estadístico a usar, incluida la determinación del valor o valores asignados;
- m) Una descripción de los datos o información que deben ser devueltos a los participantes;
- n) El fundamento de las técnicas de evaluación del desempeño;
- o) Una descripción de la extensión con que se deben hacer públicos los resultados de ensaye y las conclusiones basadas en el resultado de los ensayos de aptitud.

6.3 PERSONAL

Es conveniente que el personal involucrado en el programa tenga adecuadas calificaciones y experiencia en el diseño, implementación y preparación de informes de comparaciones interlaboratorios o colabore con quienes las posean.

Deberán tener también conocimientos técnicos, estadísticos y administrativos apropiados.

6.4 DISEÑO ESTADÍSTICO

Es conveniente que el modelo estadístico y las técnicas del análisis de datos a usar estén documentados junto con una breve descripción que fundamente para su selección.

Es esencial que el diseño estadístico de un programa de ensaye de aptitud sea apropiado. Se debe prestar cuidadosa atención a los siguientes temas y a su interacción:

- a) La exactitud de los ensayos en cuestión.
- b) Las diferencias mínimas a ser detectadas entre los laboratorios participantes a un nivel de confianza deseado;
- c) El número de laboratorios participantes;
- d) El número de muestras a ensayar o mediciones repetidas a realizar sobre cada muestra;
- e) Los procedimientos a usar para estimar el valor asignado;

6.5 PREPARACIÓN DEL ENSAYE

Es conveniente que el organismo que prepara el material de ensaye tenga capacidad demostrable para hacerlo.

Se deben tomar en cuenta todas aquellas condiciones relacionadas con los materiales de ensaye que pueden afectar la integridad de la comparación interlaboratorios, tal como la homogeneidad, el muestreo, la estabilidad, el posible daño en tránsito y los efectos de las condiciones ambientales

Es conveniente que el material o materiales a distribuir en el programa sean de naturaleza similar a aquellos ensayados rutinariamente por los laboratorios participantes.

El número de muestras de ensaye que será distribuido dependerá de la exigencia del rango de composiciones que se desea cubrir.

Se recomienda contar con material adicional, aparte del que se necesita para el programa de ensaye de aptitud.

6.6 ADMINISTRACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYE

Convenga que los procedimientos para muestreo, selección al azar, transporte, recepción, identificación, etiquetado, almacenamiento y manipulación de los materiales de ensaye estén documentados

Cuando se prepare material a granel para un ensaye de aptitud, éste deberá ser suficientemente homogéneo para cada parámetro de ensaye. Es conveniente que el coordinador indique claramente el procedimiento usado para establecer la homogeneidad del material de ensaye. Cuando sea posible, conviene que el ensaye de homogeneidad se lleve a cabo antes de despachar los materiales de ensaye a los laboratorios participantes. El grado de homogeneidad debería ser tal que las diferencias entre los materiales de ensaye no afecten significativamente la evaluación del resultado de un participante.

6.7 ELECCIÓN DEL MÉTODO Y PROCEDIMIENTO

En general los participantes podrán usar el método de su elección que corresponda con los procedimientos de rutina usados en sus laboratorios. Sin embargo, en ciertas circunstancias el coordinador puede dar instrucciones a los participantes para que usen un método específico; estos métodos son generalmente métodos normalizados, aceptados nacional o internacionalmente, y que hayan sido validados por un procedimiento apropiado (por ejemplo ensayos de aptitud).

Cuando se use un procedimiento de calibración el valor asignado será, a menudo un valor de referencia, obtenido de mediciones efectuadas por un laboratorio de calibración de alto nivel (generalmente un laboratorio nacional de patrones) que deberá usar un procedimiento bien definido y aceptado. Es deseable que los laboratorios participantes usen el mismo procedimiento o uno similar, pero esto no siempre será factible para los laboratorios de calibración.

Cuando los participantes tengan la libertad de usar un método de su propia elección, los coordinadores según sea apropiado, requerirán detalles de los métodos utilizados, a fin de poder usar los resultados de los participantes, para comparar y comentar sobre los métodos.

6.8 EJEMPLO DE COMPARACIÓN DE LABORATORIOS DE CALIBRACIÓN

Las Brigadas de Calibración de las Unidades Regionales de Servicios Técnicos y el Laboratorio de Calibración de la Dirección General de Servicios Técnicos, todos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, encargados de la calibración de las máquinas de ensaye de los laboratorios que verifican la calidad de los materiales empleados en la construcción de carreteras, a fin de asegurar la confiabilidad de la calibración que realizan, se reúnen para participar en este programa de comparación de laboratorios de calibración.

6.8.1. OBJETIVO

Determinar las desviaciones, con respecto al valor real, en la calibración de máquinas de fuerza realizadas por los laboratorios de calibración de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

6.8.2 ALCANCE

En esta comparación participan las seis Brigadas de Calibración de las Unidades Regionales de Servicios Técnicos de Campeche, Camp., Hermosillo, Son., Morelia, Mich., Saltillo, Coah. y Xalapa, Ver., así como el laboratorio de Calibración de la Dirección General de Servicios Técnicos. La comparación se realizará mediante la calibración de una máquina de ensaye CBR, de 29,42 kN (3 000 kgf) de capacidad, marca Soiltest, modelo G-900, serie No. 9328.

6.8.3 RESPONSABILIDADES

Las mediciones se llevaron a cabo por personal de cada laboratorio y es su responsabilidad cumplir con los lineamientos establecidos en este documento así como con el procedimiento de medición.

6.8.4. LINEAMIENTOS GENERALES

El laboratorio de la Dirección General de Servicios Técnicos será el laboratorio piloto encargado de la coordinación y análisis de resultados del programa, actuando como laboratorio piloto y de acuerdo a los lineamientos generales que a continuación se proponen.

- a) El laboratorio piloto enviará el procedimiento de medición detallado, a cada una de las brigadas de calibración;
- b) El laboratorio piloto, realizará las mediciones en primer lugar;
- c) Las Brigadas de calibración emplearán un patrón cuya capacidad esté entre 29,42 kN (3 000 kgf) y 58,84 kN (6000 kgf);

- d) Cada Brigada acudirá al laboratorio de la Dirección General de Servicios Técnicos para efectuar la calibración correspondiente de acuerdo a la fecha programada para cada una;
- e) Al término de la calibración, cada brigada analizará los datos respectivos y entregará al laboratorio piloto los valores de lecturas de su equipo patrón con todos los factores de influencia considerados en el procedimiento durante la medición.

6.8.5 PROGRAMA DE CALIBRACION

La participación de cada brigada de calibración se llevará a cabo de acuerdo a las fechas siguiente:

LABORATORIO	FECHA
Dirección General de Servicios Técnicos	4/08/2003
Unidad Regional de Servicios Técnicos Campeche	5/08/2003
Unidad Regional de Servicios Técnicos Hermosillo	6/08/2003
Unidad Regional de Servicios Técnicos Jalapa	8/08/2003
Unidad Regional de Servicios Técnicos Morelia	11/08/2003
Unidad Regional de Servicios Técnicos Saltillo	12/08/2003

6.8.6 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Todos los participantes en el programa de calibración se sujetarán al siguiente procedimiento, distribuido previamente a cada uno de ellos.

- El equipo patrón se debe ambientar muy cerca de la máquina que se va a calibrar 2 horas antes de iniciar la calibración, a una temperatura ambiente de 23 ± 1 °C.
- En caso que el equipo patrón cuente con alimentación de corriente alterna, verificar que el valor de alimentación sea correcto para el equipo.
- Conectar entre la alimentación eléctrica y el equipo patrón un regulador de voltaje.
- Los equipos que funcionan con corriente eléctrica se deben energizar por lo menos 30 minutos antes de iniciar la calibración para estabilizar sus componentes.

- Se registrará la temperatura ambiente de laboratorio al inicio y al final de cada serie de cargas.
- Se coloca el equipo que se va a utilizar para la calibración, se centra correctamente en el plato de carga de la máquina.
- Se aplicarán dos precargas en forma continua hasta alcanzar la carga máxima de 3 000 kgf con una duración de 2 minutos cada una.
- Una vez que el equipo patrón de calibración se encuentra totalmente estabilizado, se puede iniciar la calibración de la máquina con anillo de carga.
- Se aplica la carga en forma continua, registrando seis lecturas correspondientes a las fuerzas verdaderas de 1 200 kgf, 1 500 kgf, 1 800 kgf, 2 100 kgf, 2 400 kgf y 2 700 kgf por cada una de las tres aplicaciones de carga, de acuerdo con la Norma mexicana NMX-CH-27-94-SCFI.
- Las tres series de cargas se aplicarán en forma ascendente, girando el equipo patrón, después de cada serie, ángulos de 120°, 240° y 360°.
- La aplicación de las cargas se realizará de manera constante, y de preferencia a una sola velocidad. Esta velocidad, por lo general la determina la resolución del equipo patrón.
- Durante la calibración se recomienda no tocar el anillo de carga de la máquina, debido a que esto ocasiona alteraciones por cambio de temperatura en su masa.

La descarga de la máquina debe hacerse a la misma velocidad a la que se efectuó la carga.

6.8.7 RESULTADOS

La evaluación de los resultados de la calibración la realizará cada laboratorio y los entregará al laboratorio piloto.

6.8.8 INFORME

El laboratorio piloto recibirá y analizará los informes entregados por cada brigada y preparará el informe de la comparación de laboratorios de calibración.

Los datos que se requieren para elaborar el informe son los siguientes:

- a) Resumen de los datos de la calibración efectuada por cada brigada.
- b) Análisis de datos, cálculo de desviaciones con respecto a los resultados obtenidos por el laboratorio piloto, así como el cálculo de los límites de la carta de control
- c) Elaboración de gráficas de desviaciones y carta de control de medias.

LABORATORIO DE CALIBRACION DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

**COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA CALIBRACION ENTRE LAS BRIGADAS DE LAS CINCO
UNIDADES REGIONALES Y LA DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS (DGST)
DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

LECTURAS PROMEDIO OBTENIDAS POR LOS LABORATORIOS PARTICIPANTES

FZA REAL	DGST	URCAMP	URSALT	URXALAPA	URHERMO	URMOR	PROM
(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)
1200	1200.3	1199.8	1196.9	1182.9	1198.8	1208.9	1192.9
1500	1498.4	1500.5	1498.0	1495.9	1494.9	1497.8	1496.3
1800	1798.4	1800.6	1796.1	1796.4	1799.1	1798.5	1797.2
2100	2099.1	2098.9	2098.7	2111.0	2101.0	2094.4	2103.6
2400	2400.6	2399.8	2404.4	2405.1	2404.1	2396.7	2404.5
2700	2705.0	2700.0	2713.1	2732.3	2707.3	2697.3	2717.6

DESVIACION RESPECTO A LA FUERZA REAL APLICADA (%)

FZA REAL	DGST	URCAMP	URSALT	URXALAPA	URHERMO	URMOR
1200	0.02	-0.02	-0.26	-1.42	-0.10	0.74
1500	-0.11	0.03	-0.13	-0.27	-0.34	-0.15
1800	-0.09	0.03	-0.22	-0.20	-0.05	-0.08
2100	-0.04	-0.05	-0.06	0.52	0.05	-0.27
2400	0.02	-0.01	0.18	0.21	0.17	-0.14
2700	0.19	0.00	0.49	1.20	0.27	-0.10

DESVIACION RESPECTO A LA CALIBRACION DE DGST (%)

DGST	URCAMP	URSALT	URXALAPA	URHERMO	URMOR
1200.3	-0.04	-0.28	-1.41	-0.12	0.76
1498.4	0.14	-0.03	-0.31	-0.23	-0.18
1798.4	0.12	-0.13	-0.23	0.04	-0.12
2099.1	-0.01	-0.02	0.58	0.09	-0.21
2400.6	-0.03	0.16	0.22	0.15	-0.13
2705.0	-0.18	0.30	1.20	0.09	-0.10

DATOS PARA LA CARTA DE CONTROL DE MEDIAS

FZA REAL	DGST	URCAMP	URSALT	URXALAPA	URHERMO	URMOR	PROM	DESVEST	RANGO
1200	301.7	299.8	296.91	282.9	298.8	308.9	298.2	8.54	26.0
1500	297.7	302.1	299.61	316.2	294.6	285.8	299.3	9.99	30.4
1800	298.6	300.2	295.07	302.0	302.2	302.2	300.1	2.82	7.2
2100	301.4	297.9	308.68	316.2	302.2	302.2	304.8	6.59	18.3
2400	300.5	301.6	299.61	287.9	303.1	302.2	299.1	5.67	15.2
2700	300.5	300.2	304.14	335.1	306.4	297.5	307.3	13.95	37.5
							301.5	7.93	22.4

LIMITES DE CONTROL

LSC	LC	LIC
312.2	301.5	290.7
312.2	301.5	290.7
312.2	301.5	290.7
312.2	301.5	290.7
312.2	301.5	290.7
312.2	301.5	290.7
312.2	301.5	290.7

Tabla. 34 Análisis de resultados de comparación de Laboratorios de la SCT.

Del análisis de los datos obtenidos, se realizó la gráfica de error vs. fuerza real que se presenta en la Figura 33.

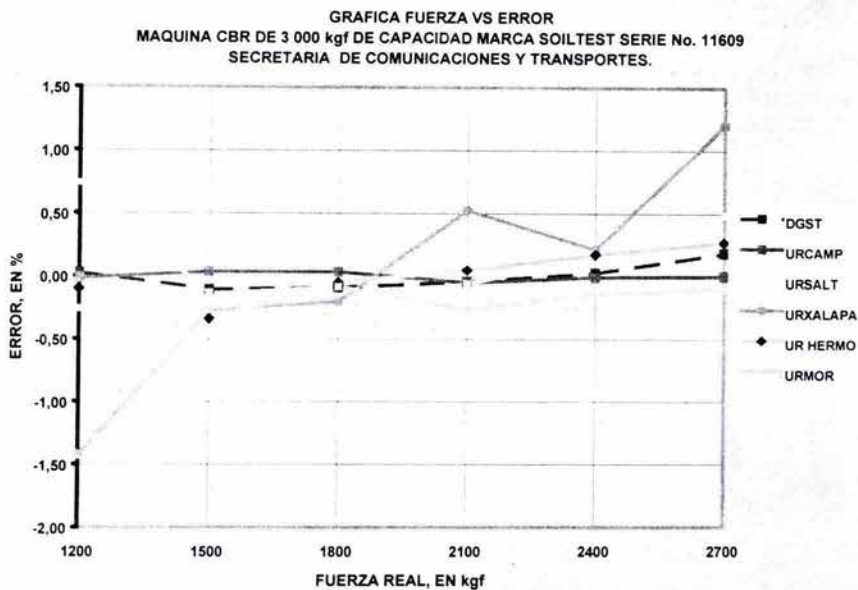


Figura. 33 Gráfica de desviaciones, con respecto al valor real, en la comparación de laboratorios de la SCT

Además, para determinar si los valores que se obtuvieron en la comparación cumplen con los parámetros de control, se determinaron los límites, los cuales se presentan en la Figura 34.

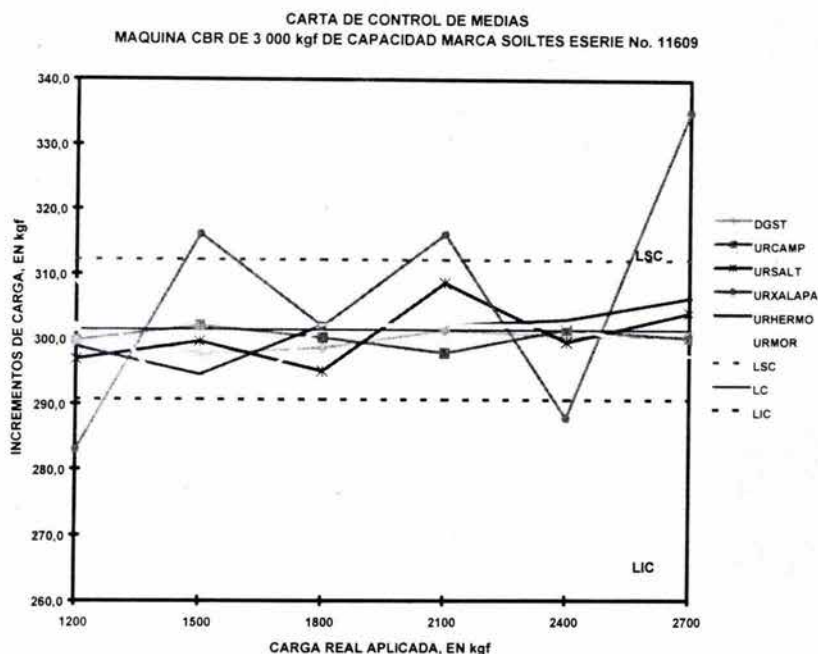


Figura. 34 Carta de control de medias del proceso de comparación de Laboratorios de calibración de la SCT.

6.8.9. OBSERVACIONES

Los resultados de la desviación con respecto a la DGST en la comparación de laboratorios oscilan entre $-1,41\%$ a $+1,20\%$.

La brigada de Xalapa presentó el intervalo de variación más amplio, $-1,41\%$ a $1,20\%$, superior al $\pm 1,0\%$ especificado por la norma mexicana NMX-CH-27-1994-SCFI.

Los resultados de desviación, con respecto a la fuerza real aplicada, en la comparación oscilan entre $-1,42$ y $1,20$.

La brigada de Xalapa presentó un proceso de calibración fuera de límites en la carta de control de medias.

6.8.10. RECOMENDACIONES

Llevar a cabo una entrevista con el personal de la brigada de Xalapa para conocer la causa que provocó el descontrol en sus mediciones.

De los resultados de la entrevista, puede ser necesario revisar el procedimiento empleado, equipo y/o personal.

6.8.11. CONCLUSIONES

La comparación llevada a cabo entre las brigadas de calibración de las Unidades Regionales de Servicios Técnicos y el laboratorio de calibración de la Dirección General de Servicios Técnicos cumplió su cometido de mostrar la aptitud de los laboratorios, así como de detectar las fallas, lo cual les permitirá asegurar un desempeño confiable en sus actividades de calibración de máquinas de ensaye.

6.9 EJEMPLO DE COMPARACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYE

Los laboratorios de ensaye de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes encargados de verificar la calidad de los materiales empleados en la construcción de carreteras, se reúnen para participar en este programa de comparación de laboratorios.

6.9.1. OBJETIVO

Determinar las desviaciones en los ensayos efectuados a materiales de base, mezcla asfáltica y concreto hidráulico por los laboratorios de ensaye de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

6.9.2. ALCANCE

En esta comparación participan los laboratorios de las Unidades Regionales de Servicios Técnicos de Campeche, Camp., Hermosillo, Son., Morelia, Mich., Saltillo, Coah. y Xalapa, Ver., así como el laboratorio de Ensayes de la Dirección General de Servicios Técnicos y se determinará la resistencia CBR en un material de base, estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica y resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto hidráulico.

6.9.3. RESPONSABILIDADES

Los ensayos se llevarán a cabo por personal de cada laboratorio y su responsabilidad es cumplir con los lineamientos establecidos en este programa de comparación, así como con el procedimiento de las Normas SCT.

6.9.4. LINEAMIENTOS GENERALES

La Dirección General de Servicios Técnicos designará al Coordinador del programa, quien lo desarrollará de acuerdo a los lineamientos generales que a continuación se proponen.

- a) El Coordinador enviará los materiales de suelo, concreto hidráulico y asfalto a cada una de las Unidades Regionales;

- b) El Coordinador designará al laboratorio participante que elaborará las pastillas Marshall y los especímenes cilíndricos de concreto hidráulico; asimismo, seleccionará por cuarteo las muestras de material de base para su envío a las Unidades Regionales;
- c) El Coordinador llevará un registro de los tiempos de ejecución de los ensayos por parte de cada una de las Unidades Regionales;
- d) Los laboratorios de las Unidades Regionales de Servicios Técnicos ensayarán los materiales recibidos, de acuerdo con las Normas SCT;
- e) Al término de los ensayos, los laboratorios de las Unidad Regional analizarán los datos respectivos y enviarán los resultados al Coordinador del programa.

6.9.5. PROGRAMA DE ENSAYE

El laboratorio de cada una de las Unidades Regionales de Servicios Técnicos, realizará los ensayos de los materiales en sus propias instalaciones y con su personal, durante el mes de septiembre de 1996 y enviará los resultados al Coordinador en los últimos días de este mismo mes.

6.9.6. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Los laboratorios participantes, realizarán los ensayos de acuerdo con la metodología establecida en las Normas SCT.

6.9.7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos serán analizados por los laboratorios participantes y los enviarán al Coordinador del Programa.

6.9.8. INFORME

Los datos obtenidos en la comparación fueron los siguientes:

RESULTADOS COMPARACION DE LABORATORIOS DE ENSAYE DE MATERIALES DE LA SCT

CBR en material para capa de base, %					Media, X	Rango, R	Desvest D	LSC	LC	LIC
1	2	3	4	5						
93	153	163	150	188	149,4	95	34,9	149,4	121,7	94
105	137	100	127	80	109,8	57	22,6	149,4	121,7	94
95	102	112	112	118	107,8	23	9,2	149,4	121,7	94
108	118	136	114	124	120,0	28	10,7	149,4	121,7	94
143	112	113	107	132	121,4	36	15,4	149,4	121,7	94
Media de Medias, Xm					121,7					
Rango promedio, Rm						47,8				
Desv estándar prom., Dm							18,5			
A= 0,58										
LSC= Xm + Arm;					LSC	149,4				
LC= Xm ;					LC	121,7				
LIC= Xm - Arm;					LIC	94,0				

Compresión simple en concreto hidráulico, kgf/cm ²					Media, X	Rango, R	Desvest D	LSC	LC	LIC
1	2	3	4	5						
322	221		275	280	274,5	101	41,4	331,2	278,5	225,7
285	338		230	260	278,3	108	45,7	331,2	278,5	225,7
315	280		249	249	273,3	66	31,4	331,2	278,5	225,7
275	285		249	309	279,5	60	24,8	331,2	278,5	225,7
331	348		228	240	286,8	120	61,5	331,2	278,5	225,7
Media de promedios					278,5					
Rango promedio, Rm						91,0				
Desv estándar prom., Dm							41,0			
A= 0,58										
LSC= Xm + Arm;					LSC	331,2				
LC= Xm ;					LC	278,5				
LIC= Xm - Arm;					LIC	225,7				

Estabilidad Marshall en mezcla asfáltica, kgf					Media, X	Rango, R	Desvest D	LSC	LC	LIC
1	2	3	4	5						
787	1250	665	650	1049	880,2	600	261,4	1420,3	994,2	568,1
785	950	633	1200	1375	988,6	742	301,4	1420,3	994,2	568,1
649	1200	754	750	1235	917,6	586	277,3	1420,3	994,2	568,1
1399	1200	550	871	1303	1064,6	849	349,7	1420,3	994,2	568,1
694	998	778	1540	1590	1120,0	896	421,5	1420,3	994,2	568,1
Media de promedios					994,2					
Rango promedio, Rm						734,6				
Desv estándar prom., Dm							322,3			
A= 0,58										
LSC= Xm + Arm;					LSC	1420,3				
LC= Xm ;					LC	994,2				
LIC= Xm - Arm;					LIC	568,1				

Tabla. 35 Resultados de comparación de laboratorios de ensaye de materiales de la SCT.

Los resultados de la comparación se presentan en las Figuras 35, 36 y 37.

Comparación de Laboratorios de la SCT
 Carta de control de medias
 Resistencia CBR en material para capa de base

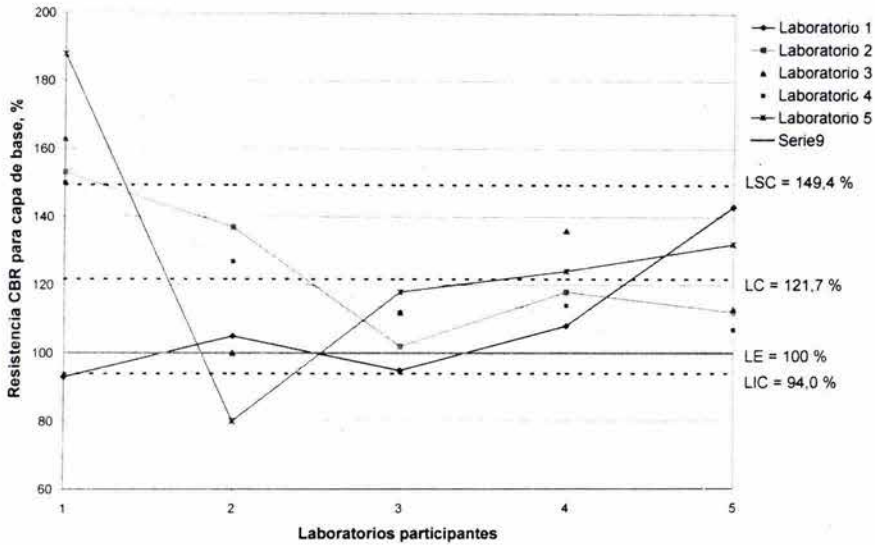


Figura. 35 Comparación de resultados de resistencia CBR en material para capa de base.

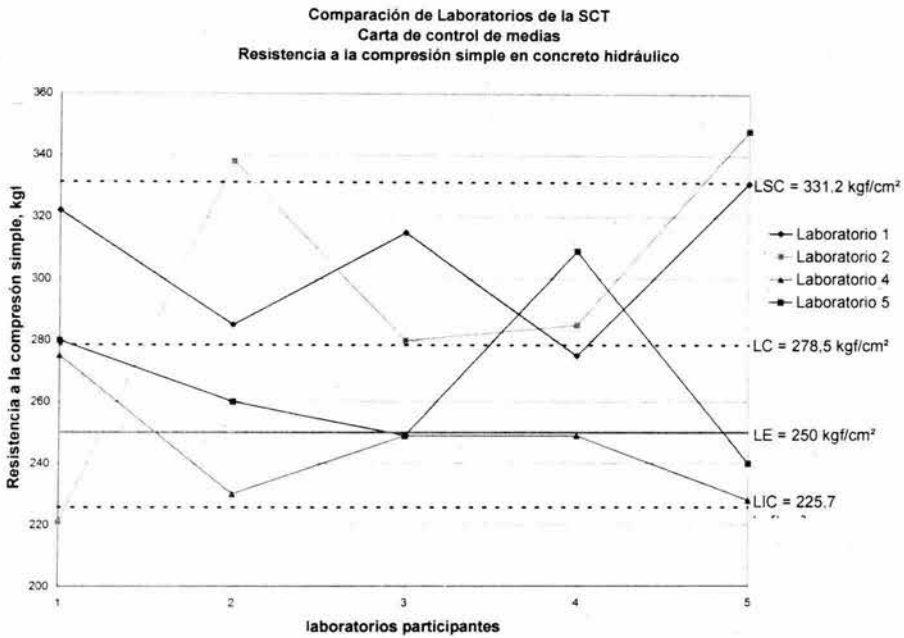


Figura. 36 Comparación de resultados de resistencia a la compresión simple en concreto hidráulico.

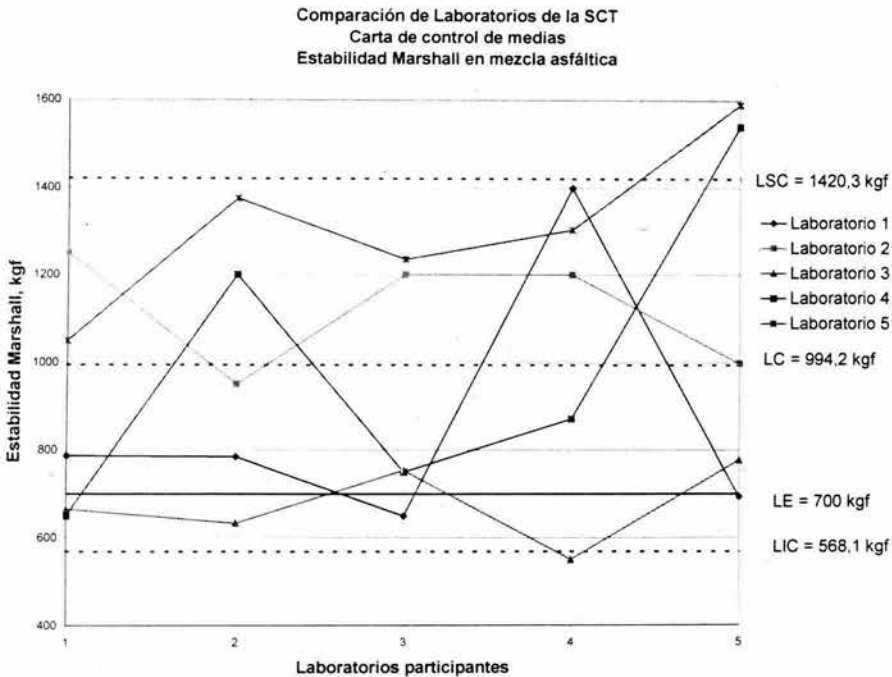


Figura. 37 Comparación de resultados de estabilidad Marshall en mezclas asfálticas.

6.9.9. OBSERVACIONES

Todos los participantes presentan una gran variabilidad en cada uno de sus resultados.

Para el caso de los ensayos CBR, la desviación estándar varía entre 17,31% a 38,84%.

Para el caso de los ensayos en concreto hidráulico, la desviación estándar varía entre 18,97 kgf/cm² a 51,13 kgf/cm².

Para el caso de los ensayos de estabilidad Marshall, la desviación estándar varía entre 92,65 kgf a 365,11 kgf.

El promedio general de los resultados obtenidos en los casos del CBR en suelos, resistencia a la compresión simple en concreto hidráulico y estabilidad Marshall en mezcla asfáltica, cumplen con el valor del proyecto.

Los procesos de intercomparación entre los laboratorios están fuera de control.

La falta de control del proceso se debe a la gran variabilidad que presenta cada uno de los laboratorios en su proceso particular.

6.9.10. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados del programa de comparación de laboratorios de ensaye, se requiere convocar a una reunión entre los responsables de cada uno de los laboratorios participantes para conocer con más precisión las causas que afectan el proceso.

Se requerirá efectuar una visita a cada uno de los laboratorios para conocer el estado de las instalaciones y equipos; así como para conocer la habilidad y el nivel de capacitación del personal que ejecutó los ensayos de laboratorio.

En función de los resultados que se obtengan de estas acciones se obtendrán los elementos de juicio para recomendar la adecuación o sustitución de instalaciones y/o equipos y capacitación del personal.

6.9.11. CONCLUSIONES

La comparación llevada a cabo entre las Unidades Regionales de Servicios Técnicos y el laboratorio de la Dirección General de Servicios Técnicos cumplió su cometido de mostrar la aptitud de los laboratorios de ensaye, así como de detectar las causas que ocasionan las diferencias entre los laboratorios de que pertenecen a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para poder corregir y homologar a cada uno de ellos, lo cual les permitirá asegurar un desempeño confiable en sus actividades.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo de tesis mostró la necesidad y las ventajas de emplear procesos de medición para caracterizar y controlar la calidad de los materiales empleados en la construcción de carreteras.

El empleo de máquinas de ensaye debidamente calibradas y de laboratorios acreditados permitirá efectuar mediciones con trazabilidad a patrones nacionales, lo cual asegurara resultados confiables tanto para el constructor de la obra como para el usuario final de la misma.

La buena práctica de efectuar comparación entre laboratorios acreditados en forma periódica generará confianza entre ellos mismos y garantizará un servicio confiable.

A la luz de estos resultados se puede afirmar que el comportamiento de obras construidas con materiales previamente caracterizados y controlados, es mas predecible y permite programar de manera confiable su mantenimiento y conservación.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ajuste (de un instrumento de medición)

Operación de llevar un instrumento de medición a un estado de funcionamiento adecuado para su uso.

Alcance de indicación

Conjunto de valores limitados por las indicaciones extremas.

Alcance de medición

Conjunto de valores de mensurandos para los cuales el error de un instrumento de medición está supuestamente comprendido dentro de ciertos límites.

Cadena de medición

Serie de elementos de un instrumento de medición o sistema que constituye trayectoria desde la entrada hasta la salida de la señal de medición.

Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones.

Clase de exactitud

Clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metrológicos destinados a mantener los errores dentro de límites especificados.

Constante de un instrumento

Coefficiente por el cual se debe multiplicar la indicación directa de un instrumento de medición para obtener el valor indicado del mensurando o de una magnitud que se utilice para calcular el valor del mensurando.

Corrección

Valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición para compensar un error sistemático.

Dispositivo indicador

Parte de un instrumento de medición que presenta una indicación.

División de la escala

Parte de una escala comprendida entre dos marcas sucesivas.

Error (de indicación) de un instrumento de medición

Indicación de un instrumento de medición menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente.

Error (de medición)

Resultado de un mensurando menos un valor verdadero del mensurando.

Error relativo

Error de medición dividido por un valor verdadero del mensurando.

Escala (de un instrumento de medición)

Conjunto ordenado de marcas, con una numeración asociada, que forma parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.

Estabilidad

Aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo, sus características metrológicas.

Exactitud (de un instrumento de medición)

Aptitud de un instrumento de medición para dar respuestas próximas al valor verdadero.

Exactitud de medición

Proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

Factor de corrección

Factor numérico por el cual se multiplica el resultado no corregido de la medición para compensar un error sistemático.

Histéresis

Es la diferencia entre dos señales de salida para la misma carga aplicada, siendo la primera de tipo ascendente y la segunda de tipo descendente. Esto se observa al aplicarle carga, e ir tomando puntos de lectura a un dispositivo elástico de calibración en ascenso desde cero hasta el alcance máximo y posteriormente en descenso.

Incertidumbre de medición

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.

Indicación (de un instrumento de medición)

Valor de una magnitud proporcionada por un instrumento de medición.

Instrumento (de medición) indicador

Instrumento de medición que muestra una indicación.

Instrumento de indicación analógica

Instrumento de medición en el cual la señal de salida o la indicación es una función continua del mensurando o de la señal de entrada.

Instrumento de indicación digital

Instrumento de medición que proporciona una señal de salida o indicación de forma numérica.

Instrumento de medición

Dispositivo destinado a ser utilizado para hacer mediciones sólo o en conjunto con dispositivos complementarios.

Magnitud (medible)

Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Magnitud de base

Una de las magnitudes que en un sistema de magnitudes, se aceptan por convención como funcionalmente independientes unas de otras.

Magnitud de influencia

Magnitud que no es el mensurando pero que afecta al resultado de la medición.

Magnitud derivada

Magnitud definida en un sistema de magnitudes, en función de las magnitudes de base de ese sistema.

Medición

Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Medida materializada

Medida destinada a reproducir o suministrar, de una manera permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.

Mensurando

Magnitud particular sujeta a medición.

Metrología

Ciencia de la medición.

Patrón (de medición)

Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

Patrón de referencia

Patrón del cual se obtuvo la última calibración.

Patrón de trabajo

Patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

Patrón nacional (de medición)

Patrón reconocido por una decisión nacional en un país, que sirve de base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente

Patrón primario

Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metroológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.

Patrón secundario

Patrón cuyo valor es establecido por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

Repetibilidad (de resultados de mediciones)

Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando realizadas bajo las mismas condiciones de medición.

Repetibilidad (de un instrumento de medición)

Aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre si por aplicaciones repetidas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición.

Reproducibilidad (de resultados de mediciones)

Proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones variables de medición.

Resolución (de un dispositivo indicador)

La diferencia más pequeña entre las indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguido significativamente.

Resultado corregido

Resultado de una medición después de la corrección por error sistemático.

Resultado de una medición

Valor atribuido a un mensurando, obtenido por medición.

Resultado no corregido

Resultado de una medición antes de la corrección por error sistemático.

Sensibilidad

Cambio en la respuesta de un instrumento de medición dividido por el correspondiente cambio del estímulo.

Sensor

Elemento de un instrumento de medición o cadena de medición que está sometida directamente a la acción del mensurando.

Símbolo de una unidad

Símbolo designado en forma convencional para una unidad de medida.

Sistema de medición

Juego completo de instrumentos de medición y otros equipos acoplados para realizar mediciones específicas.

Transductor de medición

Dispositivo que proporciona una magnitud de salida con una determinada relación a la magnitud de entrada.

Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas, incertidumbres determinadas.

Unidad (de medida)

Magnitud particular, definida y adoptada por convención, con la cual se comparan las otras magnitudes de la misma naturaleza para expresar cuantitativamente su relación con esta magnitud.

BIBLIOGRAFIA:

Secretaría de Economía. Ley federal sobre metrología y Normalización. México, 1997.

Centro Nacional de Metrología (CENAM). Sistema Internacional de Unidades (SI). México, 2001.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Verificación de Máquinas de Ensaye Uniaxiales –Máquinas de Ensaye a la tensión y/o Compresión- Norma Mexicana NMX-CH-27-1994-SCFI. México, 1994.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Instrumentos de medición – Calibración de Instrumentos Probadores de Fuerza usados para la Verificación de Máquinas de Ensaye Uniaxiales- Norma Mexicana NMX-CH-23-1994-SCFI. México, 1994.

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración. NMX-EC-17025-IMNC-2000. México, 2000.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). Norma Mexicana NMX-C-109-ONNCCE- 1997. Industria de la Construcción – Concreto – Cabeceo de especímenes cilíndricos México, 1997

Centro Nacional de Metrología (CENAM). Vocabulario Internacional de Términos Fundamentales y Generales de Metrología. 2ª Edición. México, 1996.

Asociación Mexicana de Metrología, A. C. (AMMAC). Calibración de Equipos de Medición de Fuerza para Ensayo de Materiales. México, 1993.

Centro Nacional de Metrología (CENAM). Curso de Medición y Calibración de Fuerza. México, 1997.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Especificaciones Generales de Construcción. Parte IX, libro 4. México, 1977.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Normas de Calidad de los Materiales Carreteras y Aeropistas. Libro 4.01.01. México, 1985

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). Norma Mexicana NMX-C-155-ONNCCE- 2002. Industria de la Construcción – Concreto – Concreto Hidráulico Industrializado – Especificaciones. México, 2002

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Normas Mexicana NMX-B-292-1988-SCFI. Torón de 7 Alambres sin Recubrimiento Relevado de Esfuerzos para Concreto Preesforzado. México, 1988

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Normas para Muestreo y Pruebas de los Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. México, 1991.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Normas para Muestreo y Pruebas de los Materiales, Equipos y Sistemas, Carreteras y Aeropistas. Libro 6.01.03 Tomo 2. México, 1991.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). Norma Mexicana NMX-C-083-1997- ONNCCE. Industria de la Construcción – Concreto Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto. México, 1997.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Instructivo para Efectuar Pruebas en Agregados y Concreto Hidráulico, Apoyo Didáctico, Vol. 3. México, 1996.

Centro Nacional de Metrología (CENAM). Guía BIMP/ISO para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones. México, 1994.

Centro Nacional de Metrología (CENAM). Lineamientos Generales para la Comparación de Patrones Nacionales de Fuerza en el Sistema Interamericano. México, 1994.

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. "Ensayos de Aptitud por comparaciones Interlaboratorios. Parte 1–Desarrollo y Funcionamiento de Programas de Ensayos de Aptitud" Norma NMX-EC-43/1MNC-2000.

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. "Ensayos de Aptitud por comparaciones Interlaboratorios. Parte 2 –Selección y uso de Programas de Ensayos de Aptitud por Organismos de Acreditación de Laboratorios" Norma NMX-EC-43-2-IMNC-2000.