

LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS

TÍTULO: 03. Acero y Productos de Acero

CAPÍTULO: 001. Acero de Refuerzo para Concreto Hidráulico

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad del acero de refuerzo proveniente de lingote o palanquilla, que se utilice en estructuras de concreto hidráulico.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Acero de refuerzo para concreto hidráulico es el conjunto de varillas de acero que se utilizan para tomar los esfuerzos internos de tensión que se generan por la aplicación de cargas, contracción por fraguado y cambios de temperatura, en una estructura de concreto hidráulico; pueden ser varillas lisas o corrugadas. El acero se clasifica como se indica en la Tabla 1 de esta Norma, según el esfuerzo de fluencia que puede resistir.

TABLA 1.- Clasificación del acero según su esfuerzo de fluencia

Esfuerzo de fluencia MPa (kg/cm²)	Grado
294 (3 000)	30
412 (4 200)	42
510 (5 200)	52
412 (4 200)	42 baja aleación

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

MANUALES	DESIGNACIÓN
Muestreo de Materiales y Productos de Acero	M-MMP-2-03-001
Resistencia a la Tensión de Productos Metálicos.....	M-MMP-2-03-002
Resistencia al Doblado de Productos Metálicos.....	M-MMP-2-03-003
Inspección Metalúrgica Macroscópica de Productos de Acero.....	M-MMP-2-03-004
Carbono Total en Productos de Acero Mediante el Método Gasométrico por Combustión Directa	M-MMP-2-03-006
Manganeso en Productos de Acero Mediante el Método de Bismuto	M-MMP-2-03-007
Manganeso en Productos de Acero Mediante el Método Colorimétrico	M-MMP-2-03-008
Silicio en Productos de Acero Mediante el Método del Ácido Sulfúrico	M-MMP-2-03-009
Silicio en Productos de Acero Mediante el Método Colorimétrico	M-MMP-2-03-010
Fósforo en Productos de Acero Mediante el Método Alcalimétrico	M-MMP-2-03-011
Fósforo en Productos de Acero Mediante el Método Colorimétrico	M-MMP-2-03-012
Azufre en Productos de Acero Mediante el Método de Evolución	M-MMP-2-03-013

D. REQUISITOS DE CALIDAD

El acero de refuerzo para concreto hidráulico cumplirá con los requisitos de calidad que se indican a continuación.

D.1. REQUISITOS QUÍMICOS

La composición química del acero empleado en la fabricación de varillas proveniente de lingotes o palanquillas, determinada de acuerdo con los procedimientos contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, según corresponda, cumplirá con los contenidos máximos de elementos químicos indicados en la Tabla 2 de esta Norma.

TABLA 2.- Composición química del acero de refuerzo

Unidades en % en masa, máximo

Elemento	Acero			
	Grados 30, 42 y 52		Grado 42 baja aleación	
	Análisis de cada colada	Análisis del producto	Análisis de cada colada	Análisis del producto
Fósforo	0,50	0,62	0,035	0,043
Carbono	---	---	0,30	0,33
Manganeso	---	---	1,50	1,56
Azufre	---	---	0,045	0,053
Silicio	---	---	0,50	0,55

D.1.1. La selección de los elementos de aleación para obtener las propiedades mecánicas indicadas en los Incisos D.2.4. y D.2.5. de esta Norma, quedará a criterio del fabricante. Los elementos más comunes para ese propósito son cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, niobio, titanio y zirconio, entre otros.

D.1.2. El análisis de colada será tal que el carbono equivalente no sea mayor de cero coma cincuenta y cinco (0,55) por ciento, calculado conforme a la siguiente expresión:

$$C.E. = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

Donde:

C.E. = Carbono equivalente

%C = Porcentaje de carbono

%Mn = Porcentaje de manganeso

%Cu = Porcentaje de cobre

%Ni = Porcentaje de níquel

%Cr = Porcentaje de cromo

%Mo = Porcentaje de molibdeno

%V = Porcentaje de vanadio

D.1.3. Cuando se especifique en la orden de compra, el fabricante proporcionará por cada colada el contenido de carbono, manganeso, fósforo, azufre y carbono equivalente.

D.2. REQUISITOS FÍSICOS

D.2.1. Acabados

D.2.1.1. Las varillas de acero tendrán buena apariencia, sin defectos exteriores perjudiciales tales como grietas, traslapes, quemaduras y oxidación excesiva.

D.2.1.2. No será causa de rechazo, la presencia en la superficie de escamas, irregularidades u óxido, siempre y cuando desaparezcan mediante la limpieza manual con un cepillo de alambre o chorro de arena y la probeta así limpiada, cumpla con los requisitos dimensionales y mecánicos especificados en esta Norma.

D.2.2. Dimensiones

La masa de las varillas de acero y el área de su sección transversal, consideradas individualmente, no serán menores del noventa y cuatro (94) por ciento de los valores nominales señalados en la Tabla 3 de esta Norma. A menos que se especifique lo contrario, no será motivo de rechazo cualquier exceso en la masa o en el área de las varillas, con respecto a los valores nominales indicados en la Tabla mencionada.

TABLA 3.- Número de designación, masa y dimensiones nominales de las varillas

Número de designación	Masa ^[1] nominal por metro kg/m	Dimensiones nominales ^[2]		
		Diámetro mm	Área de la sección transversal mm ²	Perímetro mm
2,5	0,384	7,9	49	24,8
3	0,556	9,5	71	29,8
4	0,993	12,7	127	39,9
5	1,557	15,9	199	50,0
6	2,223	19,1	287	60,0
7	3,035	22,2	387	69,7
8	3,973	25,4	507	79,8
9	5,037	28,6	642	89,8
10	6,227	31,8	794	99,9
11	7,500	34,9	957	109,6
12	8,938	38,1	1 140	119,7

[1] La masa nominal por metro será calculada con el diámetro nominal en centímetros y la densidad del acero $\gamma = 7,84 \text{ g/cm}^3$, empleando la siguiente expresión:

$$\text{Masa Nominal} = \gamma \pi D^2 / 40$$

[2] El perímetro y el área fueron calculados con las ecuaciones tradicionales

D.2.3. Corrugaciones

D.2.3.1. Las corrugaciones estarán distribuidas uniformemente a lo largo de la varilla y el espaciamiento o distancia promedio entre corrugaciones a cada lado de la varilla, no excederá de cero coma siete (0,7) veces su diámetro nominal, como se indica en la Tabla 4 y se ilustra en la Figura 1 de esta Norma. Las corrugaciones serán similares en tamaño y forma.

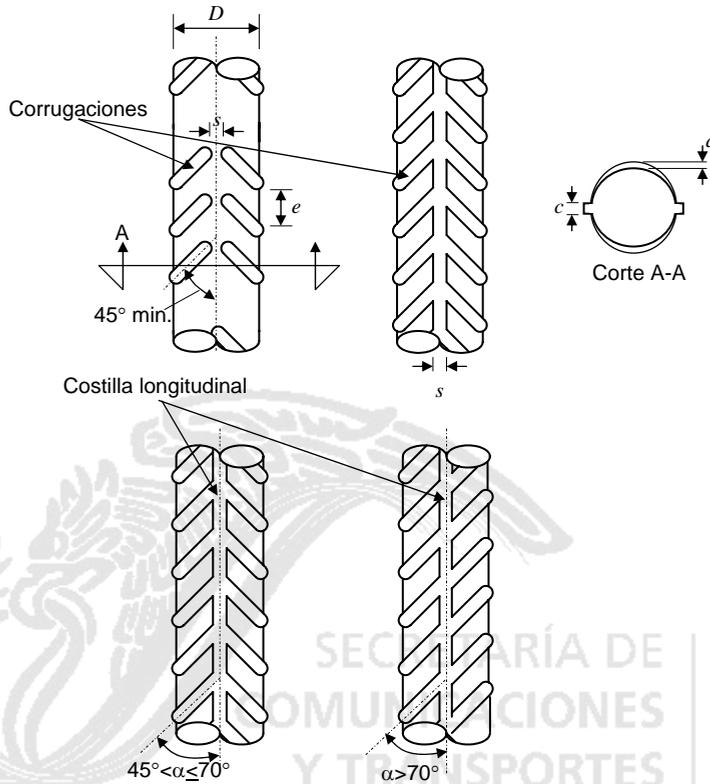
TABLA 4.- Requisitos de corrugación de varillas de acero

Unidades en mm

Número de designación ^[1]	Espaciamiento máximo promedio (e)	Altura mínima promedio (a)	Separación máxima entre extremos de corrugaciones transversales (cuerda) (s)
2,5	5,6	0,3	3,1
3	6,7	0,4	3,7
4	8,9	0,5	5,0
5	11,1	0,7	6,3
6	13,3	1,0	7,5
7	15,5	1,1	8,7
8	17,8	1,3	10,0
9	20,0	1,4	11,2
10	22,3	1,6	12,5
11	24,4	1,7	13,7
12	26,7	1,9	15,0

[1] El número de designación es el número de octavos de pulgada del diámetro nominal de la varilla

D.2.3.2. La posición de las corrugaciones con respecto al eje longitudinal de la varilla formará un ángulo de cuarenta y cinco (45) grados como mínimo. Cuando el eje longitudinal de cada corrugación forme un ángulo con el de la varilla, entre cuarenta y cinco (45) y setenta (70) grados, las corrugaciones de un lado estarán en dirección contraria a la dirección que tienen en el lado opuesto. Cuando el eje de cada corrugación forme un ángulo mayor de setenta (70) grados, no se requiere este cambio de dirección, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma.



Donde:

- P = Perímetro nominal
- D = Diámetro nominal
- c = Ancho de costilla
- a = Altura
- s = Separación entre extremos de corrugaciones = $0.125 P$
- e = espaciamento = $0,7 D$
- α = Ángulo entre el eje longitudinal de la corrugación, con respecto al eje longitudinal de la varilla

FIGURA 1.- Espaciamento, posición, altura y separación de las corrugaciones

D.2.3.3. Cuando existan dos o más costillas longitudinales, el ancho total de todas ellas no excederá de veinticinco (25) por ciento del perímetro nominal de la varilla.

D.2.3.4. La altura de las corrugaciones será la indicada en la Tabla 4 de esta Norma.

D.2.4. Resistencia a la tensión

D.2.4.1. La resistencia a la tensión de las varillas de acero, determinada según se indica en el Manual M-MMP-2-03-002, *Resistencia a la Tensión de Productos Metálicos*, cumplirá con los valores indicados en la Tabla 5 de esta Norma, según el tipo de acero utilizado en su fabricación.

TABLA 5.- Resistencia a la tensión de las varillas de acero

Unidades en MPa (kg/cm²)

Características	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 42 baja aleación
Límite de fluencia mínimo	294 (3 000)	412 (4 200)	510 (5200)	412 (4 200)
Límite de fluencia máximo	---	---	---	540 (5 500)
Resistencia a la tensión, mínima	490 (5 000)	618 (6 300)	706 (7 200)	550 (5 600)

D.2.4.2. Si la resistencia a la tensión o el límite de fluencia de cualquier espécimen probado resultan menores que los valores indicados en la Tabla 5 de esta Norma y la fractura ocurre fuera del tercio medio de la longitud calibrada, indicada por las marcas grabadas sobre el espécimen antes de la prueba, esos resultados no serán representativos y se repetirá la prueba.

D.2.5. Alargamiento

El alargamiento de las varillas de acero, determinado según se indica en el Manual M-MMP-2-03-002, *Resistencia a la Tensión de Productos Metálicos*, cumplirá con los valores mínimos indicados en la Tabla 6 de esta Norma.

TABLA 6.- Alargamiento de las varillas

Número de designación de las varillas ^[1]	Alargamiento mínimo en 200 mm, %			
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 42 baja aleación
2,5	-	9	-	-
3	11	9	-	14
4	12	9	-	14
5	12	9	-	14
6	12	9	-	14
7	-	8	-	12
8	-	8	-	12
9	-	7	-	12
10	-	7	-	12
11	-	7	5	12
12	-	7	5	12

[1] El número de designación es el número de octavos de pulgada del diámetro nominal de la varilla

D.2.6. Doblado

Las varillas de acero cumplirán con la prueba de doblado a que se refiere el Manual M-MMP-2-03-003, *Resistencia al Doblado de Productos Metálicos*. Las probetas de varillas con números de designación de dos coma cinco (2,5) a doce (12) se doblarán alrededor de un mandril, sin agrietarse en la parte exterior de la zona doblada, de acuerdo con los requisitos de doblado indicados en la Tabla 7 de esta Norma.

TABLA 7.- Requisitos de doblado

Número de designación de las varillas	A 180 grados		A 90 grados
	Grado 30	Grado 42	Grado 52
2,5	D = 4d	D = 4d	D = 5d
3	D = 4d	D = 4d	D = 5d
4	D = 4d	D = 4d	D = 5d
5	D = 4d	D = 4d	D = 5d
6	D = 5d	D = 5d	D = 6d
7	D = 5d	D = 6d	D = 7d
8	D = 5d	D = 6d	D = 7d
9	D = 5d	D = 8d	D = 8d
10	D = 5d	D = 8d	D = 8d
11	D = 5d	D = 8d	D = 8d
12	D = 5d	D = 8d	D = 8d

D = Diámetro del mandril ; d = Diámetro nominal de la varilla

D.2.7. Inspección metalúrgica macroscópica

Las varillas de acero se someterán a una inspección metalúrgica macroscópica, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-2-03-004, *Inspección Metalúrgica Macroscópica de Productos de Acero*, para verificar la presencia de defectos tales como grietas de laminación radiales o tangenciales, traslapes o lajas y defectos superficiales con reducción de área, tubo de laminación o rechupe, grietas de enfriamiento, inclusión de materia contaminante y porosidad, cuyos resultados cumplirán con lo siguiente:

D.2.7.1. Grietas de laminación radiales o tangenciales

Ninguna de las grietas tendrá una longitud mayor de cinco (5) por ciento del diámetro nominal de la varilla y la longitud total de las grietas no será mayor del diez (10) por ciento del diámetro nominal de la misma, como se muestra en la Figura 2 de esta Norma.

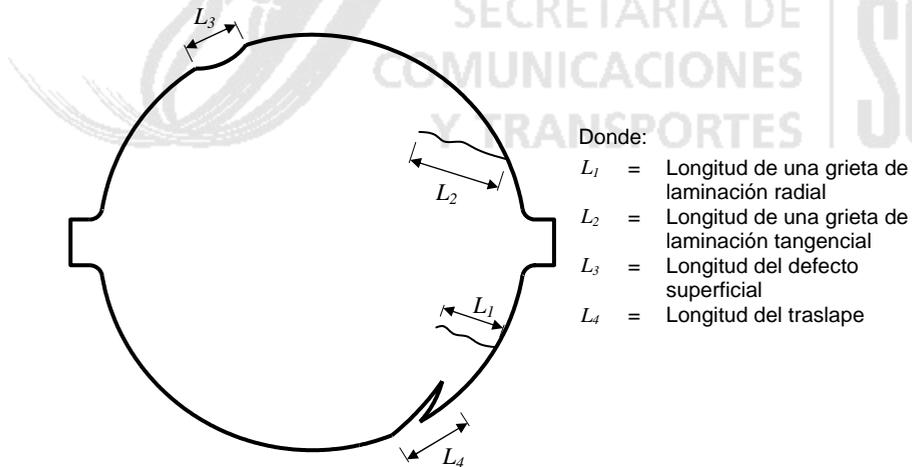


FIGURA 2.- Grietas de laminación radiales y tangenciales, defectos superficiales y traslapes

D.2.7.2. Traslapes o lajas y defectos superficiales con reducción de área

Ninguno de los traslapes, lajas o defectos superficiales, tendrá una longitud mayor del cinco (5) por ciento del diámetro nominal de la varilla; la suma total de estos defectos no será mayor del diez (10) por ciento del diámetro de la misma. El perímetro total dañado no será mayor de treinta (30) por ciento del diámetro antes mencionado, como se muestra en la Figura 2 de esta Norma.

D.2.7.3. Tubo de laminación o rechupe

La dimensión máxima del tubo de laminación o rechupe no será mayor del diez (10) por ciento del diámetro nominal de la varilla y el área máxima del defecto no será mayor del uno (1) por ciento de su área nominal, como se muestra en la Figura 3 de esta Norma.

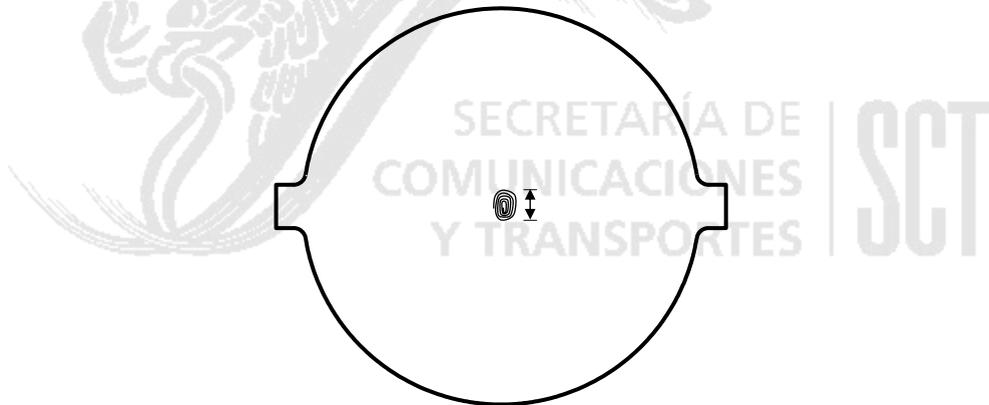


FIGURA 3.- Tubo de laminación o rechupe

D.2.7.4. Grietas de enfriamiento

Ninguna de las grietas de enfriamiento distribuidas en el interior de la sección transversal, tendrá una longitud mayor del cuatro (4) por ciento del diámetro nominal de la varilla y la suma de las longitudes de dichas grietas no será mayor del ocho (8) por ciento del mismo diámetro, como se muestra en la Figura 4 de esta Norma.

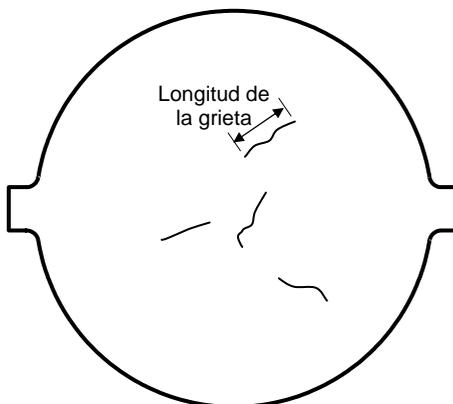
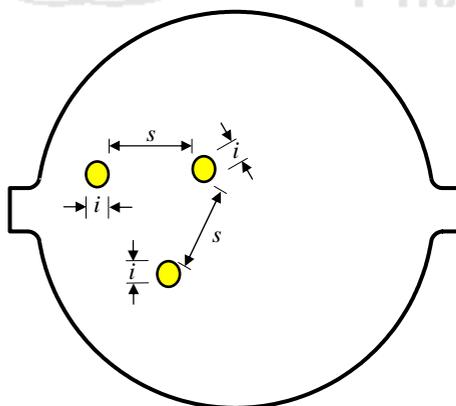


FIGURA 4.- Grietas de enfriamiento

D.2.7.5. Inclusión de materia contaminante

La dimensión máxima de cada inclusión no será mayor del tres (3) por ciento del diámetro nominal de la varilla, la suma de dichas dimensiones no excederá del diez (10) por ciento de dicho diámetro y la suma de las áreas de las inclusiones no será mayor del uno (1) por ciento del área nominal de la varilla. La separación entre inclusiones no será menor de treinta (30) por ciento del diámetro nominal de la varilla, como se muestra en la Figura 5 de esta Norma.



Donde:
 i = Dimensión máxima de la zona de inclusión
 s = Separación entre las zonas de inclusión

FIGURA 5.- Inclusión de materia contaminante

D.2.7.6. Porosidad

La dimensión máxima de cada zona porosa no será mayor del cinco (5) por ciento del diámetro nominal de la varilla, la suma de dichas dimensiones no excederá del veinte (20) por ciento del diámetro nominal antes citado y la suma de las áreas de las zonas porosas no será mayor del uno (1) por ciento del área nominal de la varilla. La separación máxima entre zonas porosas no será menor del treinta (30) por ciento del diámetro nominal de la varilla, como se muestra en la Figura 6 de esta Norma.

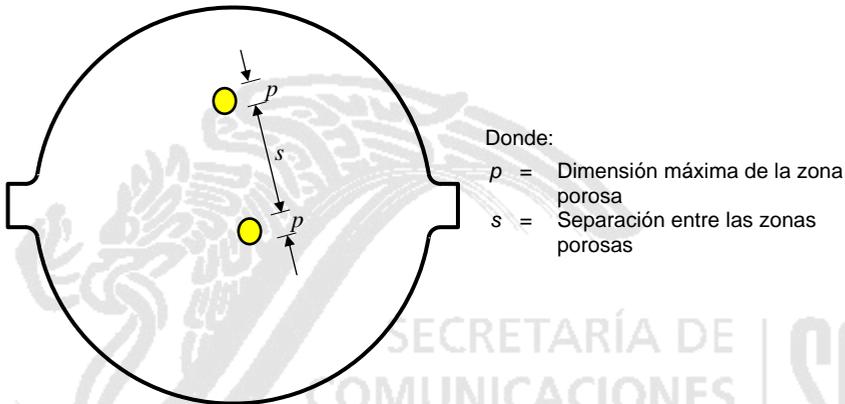


FIGURA 6.- Zonas porosas

E. MARCADO E IDENTIFICACIÓN**E.1. MARCADO**

E.1.1. El marcado de las varillas corrugadas será realizado por el fabricante en lugar visible, con un espaciamiento máximo entre marca y marca de dos (2) metros, conforme a lo indicado en el Inciso siguiente.

E.1.2. Las varillas corrugadas suministradas conforme a esta Norma serán marcadas en un solo lado con los siguientes elementos realizados y en el orden en que se indica:

E.1.2.1. Identificación del fabricante con letra(s) y símbolo(s).

E.1.2.2. Número correspondiente a la designación de la varilla según la Tabla 3 de esta Norma.

E.1.2.3. Identificación del grado de la varilla. Puede utilizarse cualquiera de las dos opciones siguientes:

- Con números arábigos, 30, 42 ó 52, según el grado de la varilla.
- Para el grado 42 puede utilizarse una línea continua longitudinal a lo largo de cinco (5) espacios y para el grado 52 dos líneas continuas longitudinales a lo largo de cinco (5) espacios.

E.1.2.4. La letra W cuando se trate de varilla de baja aleación.

E.1.2.5. País de origen, cuando se trate de varillas importadas. Esta identificación puede marcarse en cualquiera de los dos lados de la varilla.

E.2. IDENTIFICACIÓN DOCUMENTAL

Cuando el fabricante identifique el pedido de las varillas en cualquier documento, ya sea orden de embarque, remisión, factura, certificado de calidad, entre otros, indicará como mínimo los datos siguientes:

E.2.1. Cantidad en kilogramos (kg) o en toneladas (t)

E.2.2. Grado de la varilla

E.2.3. Dimensiones:

- Diámetro nominal en milímetros (mm) o número de designación de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3
- Longitud de la varilla en metros (m) recta o doblada

E.2.4. Presentación: rollo, recta o doblada

F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Con el propósito de evitar el deterioro de las varillas de acero antes de su utilización en la obra, se tendrá cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo los siguientes aspectos:

CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-2-03-001/04

- F.1.** Las varillas de acero serán almacenadas y transportadas de tal manera que no estén en contacto directo con superficies húmedas.
- F.2.** Las varillas de acero permanecerán libres de polvo, óxido, pintura, aceite u otros materiales contaminantes.
- F.3.** El acero para refuerzo se almacenará de acuerdo con su diámetro.

G. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

La aceptación del acero de refuerzo por parte de la Secretaría, se hará considerando lo siguiente:

- G.1.** Para que las varillas de acero de refuerzo para concreto hidráulico sean aceptadas por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra o el proveedor cuando se trate de obra por administración directa, entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma o los especificados en forma especial en el proyecto, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría.
- G.2.** Con objeto de controlar la calidad de las varillas de acero, durante la ejecución de la obra, el Contratista de Obra realizará las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M-MMP-2-03-001, *Muestreo de Materiales y Productos de Acero* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma, en el número y con la periodicidad que se establezca en el proyecto autorizado por la Secretaría, que verifiquen que los requisitos químicos y físicos cumplan con los valores establecidos en esta Norma o los especificados especialmente en el proyecto, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.
- G.3.** Si por fallas en el equipo de prueba o preparación incorrecta de los especímenes de prueba, cualquier espécimen probado no cumple con los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, se repetirán las pruebas en dos (2) especímenes adicionales tomados al azar del mismo lote, por cada espécimen original que haya salido mal. Si los resultados de los especímenes adicionales probados cumplen con los requisitos establecidos, el lote será aceptado.

- G.4.** En cualquier momento la Secretaría puede verificar que las varillas de acero de refuerzo suministradas, cumplan con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma o los especificados especialmente en el proyecto, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

H. BIBLIOGRAFÍA

Comité Técnico de Normalización Nacional de la Industria Siderúrgica, Norma Mexicana NMX-B-001-1988, *Métodos de Análisis Químico para Determinar la Composición de Aceros y Fundiciones*, México (1988).

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C., Norma Mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2001, *Industria de la Construcción - Varilla Corrugada de Acero Proveniente de Lingote y Palanquilla para Refuerzo de Concreto - Especificaciones y Métodos de Prueba*, México (2001).

Comité Técnico de Normalización Nacional de la Industria Siderúrgica, Norma Mexicana NMX-B-457-1988, *Varillas Corrugadas de Acero de Baja Aleación Procedentes de Lingote o Palanquilla para Refuerzo de Concreto*, México (1988).

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), M 31M / M 31-95, *Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement*, EUA.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), M 42M / M42-95, *Standard Specification for Rail-Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*, EUA.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), M 53M / M53-95, *Standard Specification for Axle-Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*, EUA.