

**ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y  
CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN, S.C.**

**PROYECTO DE NORMA MEXICANA  
PROY- NMX-C-537-ONNCCE-2016**

**INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - FIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO –  
ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO**

**BUILDING INDUSTRY – POLYMERIC FIBRES FOR CONCRETE – SPECIFICATIONS AND  
TEST METHODS**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.  
Constitución #50, Col. Escandón C.P. 11800, México, D.F. Tel. 5273 3399 y 5273 1991 Fax. 5273 3431  
Correo electrónico: [normas@mail.onncce.org.mx](mailto:normas@mail.onncce.org.mx) Internet: <http://www.onncce.org.mx>  
© PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL  
ONNCCE



## **Prefacio**

Este proyecto de Norma Mexicana fue preparado por el Comité Técnico de Normalización de Productos, Sistemas y Servicios para la Construcción del ONNCCE y en su elaboración participaron los siguientes empresas e instituciones:

- ASOCIACIÓN DE INDUSTRIALES DE FIBROCEMENTO, A.C.
- BASF MEXICANA, S.A. DE C.V.
- BEKAERT TRADE, S.A. DE C.V.
- ELEMENTIA, S.A DE C.V.
- COFISA DE MONTERREY, S.A. DE C.V. (FIBRAMIX)
- CONCRETOS MÉXICO EPC, S.A. DE C.V.,
- EUREKA, S.A. DE C.V.
- GRUPO MATRIX, S.A. DE C.V.
- HUMMER PLASTICS, S.A. DE C.V.
- MEXALIT INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
- SIKA MEXICANA, S.A. DE C.V.
- WORLD PC TECHNOLOGIES

## Índice de contenido

<b>Prefacio</b> .....	<b>2</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Objetivo y campo de aplicación</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Referencias normativas</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Términos y definiciones</b> .....	<b>2</b>
<b>4 Símbolos</b> .....	<b>3</b>
<b>5 Clasificación</b> .....	<b>4</b>
<b>6 Especificaciones</b> .....	<b>4</b>
6.1 Generalidades .....	4
6.1.1 <i>Tipo de polímero</i> .....	4
6.1.2 <i>Forma</i> .....	4
6.1.3 <i>Conjunto de fibras poliméricas</i> .....	4
6.1.4 <i>Tratamiento superficial o recubrimiento</i> .....	4
6.2 Dimensiones .....	4
6.2.1 <i>Tolerancias dimensionales</i> .....	4
6.2.2 <i>Longitud</i> .....	5
6.2.3 <i>Determinación del diámetro (equivalente)</i> .....	5
6.2.3.1 Fibras con sección transversal circular .....	5
6.2.3.2 Fibras con una sección transversal elíptica .....	5
6.2.3.3 Fibras rectangulares .....	5
6.2.3.4 Fibras con sección transversal irregular .....	5
6.2.4 <i>Densidad lineal</i> .....	6
6.2.5 <i>Forma de las fibras</i> .....	6
6.3 Propiedades de tensión .....	6
6.3.1 <i>Tenacidad de las fibras de Clase I</i> .....	6
6.3.2 <i>Resistencia a la tensión de las fibras de Clase II</i> .....	6
6.4 Módulo de elasticidad .....	6
6.5 Punto de fusión.....	6
6.6 Efectos sobre la consistencia del concreto .....	6
6.7 Efectos sobre la resistencia del concreto.....	7
6.8 Mezcla .....	7

6.9	Emisión de sustancias peligrosas .....	7
<b>7</b>	<b>Etiquetado .....</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>Vigencia .....</b>	<b>8</b>
<b>9</b>	<b>Concordancia con Normas Internacionales .....</b>	<b>8</b>
<b>Apéndice A (normativo).....</b>		<b>9</b>
A.1	Alcance .....	9
A.2	Principio .....	9
A.3	Equipos.....	9
A.4	Materiales .....	9
A.5	Composición y propiedades del concreto de referencia .....	10
A.5.1	<i>General</i> .....	10
A.5.2	<i>Relación agua/cementante</i> .....	10
A.5.3	<i>Contenido máximo de cemento</i> .....	10
A.5.4	<i>Contenido de fibras</i> .....	10
A.5.5	<i>Consistencia</i> .....	11
A.5.6	<i>Preparación de los especímenes</i> .....	11
A.5.7	<i>Curado y almacenado del concreto</i> .....	11
A.5.8	<i>Reporte</i> .....	11
<b>Apéndice B (normativo).....</b>		<b>13</b>
B.1	Alcance .....	13
B.2	Definiciones .....	13
B.3	Símbolos.....	13
B.4	Especímenes de ensayo.....	13
B.4.1	<i>Geometría</i> .....	13
B.4.2	<i>Preparación de los especímenes</i> .....	14
B.5	Equipos de ensayo .....	15
B.6	Procedimiento de ensayo .....	17
B.7	Cálculos .....	17
B.7.1	<i>Curva de ablandamiento por tensión</i> .....	17
B.7.2	<i>Equivalencia entre el CMOD y el LPD</i> .....	17
B.7.3	<i>Límite de proporcionalidad</i> .....	18
B.7.4	<i>Resistencia residual a la tensión por flexión</i> .....	18
B.8	Informe de ensayo .....	19

<b>Apéndice C (informativo)</b> .....	<b>20</b>
C.1 Alcance .....	20
C.2 Curva carga-desplazamiento .....	20
C.3 Estimación de la curva de ablandamiento por tensión.....	20
C.4 Estimación del módulo elástico.....	21
C.5 Tensión cohesiva inicial .....	22
C.6 Cálculo de la curva carga-desplazamiento .....	22
C.7 Informe de ensayo .....	22



# Industria de la Construcción – Fibras Poliméricas para Concreto – Especificaciones y Métodos de Ensayo

## 1 Objetivo y campo de aplicación

Este proyecto de Norma Mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba de las fibras poliméricas para su uso estructural o no estructural en concretos, morteros y pastas.

**Nota:** El uso estructural de las fibras se produce cuando la adición de fibras se diseña para contribuir a la capacidad portante de carga de un elemento del concreto. Este proyecto de norma cubre las fibras destinadas a este uso en todos los tipos de concreto y mortero, incluidos el concreto proyectado, concretos para losa, prefabricados, de producción en sitio y los concretos de reparación.

## 2 Referencias normativas

Los siguientes documentos normativos vigentes o los que los sustituyan son indispensables para la aplicación de este proyecto de Norma Mexicana.

- NMX-C-111-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo
- NMX-C-122-ONNCCE-2004, Industria de la Construcción - Agua para Concreto – Especificaciones
- NMX-C-255-ONNCCE-2013, Industria de la Construcción - Aditivos Químicos Para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo.
- NMX-C-414-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo.
- ISO 1920-2:2005, Testing of concrete – Part 2: Properties of fresh concrete
- ISO 1973:1995, Textile fibres – Determination of linear density – Gravimetric method and vibroscope method
- ISO 2060:1994, Textiles -- Yarn from packages -- Determination of linear density (mass per unit length) by the skein method
- ISO 2062:2009, Textiles – Yarns from packages – Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester
- ISO 5725-2:1994, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method
- ISO 6892-1:2016, Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature
- ISO 11357-3:2011, Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization

### 3 Términos y definiciones

Para los propósitos de este proyecto de Norma Mexicana, los siguientes términos y definiciones son aplicables.

#### 3.1

##### **polímero**

Material polimérico basado en poliolefina, (por ejemplo, polipropileno o polietileno), poliéster, nylon, acetato de polivinilo (pva), poliacrílico, aramidas y combinaciones de éstos.

#### 3.2

##### **fibras poliméricas**

Elementos rectos o deformados de material extruido, orientado y cortado, apropiados para su mezcla homogénea con concreto o mortero.

#### 3.3

##### **longitud**

Distancia entre los extremos de la fibra.

#### 3.4

##### **longitud desarrollada** (para fibras deformadas con una sección transversal irregular)

Longitud de la fibra deformada después del estiramiento de la fibra sin deformación de la sección transversal.

#### 3.5

##### **diámetro equivalente**

Diámetro de un círculo con un área igual al área media de la sección transversal de la fibra. Para fibras circulares, el diámetro equivalente es igual al diámetro de la fibra.

#### 3.6

##### **esbeltez**

Relación entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra.

#### 3.7

##### **forma de la fibra**

Configuración exterior específica de la fibra, tanto en la dirección longitudinal como en la forma de la sección transversal y también los posibles recubrimientos superficiales y/o el agrupamiento de las fibras.

#### 3.8

##### **resistencia a tensión de la fibra**

Tensión correspondiente a la carga máxima que la fibra puede resistir. La resistencia a la tensión se calcula dividiendo la carga máxima que la fibra puede resistir por el área de la sección transversal media de la fibra.

#### 3.9

##### **alargamiento de la fibra**

El alargamiento de la fibra se define como la relación de la variación de la longitud de la fibra con respecto a la longitud inicial, expresada en porcentaje.

**Nota:** Las variaciones en la longitud deberían medirse sobre la propia fibra.

#### 3.10

##### **módulo de elasticidad**

Pendiente inicial de la curva que representa la resistencia a la tensión frente a la deformación.

#### 3.11

##### **densidad lineal**

Masa por unidad de longitud de una hebra o filamento, expresada en tex, y sus múltiplos o submúltiplos.

**Nota:** 1 tex = 1g/1 000 m.

#### 3.12

##### **tenacidad**

Fuerza de rotura de una fibra dividida por su densidad lineal.

**3.13****punto de fusión**

Temperatura a la cual el polímero se vuelve líquido.

**3.14****resistencia residual a flexión**

Tensión teórica en el extremo de la ranura que se supone que actúa sobre el punto medio de una sección sin fisura, con una distribución de fuerza lineal, de un prisma sometido a una carga  $F_j$  en el punto central correspondiente a  $CMOD_j$ ,

donde  $CMOD_j > CMOD_{FL}$ ; o a  $\delta_j$  donde  $\delta_j > \delta_{FL}$  ( $j = 1,2,3,4$ ).

**3.15****desplazamiento relativo de los extremos de la ranura****CMOD**

Desplazamiento lineal relativo de los extremos de la ranura, medido mediante medidor de pinza instalado en un prisma sometido a una carga  $F$  en el punto central.

**3.16****desplazamiento en el punto de carga****LPD**

Desplazamiento lineal medido mediante un transductor instalado en un prisma sometido a una carga  $F$  en el punto central.

**3.17****límite de proporcionalidad****LOP**

Tensión en el fondo de la ranura de un prisma sometido a una carga puntual centrada  $F_L$  como se define en el Apéndice B antes de la fisura.

**3.18****valor declarado**

Valor de una propiedad del producto, determinado conforme a este proyecto de norma, que un fabricante asegura alcanzar dentro de las tolerancias dadas, teniendo en cuenta la variabilidad del proceso de fabricación.

**4 Símbolos**

Los símbolos utilizados en este proyecto de norma se definen como:

$A$	área de la sección transversal de la fibra, en $\text{mm}^2$ ;
$d$	diámetro de una fibra con sección transversal circular, en mm;
$d_e$	diámetro equivalente de la fibra, en mm;
$l$	longitud medida de la fibra, en mm;
$l_d$	longitud desarrollada de la fibra, en mm;
$\lambda$	$= l/d$ y es la esbeltez de la fibra;
$m$	masa de la fibra, en g;
$\rho$	densidad del polímero, en $\text{kg/m}^3$ ;
$T_s$	punto de fusión del polímero, en $^{\circ}\text{C}$ ;
$P_{m\acute{a}x}$	carga de tensión máxima que puede soportar la fibra, en N;
$R_m$	resistencia a la tensión de la fibra, en MPa;

- $\epsilon$  alargamiento de la fibra, en %;
- $E$  Módulo elástico de la fibra, en MPa.

## 5 Clasificación

Las fibras poliméricas, en función de su forma física, se clasifican conforme a la Tabla 1.

**Tabla 1 – Clasificación de las fibras poliméricas**

Clase		Diámetro
Clase Ia	Micro fibras (mono-filamentosas)	$\leq 0,30$ mm
Clase Ib	Micro fibras (fibrilosas)	$\leq 0,30$ mm
Clase II	Macro fibras	$> 0,30$ mm

**Nota:** Las fibras de Clase II se utilizan generalmente cuando se requiere un aumento de la resistencia residual a flexión.

## 6 Especificaciones

### 6.1 Generalidades

#### 6.1.1 Tipo de polímero

Debe(n) declararse el(los) polímero(s) base o las mezclas de éstos.

#### 6.1.2 Forma

Las fibras poliméricas pueden ser rectas o deformadas. Debe declararse el tipo de deformación.

#### 6.1.3 Conjunto de fibras poliméricas

Debe declararse el tipo y tamaño del conjunto de fibras (por ejemplo, cementadas, revestidas).

#### 6.1.4 Tratamiento superficial o recubrimiento

Debe declararse y controlarse cualquier tratamiento superficial o recubrimiento (tipo y cantidad), y cualquier tratamiento químico o físico al que se hayan sometido las fibras poliméricas.

**Nota:** El término “terminación de hilado” se utiliza para describir la adición de producto(s) químico(s) para recubrir las fibras cuya función es ayudar a dispersar la fibra en la mezcla. Sin este recubrimiento, algunas fibras no se dispersarían fácilmente en el concreto y tenderían a formar grumos. Sin embargo, algunos tipos de productos químicos utilizados para recubrir las fibras pueden introducir aire en el concreto o mortero. Como consecuencia es importante que cualquier recubrimiento añadido a la fibra se controle y se registre como parte de los ensayos y como parte del control de producción en fábrica.

### 6.2 Dimensiones

#### 6.2.1 Tolerancias dimensionales

Para todas las fibras debe declararse la longitud, diámetro (o diámetro equivalente) y relación de esbeltez. Para las fibras de Clase I debe declararse la densidad lineal.

Las muestras de las fibras, cuando se ensayen y se midan conforme a los apartados 6.2.2, 6.2.3 y 6.2.4 no deben desviarse del valor declarado en más de las tolerancias indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2 – Límites de tolerancia para las dimensiones de las fibras

Propiedad	Símbolo	Desviación del valor individual respecto al valor declarado	Desviación del valor medio respecto al valor declarado
Longitud y longitud desarrollada (> 30 mm)	$l, l_d$	±10%	±5%
Longitud y longitud desarrollada (≤ 30 mm)		±10%	±1,5 mm
Diámetro equivalente (Clase II)	$d_e$	±50%	±5%
Relación longitud / diámetro (Clase II)	$\lambda$	±50%	±10%
Densidad lineal (Clase I)	$\rho_L$	±10%	±10%

### 6.2.2 Longitud

La longitud de 30 fibras debe medirse con un calibrador con una exactitud de 0,1 mm.

En el caso de una sección irregular, debe determinarse la longitud desarrollada de la fibra.

### 6.2.3 Determinación del diámetro (equivalente)

#### 6.2.3.1 Fibras con sección transversal circular

Para las fibras de Clase I con un diámetro igual o inferior a 0,3 mm, el diámetro de 30 fibras debe medirse utilizando un equipo de medición óptico.

Para las fibras de Clase II con un diámetro superior a 0,3 mm, el diámetro de 30 fibras debe medirse utilizando un micrómetro con una precisión de 0,001 mm.

#### 6.2.3.2 Fibras con una sección transversal elíptica

El diámetro de 30 fibras debe medirse con un micrómetro, en dos direcciones, aproximadamente en ángulo recto, con una precisión de 0,001 mm. El diámetro de la fibra debe ser la media de los dos diámetros.

#### 6.2.3.3 Fibras rectangulares

La anchura ( $w$ ) y el espesor ( $t$ ) de las 30 fibras debe medirse con un micrómetro con una precisión de 0,001 mm.

El diámetro equivalente ( $d_e$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \cdot w \cdot t}{\pi}} \quad (1)$$

#### 6.2.3.4 Fibras con sección transversal irregular

Debe determinarse la masa,  $m_f$  (g), y la longitud desarrollada,  $l_d$  (mm), de 30 fibras. La masa debe determinarse con una exactitud de 0,001 g y la longitud con una exactitud de 0,01 mm. El diámetro equivalente se debe calcular a partir de la masa y la longitud desarrollada empleando la siguiente fórmula, con la densidad nominal de la fibra,  $\rho$  en g/cm<sup>3</sup>:

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \cdot m_f \cdot 10^6}{\pi \cdot l_d \cdot \rho}} \quad (2)$$

**Nota:** La densidad nominal  $\rho$  del polipropileno es de 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

#### **6.2.4 Densidad lineal**

La densidad lineal de las fibras de Clase I debe determinarse conforme a las normas ISO 1973:1995 o la ISO 2060:1994 y debe declararse.

#### **6.2.5 Forma de las fibras**

El fabricante puede elegir libremente la forma de las fibras. El control y las tolerancias sobre la forma deben declararse para cada forma diferente. El control puede llevarse a cabo utilizando un equipo óptico.

### **6.3 Propiedades de tensión**

#### **6.3.1 Tenacidad de las fibras de Clase I**

La tenacidad de las fibras de Clase I debe determinarse aplicando los métodos A o B de la norma ISO 2062:2009. Deben ensayarse 30 fibras individuales, y en el cálculo de la media y la desviación típica deben incluirse todos los resultados obtenidos de las cargas de rotura. La tenacidad debe calcularse a partir de la de la fuerza de rotura media dividida por la densidad lineal determinada según lo indicado en el apartado 6.2.4

#### **6.3.2 Resistencia a la tensión de las fibras de Clase II**

La resistencia a la tensión,  $R_m$ , debe determinarse conforme al método incluido en la norma ISO 6892-1:2016, excepto que la velocidad de extensión no debe superar los 10 mm/min, y ésta debe declararse.

Debe determinarse la resistencia a la tensión de las fibras individuales que tengan una longitud mínima de 20 mm. Deben ensayarse 30 fibras individuales, y en el cálculo de la media y la desviación típica, deben incluirse todos los resultados obtenidos de las cargas de rotura.

La tolerancia admisible sobre el valor declarado de  $R_m$  debe ser de un 15% para los valores individuales y de un 7,5% para el valor medio.

#### **6.4 Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad para fibras poliméricas debe ensayarse como se describe en la norma ISO 6892-1:2016 y debe declararse. El módulo de elasticidad debe calcularse utilizando la tensión y la deformación al 10% y al 30% de  $R_m$ .

Deben ensayarse 30 fibras individuales y, en los cálculos de la media y la desviación típica deben incluirse todos los resultados obtenidos. La tolerancia admisible sobre el valor declarado del módulo de elasticidad es del 15% para valores individuales y del 10% para el valor medio.

#### **6.5 Punto de fusión**

El punto de fusión debe determinarse conforme a lo indicado en la norma ISO 11357-3 y debe declararse.

**Nota:** El punto de fusión es una característica importante si las fibras van a utilizarse para modificar el comportamiento del concreto frente al fuego.

#### **6.6 Efectos sobre la consistencia del concreto**

Debe determinarse el efecto de las fibras sobre la consistencia del concreto de referencia conforme a lo indicado en el Apéndice A.

La consistencia debe determinarse conforme a la prueba Vebe indicada en la Norma ISO 1920-2:2005 sobre un concreto de referencia sin fibras y después sobre una mezcla idéntica con fibras. Debe declararse el efecto sobre la consistencia conseguido.

En el caso de las fibras Clase II el efecto sobre la consistencia del concreto, debe ser la cantidad mínima de fibras necesarias para obtener la resistencia especificada en el apartado 6.7.

Si se necesita añadir un aditivo superplastificante, conforme a la Norma Mexicana NMX-C-255-ONNCCE-2013, para conseguir los requisitos de consistencia cuando se determine la cantidad de fibras a añadir requeridas, el fabricante debe declarar la cantidad y tipo.

El fabricante de la fibra puede declarar además la consistencia para el concreto de referencia con un intervalo de dosificación de las fibras.

### **6.7 Efectos sobre la resistencia del concreto**

Los efectos sobre la resistencia deben determinarse ensayando 12 vigas ranuradas de 550 mm x 150 mm X 150 mm, hechas de un concreto de referencia conforme al Apéndice A y con fibras incorporadas, a los 28 días de curado y con una carga al centro de un claro de 500 mm de acuerdo con el método de ensayo descrito en el Apéndice B.

Se debe probar una serie de mezclas de concreto de referencia con diferente dosis de fibras hasta alcanzar una resistencia residual a la tensión por flexión promedio de al menos 1,5 MPa a 0,5 mm CMOD (equivalente a 0.47 mm de LPD) y una resistencia residual a la tensión por flexión promedio de al menos 1 MPa a 3,5 mm CMOD (equivalente a 3,02 mm de LPD).

Cuando se calcule el desempeño promedio de 12 vigas, el efecto de cualquier resultado no representativo debe ser excluido. Los resultados no representativos pueden ser identificados por la prueba de Grubb de acuerdo a la ISO 5725-2:1994 para una probabilidad de 5 %.

**Nota:** Estadísticamente con una variación asumida del 25 %, el valor promedio de una serie de pruebas de 12 vigas no debe desviarse más de un 10 % del valor real promedio con un nivel de confianza del 90 %.

### **6.8 Mezcla**

El fabricante debe proporcionar las instrucciones de mezcla, que deben recomendar la secuencia de mezclado a seguir cuando se introduce la fibra en una planta central de mezclado de concreto y en un camión de mezcla en seco.

### **6.9 Emisión de sustancias peligrosas**

Los materiales utilizados en los productos no deben liberar ninguna sustancia peligrosa por encima de los valores máximos permitidos especificados en la normativa aplicable.

## **7 Etiquetado**

En el etiquetado o en la documentación comercial que acompaña el producto se debe incluir la siguiente información:

- a) Nombre o marca comercial del producto;
- b) Dirección del fabricante;
- c) Referencia a este proyecto de Norma Mexicana;
- d) Descripción del producto: nombre genérico, material, clasificación, dimensiones, forma y uso previsto;
- e) Tenacidad para fibras Clase I
- f) Resistencia a la tensión para fibras Clase II
- g) Módulo de elasticidad para fibras Clase II
- h) Punto de fusión
- i) Efecto sobre la consistencia del concreto
- j) Efecto sobre la resistencia del concreto para fibras Clase II

## **8 Vigencia**

El presente proyecto de norma mexicana entrará en vigor a los sesenta días naturales siguientes a su declaratoria de vigencia, publicada en el Diario Oficial de la Federación por parte de la Secretaría de Economía

## **9 Concordancia con Normas Internacionales**

Este proyecto de Norma Mexicana no es equivalente (NEQ) con ninguna Norma Internacional, por no existir esta al momento de su elaboración.

Documento de trabajo no vigente

## Apéndice A

(normativo)

### Concretos de Referencia

#### A.1 Alcance

Este Apéndice especifica la composición y las características de los concretos de referencia utilizados para evaluar el desempeño de las fibras en el concreto.

El propósito del concreto de referencia es determinar la aptitud general de la fibra para su uso en el concreto.

**Nota:** Los usuarios finales necesitan satisfacerse a sí mismos sobre la efectividad de la fibra en su propio concreto.

#### A.2 Principio

Este Apéndice prescribe los componentes y proporciones para concretos de referencia para evaluar el desempeño de fibras en el concreto bajo condiciones de laboratorio estandarizadas.

Los concretos de referencia deben diseñarse para alcanzar la resistencia a la tensión por flexión prescrita, como se define en la Tabla A.1.

El desempeño de la fibra debe determinarse con una mezcla obligatoria con agregado de dimensión máxima de 16 mm o 20 mm, utilizando el método descrito en el Apéndice B y uno de los métodos de consistencia especificados en A.5.5.

#### A.3 Equipos

##### A.3.1 Mezcladora de concreto

Para mezclar el concreto se debe utilizar una mezcladora de concreto de eje vertical de acción forzada.

##### A.3.2 Moldes

Moldes para producir especímenes de concreto endurecido; de material no absorbente, rígido y resistente al ataque de la pasta de cemento; con una dimensión de 150 mm x 150 mm x al menos 550 mm.

##### A.3.3 Mesa de vibrado de alta frecuencia

Apta para la compactación del concreto en los moldes especificados en el Apéndice B.

#### A.4 Materiales

##### A.4.1 Agregados

Los agregados deben ser naturales, preferentemente base sílice, con una baja absorción de agua (menos del 2 % por masa) y secados al horno, conformes con la NMX-C-111-ONNCCE-2014.

##### A.4.2 Agua de mezclado

Debe utilizarse agua conforme a la NMX-C-122-ONNCCE-2004.

##### A.4.3 Cemento

Debe utilizarse cemento CPO 40R conforme a la NMX-C-414-ONNCCE-2014

#### A.4.4 Aditivos

Para el control de la trabajabilidad de la mezcla puede utilizarse un aditivo superplastificante conforme a la NMX-C-255-ONNCCE-2013.

#### A.4.5 Fibras

Fibras a ser ensayadas.

### A.5 Composición y propiedades del concreto de referencia

#### A.5.1 General

Este Apéndice especifica cuatro tipos de concreto de referencia, definidos por la resistencia residual a la tensión por flexión, la dimensión máxima del agregado y el contenido máximo de cemento.

Los concretos de referencia se seleccionan de acuerdo al tipo de producto o sistema en el cual se aplicará la fibra. Sin embargo, todos los fabricantes de fibra deben declarar el desempeño de su producto, conforme a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para el efecto en la resistencia y uno de los métodos descritos en A.5.5. para la consistencia, en la mezcla obligatoria con un agregado máximo de 16 mm o 20 mm (con una resistencia a la tensión por flexión de 4,3 MPa ± 0,3 MPa), pero con la opción de evaluarlo con cualquiera de los otros 3 concretos de referencia de diferente contenido máximo de cemento y de dimensión máxima de agregado.

Las proporciones del concreto de referencia deben ajustarse dentro de los límites prescritos hasta alcanzar una resistencia a la tensión por flexión promedio dentro del rango establecido en la Tabla A.1. La resistencia residual a la tensión por flexión promedio debe ser tomado como el límite de proporcionalidad promedio de al menos 12 vigas probadas conforme al Apéndice B.

#### A.5.2 Relación agua/cementante

La relación agua/cementante deber ser conforme a lo definido en la Tabla A.1.

La relación agua/cementante es la relación en masa de la cantidad de agua, excluyendo la absorbida por los agregados: a la cantidad de cemento más las adiciones cementantes empleadas en la mezcla.

**Tabla A.1 – Proporción agua/cemento y contenido máximo de cemento**

Resistencia a la tensión por flexión (MPa)	Proporción agua/cemento		Contenido máximo de cemento (kg/m <sup>3</sup> )
	Dimensión máxima del agregado		
	8 mm o 10 mm	16 mm o 20 mm	
4,3 ± 0,3	0,55 <sup>b</sup>	0,55 <sup>a</sup>	350
5,8 ± 0,4	0,45 <sup>b</sup>	0,45 <sup>b</sup>	400
<sup>a</sup> Mezcla obligatoria.			
<sup>b</sup> Mezclas opcionales.			

#### A.5.3 Contenido máximo de cemento

El contenido máximo de cemento debe ser conforme a los establecido en la Tabla A.1

#### A.5.4 Contenido de fibras

Cuando el desempeño de una fibra se evalúa incorporándolo en un concreto de referencia, la cantidad de fibras añadidas deben permitir alcanzar el desempeño establecido en 6.7.

#### **A.5.5 Consistencia**

La consistencia del concreto de referencia sin fibras debe determinarse de alguna de las siguientes maneras:

- a) De acuerdo a la ISO 1920-2, alcanzando un tiempo Vebe de 10 s a 6 s.
- b) De acuerdo a la ISO 1920-2, alcanzando un grado de compactibilidad de 1,25 a 1,11.

Un aditivo superplastificante conforme a la Norma Mexicana NMX-C-255-ONNCCE-2013 es permitido para tener un concreto trabajable que cumpla los requerimientos de la Tabla A.1.

La consistencia debe ser adecuada para la colocación del concreto sin sangrado o segregación.

Cualquier requerimiento especial para el acabado de las superficies de especímenes para un método de ensayo en particular, debe especificarse en ese método de ensayo.

#### **A.5.6 Preparación de los especímenes**

La preparación de un concreto de referencia reproducible debe hacerse de la siguiente manera:

- a) Preparar un lote de concreto, cuyo volumen sea de un 50 % a un 90 % de la capacidad de la mezcladora;
- b) Verter todos los agregados secos en el recipiente de la mezcladora, añadir la mitad del agua de lote y mezclar durante 2 min;
- c) Iniciar el mezclado y añadir el cemento y la otra mitad del agua del lote, con los posibles aditivos, durante el minuto siguiente.

El tiempo total de mezclado no debe exceder los 5 minutos.

En los concreto de referencia a los cuales se les añaden fibras, se debe cuidar que las fibras se distribuyen uniformemente por toda la mezcla mediante la adición de estas en el momento adecuado conforme a las recomendaciones del fabricante.

Adicionalmente se debe cumplir lo establecido en B.4.2

#### **A.5.7 Curado y almacenado del concreto**

Los especímenes de concreto deben curarse dentro de los moldes por 24 horas a una temperatura de  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , ya sea cubierto por una lámina de polietileno o a una humedad relativa no menor al 95 %, posteriormente deben desmoldarse y curarse por otros 27 días sumergidos en agua a  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

Después del periodo de curado los especímenes deben ser ensayados.

#### **A.5.8 Reporte**

La siguiente información debe ser registrada por cada conjunto de especímenes de un concreto de referencia:

- a) Composición de la mezcla incluyendo los agregados secos y los aditivos en  $\text{kg/m}^3$ , así como los detalles del procedimiento de mezclado;
- b) Proporción agua/cemento;
- c) Tipo de fibra (incluyendo longitud, diámetro y resistencia a la tensión) de acuerdo a lo establecido en la Tabla 1;
- d) Fecha y hora de producción;
- e) Origen y distribución del tamaño de partícula de los agregados;
- f) Condiciones de curado y almacenado;

- g) Límite de proporcionalidad al 0,01 MPa más cercano (promedio y valores individuales);
- h) Referencia a este proyecto de Norma Mexicana;
- i) Cualquier desviación de este proyecto de Norma Mexicana.

Documento de trabajo no vigente

## Apéndice B

(normativo)

### Método de ensayo para determinar la curva carga desplazamiento utilizando en espécimen ranurado

#### B.1 Alcance

Este Apéndice especifica el método de ensayo para las curvas de carga-desplazamiento de materiales compuestos cementicios reforzados con fibras (FRCC, por sus siglas en inglés) por tres puntos de carga en prismas con ranura. El objetivo principal de este ensayo es evaluar la curva de tensión de ablandamiento de FRCC.

**Nota:** El CMOD y LPD especifican el desplazamiento de las curvas de carga - desplazamiento, pero la medición de ambas puede no ser necesaria. O bien se puede seleccionar dependiendo del propósito de la medición.

#### B.2 Definiciones

Para los propósitos de este proyecto de Norma Mexicana, los siguientes términos y definiciones son aplicables.

##### B.2.1

##### ligamento

Área arriba de la muesca sujeta a ruptura

##### B.2.2

##### muesca

Corte para el inicio de la fractura.

#### B.3 Símbolos

Ver Tabla B.1.

**Tabla B.1 – Símbolos**

Símbolo	Unidad	Descripción
$a_0$	Mm	Profundidad de la muesca
$b$	mm	Ancho del ligamento
$B$	mm	Ancho de sección transversal de la muestra
$D$	mm	Profundidad de sección transversal de la muestra
$d_a$	mm	Tamaño máximo de agregado
$h$	mm	Altura del ligamento
$L$	mm	Longitud total de la muestra
$n_0$	mm	Anchura de la muesca
$S$	mm	Distancia entre los apoyos

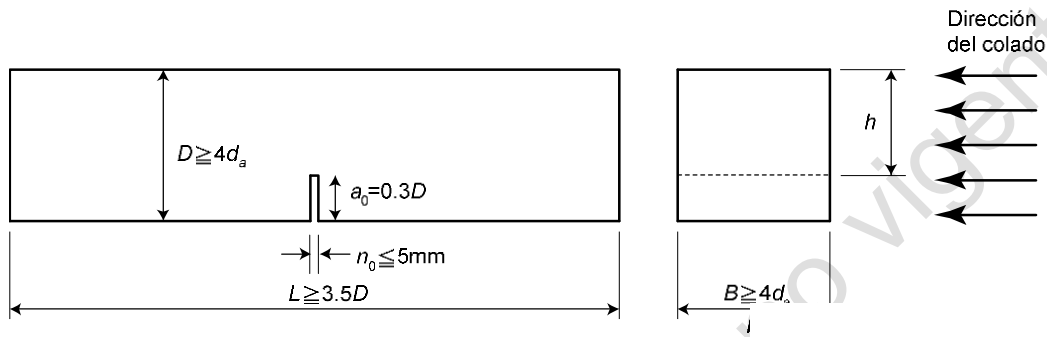
#### B.4 Especímenes de ensayo

##### B.4.1 Geometría

Los especímenes deben ser prismas de sección transversal cuadrada con una muesca en la mitad de la longitud a una profundidad de 0,3 veces del espesor de la muestra ( $D$ ) como se muestra en la Figura B.1.

- El tamaño del espécimen se fija de dos formas para la facilidad de funcionamiento de la siguiente manera: 150x150x550 mm para la longitud de fibra superior a 40 mm; y 100x100x400 mm para la longitud de fibra de 40 mm o menos.

- b) El espacio entre los apoyos (S) debe ser de  $3D$ . La longitud total del espécimen ( $L$ ) no debe ser inferior a  $3.5D$ .
- c) La profundidad de la muesca ( $a_0$ ) y la anchura de muesca ( $n_0$ ) debe ser  $0,3D$  y no más de  $5 \text{ mm}$ , respectivamente.
- d) El tamaño máximo de los agregados debe ser inferior a  $25 \text{ mm}$ .
- e) La dirección de referencia de la carga debe ser perpendicular a la dirección de la colada de la muestra cómo se describe en la Figura B.1.



**Figura B.1 – Dimensiones del espécimen**

#### B.4.2 Preparación de los especímenes

- a) Se deben utilizar moldes de acero, fierro fundido, o cualquier otro material no absorbente y no reactivo al cemento Portland u otros cementantes hidráulicos.

Las superficies interiores deben ser lisas y libres de imperfecciones. Los lados y el fondo deben formar ángulos rectos entre si y deben ser superficies planas. La máxima variación que se permite en cualquiera de las dimensiones de sección transversal nominal es de  $\pm 3 \text{ mm}$ , para moldes con una profundidad de  $50 \text{ mm}$  o más; y de  $\pm 1,5 \text{ mm}$  para moldes con profundidades menores.

Los moldes no deben ser más cortos de  $1,5 \text{ mm}$  de la longitud requerida, pero si pueden tener mayor longitud.

Los moldes deben mantener sus dimensiones y su forma bajo condiciones severas de trabajo. Deben ser no permeables durante su empleo y si es necesario se puede usar un material de sello para la parte externa con el fin de evitar fugas de agua por las juntas, tal como grasa, plastilina o parafina. Deben estar provistos de los elementos necesarios para fijarlos firmemente en sus bases. A los moldes de uso repetitivo se les debe aplicar un desmoldante que facilite sacar el espécimen del molde.

- b) El FRCC se debe colocar en una secuencia de colocación sin juntas, prestando atención a la orientación de las fibras. No se debe utilizar vibrador interno ni barra o rodillo de compactación.
- c) Se debe cortar la muesca con una sierra de concreto cuando el FRCC ha desarrollado una resistencia suficiente.

**Nota:** La muesca debe ser cortada en un lado del espécimen con respecto a su posición de moldeado de manera que el lado opuesta reciba la carga durante el ensayo, y la superficie de colado quede vertical. No es necesario cortar los bordes de la muesca de forma específica, ya que la forma del borde apenas afecta a los resultados de la prueba.

- d) Los especímenes deben someterse al ensayo inmediatamente después de completar el procedimiento de curado.
- e) El número especímenes no debe ser inferior a seis. Las tolerancias de los especímenes son de  $\pm 0,5\%$  para un lado de la sección, y  $\pm 5\%$  de la longitud de luz libre, respectivamente.
- f) La masa de cada muestra se debe medir a los  $0,05 \text{ kg}$  más próximos.

## B.5 Equipos de ensayo

### B.5.1 Máquina de ensayo

De preferencia se debe utilizar una máquina de ensayo equipada con un control de bucle cerrado basado en CMOD o LPD. El control de bucle cerrado es deseable pero no es obligatorio si se puede medir una relación carga-desplazamiento estable después de la carga máxima y sin un progreso rápido de la fractura.

**Nota:** El control de bucle cerrado puede no ser necesario para el concreto reforzado con fibras con un contenido entre 0,5 y 2,0 de fibras en volumen, ya que no causa caída brusca de las cargas post-pico. Sin embargo, una rápida propagación de la falla post-pico puede ocurrir de manera similar en el concreto simple en función de los materiales y tamaño de las fibras. En tal caso, es deseable utilizar una máquina de ensayo que proporciona un control de bucle cerrado en términos de CMOD o LPD. Sin embargo, es suficiente si existe una relación carga-desplazamiento estable que se puede mantener después de la carga pico. Las pruebas también son fehacientes si se utiliza una máquina de ensayo que controla el desplazamiento de la cruceta o una máquina de ensayo de control manual si se puede evitar un fallo inestable mediante la repetición apropiada de carga y descarga después de la carga máxima. En cualquier caso, la ausencia de fallo inestable debe ser confirmado. Por fallo inestable se entiende como el caso en el que la carga se cayó bruscamente en la región de ablandamiento.

### B.5.2 Aparato de carga

A fin de eliminar la acción de torsión sobre la muestra, el bloque de carga y uno de los soportes debe poder girar alrededor de sus ejes en la dirección coincidente con el eje de la muestra. Ambos soportes deben ser soportes articulados con rodillos. Los soportes deben ser desplazables horizontalmente para evitar cualquier restricción de la deformación hasta que el espécimen se rompa por completo.

**Nota 1:** Para otros aparatos utilizados, pero no específicos para este Apéndice, consulte la Norma ISO 1920-4.

**Nota 2:** Ambos apoyos deben ser móviles, ya que el movimiento horizontal del espécimen se restringe en el bloque de carga. La inserción de múltiples barras bajo ambos soportes, como se muestra en la Figura B.2 es una solución simple y eficaz para un mecanismo móvil. Con el fin de asegurar la ausencia de restricción horizontal, es aconsejable presionar la muestra ligeramente con la mano antes de aplicar cualquier carga para confirmar el movimiento suave de la muestra en la dirección horizontal.

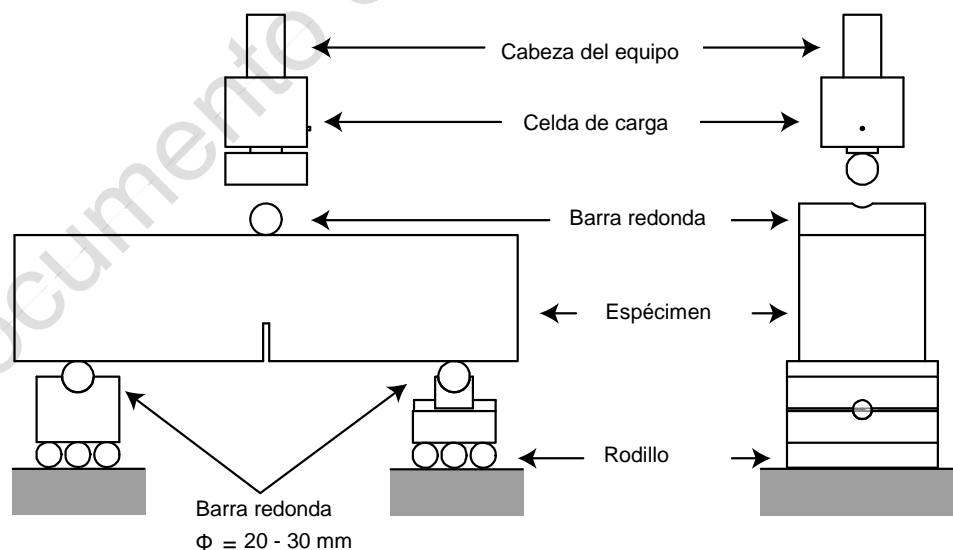


Figura B.2 – Aparato de carga

### B.5.3 Dispositivo de medición de cargas

La carga se mide utilizando una célula de carga con una precisión de 1 % de la carga máxima estimada o mejor. La celda de carga debe ser fijada a la máquina de ensayo.

### B.5.4 Dispositivo de medición del CMOD

El CMOD se mide utilizando un medidor de pinza con una precisión de 1/500 mm o mejor. El espesor de los bordes de cuchillas a la que el medidor de pinza está unido no debe ser mayor de 5 mm. Si se utilizan los bordes de cuchillas la medición de la posición de CMOD se indicará en el informe del ensayo. Además, si se lleva a cabo el análisis inverso, la posición de medición debe ser considerada.

**Nota:** No es necesario el uso de cuchillas cuando el medidor de pinza se puede conectar directamente a la muesca. Las cuchillas, las cuales deben ser de metal, deben adjuntarse como se muestra en la Figura B.3, utilizando un adhesivo para asegurar la unión con el espécimen. Cuando se va a realizar una prueba húmeda con cuchillas unidas al espécimen con un adhesivo, las superficies que reciben los bordes de cuchillas tienen que ser secadas en el momento de la adhesión. En este caso, es recomendable que las porciones distintas de las superficies que reciben los bordes de las cuchillas deban estar cubiertos con un paño húmedo o sumergidas en agua para evitar el secado.

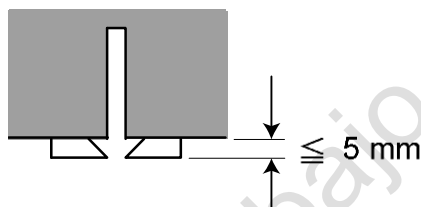
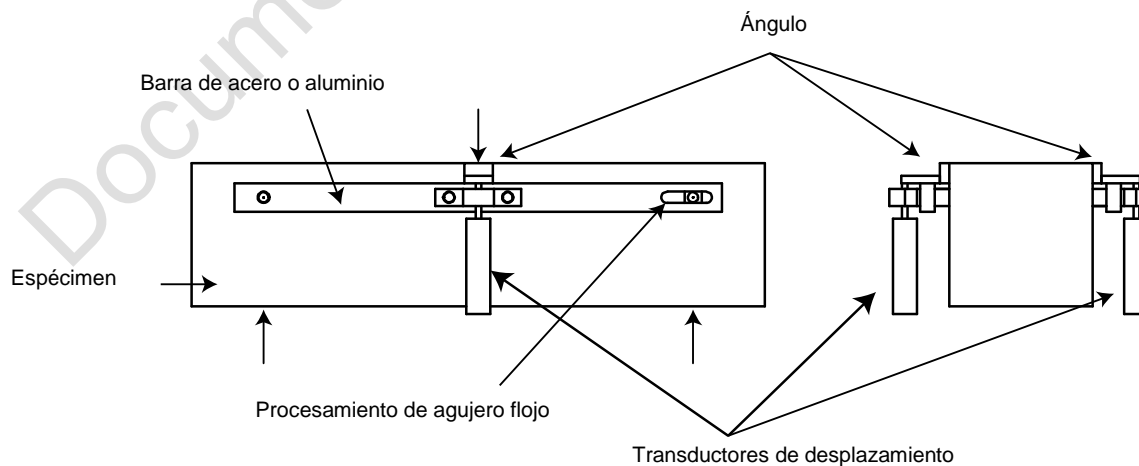


Figura B.3 – Cuchillas

### B.5.5 Dispositivo de medición del LPD

El LPD se mide utilizando transductores de desplazamiento con una precisión de 1/500 mm o mejor, como se muestra en la Figura B.4. Se deben utilizar marcos de soporte para sostener los transductores de desplazamiento de cuerpo rígido del espécimen y su deformación por aplastamiento en el punto de carga y puntos de apoyo. Los puntos de medición deben ser, por regla general, a ambos lados del espécimen directamente debajo del punto de carga. Sin embargo, si es difícil fijar los transductores de desplazamiento en dichos puntos, se permite la medición en los hombros de la muesca cerca de la parte inferior central.



## Figura B.4 – Sistema de medición del LPD

### B.6 Procedimiento de ensayo

- a) Colocar el espécimen sobre un costado respecto a su posición de moldeado, de manera que la muesca se encuentre en la parte inferior.
- b) Aplicar la carga al espécimen de forma continua y sin golpes. Cuando se cuenta con un el control de bucle cerrado en términos de CMOD o LPD, la carga preliminar para iniciar la carga no debe ser mayor del 20 % de la carga máxima estimada.
- c) El CMOD o LPD debe aumentar a una velocidad constante de 0,05 mm/min. Después de que el CMOD o LPD alcanzan 0,1 mm, pueden aumentar a una velocidad constante de 0,2 mm/min.

**Nota:** Aunque es deseable mantener constante desde el principio hasta el final de la prueba de la tasa de carga, se puede aumentar dentro de la gama que no afecte sustancialmente a la curva de carga-desplazamiento, para acortar el tiempo de la prueba, después de que las reducciones en la carga post figuración de han establecido. El método de dicho cambio en la velocidad de carga debe reportarse.

- d) Medir la carga y CMOD y/o LPD continuamente desde el principio hasta el final de la prueba. Los intervalos entre las lecturas de un dispositivo de medición digital deberán ser lo suficientemente cortos para permitir 20 o más lecturas antes de que se alcance la carga máxima. El ensayo debe continuarse hasta que el CMOD o LPD alcance, al menos  $0.02D$  o  $0.015D$ , respectivamente. De preferencia continuar con las pruebas hasta que el CMOD o LPD llegue a  $0.04D$  o más o  $0.03D$  o más, respectivamente, en la evaluación de las propiedades de fractura hasta un gran CMOD.

**Nota:** En el primer periodo de carga durante la cual hay una variación significativa de la carga, los valores de la carga correspondiente al CMOD o LPD se deben registrar a una velocidad no inferior a 5 Hz posteriormente la velocidad anterior puede reducirse a no menos de 1 Hz.

- e) Los ensayos se consideran estables cuando la carga y el CMOD o LPD cambian lentamente durante toda la prueba, sin saltos bruscos. En el caso de que la carga caiga abruptamente en la región de ablandamiento de la curva de carga-CMOD o de la curva de carga-LPD, el ensayo debe ser considerado como "inestable" y los datos del ensayo correspondiente deben ser desechados.
- f) Cuando se utilice una máquina de ensayos de control manual con carga intermitente después de la carga pico para evitar la fractura inestable o cuando se mueve el medidor de pinza o los transductores de desplazamiento debido a sus capacidades limitadas, se debe adoptar el sobre (curva tangente la familia de curvas), como la curva de carga- CMOD o curva de carga-LPD.
- g) Medir la anchura ( $b$ ) del ligamento roto a los 0,2 mm más cercanos en dos ubicaciones y calcular el promedio de cuatro cifras significativas
- h) Medir la altura ( $h$ ) del ligamento roto a 0,2 mm más cercano en dos ubicaciones y calcular el promedio de cuatro cifras significativas.
- i) Expresar la curva carga-CMOD o carga-LPD como las promedio de al menos cuatro muestras. Para promediar las curvas de carga-CMOD o curvas de carga-LPD, calcular los promedios de las cargas en las muestras a los mismos desplazamientos arbitrarios. Los intervalos entre los desplazamientos para promediar deberán ser similares a los intervalos entre las medidas especificadas en el apartado d) anterior.

### B.7 Cálculos

#### B.7.1 Curva de ablandamiento por tensión

La curva de ablandamiento por tensión puede estimarse siguiendo el Apéndice C.

#### B.7.2 Equivalencia entre el CMOD y el LPD

La relación entre el CMOD y LPD se calcula con la siguiente formula:

$$LPD = 0,85 CMOD + 0,04 \quad (3)$$

Donde:

$LPD$  es el desplazamiento lineal medido mediante un transductor instalado en un prisma sometido a una carga  $F$  en el punto central, en milímetros.

$CMOD$  es el valor del CMOD, en mm, medido en el caso de una distancia entre la parte inferior del espécimen y la línea de medición  $y = 0$

En caso de que la línea de medición se situó a una distancia  $y$  por debajo de la parte inferior del espécimen, el valor del CMOD debe deducirse a partir del valor medido  $CMOD_y$  con la siguiente fórmula:

$$CMOD = CMOD_y \cdot \frac{h}{h+y} \quad (4)$$

Donde:

$h$  es la altura total del espécimen

### B.7.3 Límite de proporcionalidad

El límite de proporcionalidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L L}{2bh_{sp}^2} \quad (5)$$

Donde:

$f_{ct,L}^f$  es el límite de proporcionalidad, en newtons por milímetro cuadrado

$F_L$  es la carga correspondiente al límite de proporcionalidad, en newtons

$L$  es la longitud del claro entre apoyos, en milímetros

$b$  es la anchura del espécimen, en milímetros

$h_{sp}$  es la distancia entre el fondo de la muesca y la parte superior del espécimen, en milímetros

El valor de la carga  $F_L$  debe determinarse trazando una línea paralela al eje de la carga de la curva carga-CMOD o carga-LPD, a una distancia de 0,5 mm, y considerando  $F_L$  como el mayor valor de carga registrado en el intervalo.

El límite de proporcionalidad debe expresarse con una precisión de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

### B.7.4 Resistencia residual a la tensión por flexión

La resistencia residual a la tensión por flexión  $f_{R,j}$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad (6)$$

Donde:

$f_{R,j}$  es la resistencia residual a la tensión por flexión, correspondiendo a  $CMOD = CMOD_j$  o  $LPD = LPD_j$  ( $j = 1,2,3,4$ ), en newtons por milímetro cuadrado.

$F_j$  es la carga correspondiente a  $CMOD = CMOD_j$  o  $LPD = LPD_j$  ( $j = 1,2,3,4$ ), en newtons

$l$  es la longitud del claro entre apoyos, en milímetros

$b$  es la anchura de la probeta, en milímetros

$h_{sp}$  es la distancia entre el fondo de la muesca y la parte superior de la probeta, en milímetros

La resistencia residual a la tensión por flexión debe expresarse con una precisión de 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

## B.8 Informe de ensayo

El informe del ensayo deberá incluir elementos de la lista siguiente según sea necesario:

- a) Número de especímenes
- b) Condiciones de curado y edad de ensayo
- c) La geometría de los especímenes
- d) La altura y el ancho del ligamento roto
- e) Masa de los especímenes.
- f) Tipo de máquina de ensayo.
- g) Masa del dispositivo de aplicación de carga
- h) Velocidad de carga
- i) La curva de carga-CMOD (si aplica)
- j) La medición de la posición de CMOD (si aplica)
- k) La curva de carga-LPD (si aplica)
- l) Límite de proporcionalidad (LOP), en N/mm<sup>2</sup>
- m) Valores de resistencia residual a la tensión por flexión post figuración correspondiente a  $CMOD = CMOD_j$  o  $LPD = LPD_j$  ( $j = 1,2,3,4$ ), en N/mm<sup>2</sup>
- n) Curva de ablandamiento por tensión
- o) Identificación de los especímenes de ensayo
- p) Identificación de la composición del concreto (incluyendo el tipo y la cantidad de fibras)
- q) Fecha de fabricación
- r) Historia de curado y condiciones de humedad
- s) Fecha de ranuras
- t) Fecha de ensayo
- u) Referencia a este proyecto de Norma Mexicana

## Apéndice C

(informativo)

### Método de estimación de tensión de la curva de ablandamiento

**Note:** Este apéndice (información) está destinado a complementar asuntos relacionados con las disposiciones del cuerpo del proyecto de norma, pero no forma parte de las disposiciones.

#### C.1 Alcance

Este apéndice informativo especifica un método para estimar la tensión de la curva de ablandamiento por aproximación poli-lineal utilizando los datos de las curvas de carga-desplazamiento obtenidos de las pruebas de fallo estable en probetas ranuradas. La curva de tensión de reblandecimiento determinado por este método, es una curva que expresa la relación entre el desplazamiento apertura de la boca de grietas (CMOD) y la tensión cohesiva, que se emplea para el análisis del comportamiento de la falla del concreto por modelo de fisura.

#### C.2 Curva carga-desplazamiento

La curva de carga-desplazamiento utilizado para el análisis será una curva de carga-CMOD determinado de acuerdo con este proyecto de Norma Mexicana.

#### C.3 Estimación de la curva de ablandamiento por tensión.

La curva de ablandamiento por tensión será estimada por aproximación poli-lineal. La Figura C.1 muestra el flujo de análisis de aproximación poli-lineal. Debido a la aproximación poli-lineal incluye un programa de cálculo numérico se deberá utilizar un programa con fiabilidad para el análisis.

**Nota:** Un ejemplo de programa de reverse analysis puede descargarse de la siguiente URL.  
[http://www.jci-net.or.jp/jci/study/jci\\_standard/estimation\\_frcc.html](http://www.jci-net.or.jp/jci/study/jci_standard/estimation_frcc.html)

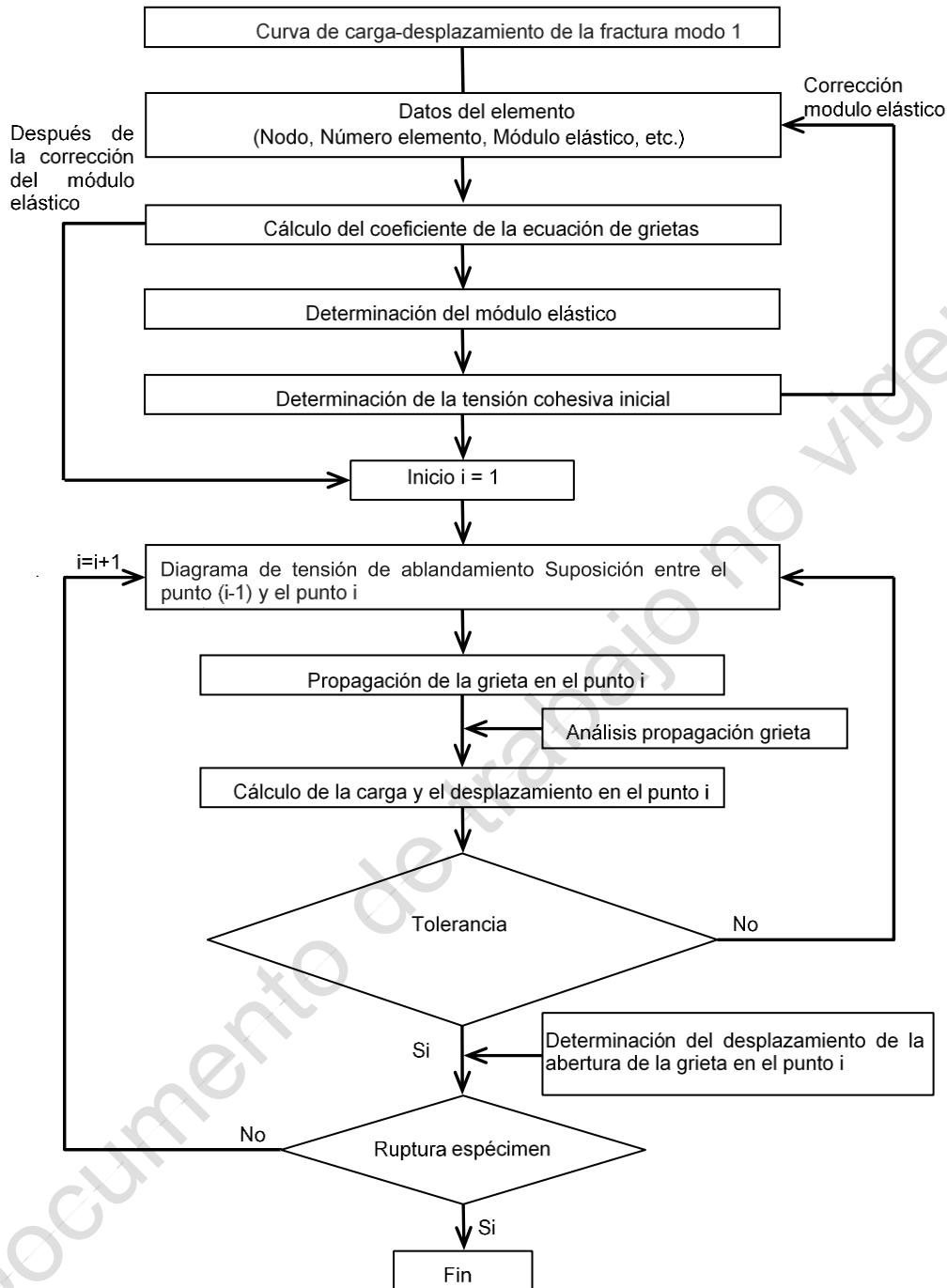


Figura C.1 – Ejemplo de diagrama de flujo del método de análisis inverso poli-lineal

#### C.4 Estimación del módulo elástico

El módulo elástico del concreto reforzado con fibras que se utilizará para la aproximación poli-lineal se determina a partir de la rigidez a 1/3 de la carga máxima en la curva de carga – desplazamiento obtenido a partir de los resultados de las pruebas, así como la rigidez calculada sobre la suposición de un cuerpo elástico lineal.

### **C.5 Tensión cohesiva inicial**

La tensión cohesiva inicial que se utilizará para la aproximación poli-lineal se determina a partir de la pendiente inicial de la curva de carga-desplazamiento obtenida a partir de los resultados de las pruebas. Llevar a cabo los análisis de crecimiento de la grieta al asumir ciertas tensiones de cohesión para el crecimiento temprano de grietas y determinar el esfuerzo de cohesión con la que las relaciones carga-desplazamiento analizados y medidas estén acorde. Esta tensión cohesiva se tomará como la tensión cohesiva inicial.

### **C.6 Cálculo de la curva carga-desplazamiento**

La curva carga-desplazamiento debe calcularse utilizando la curva de ablandamiento por tensión estimada por aproximación poli-lineal.

### **C.7 Informe de ensayo**

El informe de ensayo debe incluir lo siguiente:

- a) Detalles del procedimiento de ensayo de curva de carga-desplazamiento
- b) Curva de carga-desplazamiento utilizado para el análisis
- c) Información del programa de análisis
- d) Detalles de las condiciones de análisis
  - a) Masa de los especímenes
  - b) Descripción dimensional de los especímenes
  - c) Condiciones de soporte de los especímenes
  - d) Tolerancias para las curvas de carga-desplazamiento analizadas y medidas por aproximación poli-lineal
  - e) Otros
- e) Módulo elástico
- f) Curva de ablandamiento por tensión
- g) Comparativa entre los cálculos y los resultados de las curvas carga-desplazamiento

## Bibliografía

NMX-C-111-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo

NMX-C-122-ONNCCE-2004, Industria de la Construcción - Agua para Concreto – Especificaciones

NMX-C-255-ONNCCE-2013, Industria de la Construcción - Aditivos Químicos Para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo.

NMX-C-414-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo.

ISO 1920-2:2005, Testing of concrete – Part 2: Properties of fresh concrete

ISO 1973:1995, Textile fibres – Determination of linear density – Gravimetric method and vibroscope method

ISO 2060:1994, Textiles -- Yarn from packages -- Determination of linear density (mass per unit length) by the skein method

ISO 2062:2009, Textiles – Yarns from packages – Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester

ISO 5725-2:1994, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results -- Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method

ISO 6892-1:2016, Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature

ISO 11357-3:2011, Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization

ISO 13270:2013, Steel fibres for concrete – Definitions and specifications

ISO/DIS 19044, Test methods for fibre-reinforced cementitious composites — Load-displacement curve using notched specimen

UNE-EN 933-2:1996, Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.

UNE-EN 12350-3:2009, Ensayos de hormigón fresco. Parte 3: Ensayo Vebe.

UNE-EN 12350-4:2009, Ensayos de hormigón fresco. Parte 4: Grado de compactibilidad.

UNE-EN 14651:2007, Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual).

UNE-EN 14845-1:2008, Métodos de ensayo para fibras para hormigón. Parte 1: Hormigones de referencia.

UNE-EN 14845-2:2007, Métodos de ensayo para fibras para hormigón. Parte 2: Efecto en la resistencia del hormigón.

UNE-EN 14889-1:2008, Fibras para hormigón. Parte 1: Fibras de acero. Definiciones, especificaciones y conformidad.

UNE-EN 14889-2:2008, Fibras para hormigón. Parte 2: Fibras poliméricas. Definiciones, especificaciones y conformidad