

ACEROS PARA HORMIGON

Ing. Marcelo Wainsztein *

Ing. Luis P. Traversa **

SERIE II, Nº 334

- * Ex Jefe de División del LEMIT.
- ** Jefe de la Sección Estructuras del LEMIT.

INTRODUCCION

El hormigón armado es un material compuesto por otros dos, el hormigón de cemento portland y el acero. El conocimiento que se tiene de estos dos materiales básicos posibilita que este siglo marque una etapa decisiva en el desarrollo de las estructuras de hormigón armado.

El hormigón de cemento portland posee, como sabemos, una deficiente resistencia a la tracción. El acero suple ese inconveniente y posibilita la obtención de un material de construcción que es económico y de comportamiento eficiente en todo tipo de estructuras. La introducción del acero en el hormigón permite además lograr un material con un grado de ductilidad que no posee el hormigón por sí mismo. Las curvas características tensión-deformación del acero sometido a tracción y del hormigón sometido a compresión permiten visualizar el diferente comportamiento de estos materiales.

El acero en los últimos cincuenta años ha evolucionado notablemente; del acero liso se ha llegado en la actualidad a la obtención de aceros cuyas tensiones admisibles triplican las tensiones de trabajo de aquél.

No debe olvidarse que el desarrollo del hormigón pretensado como material utilizable en la práctica, se debe al empleo de aceros de altas resistencias y con una gran capacidad de alargamiento. Los cambios volumétricos del hormigón debidos a la contracción por secado y la fluencia, originan una disminución del alargamiento de la barra pretensada, reduciendo entonces la tensión en ésta y con ello la fuerza de pretensado que comprime al hormigón.

El objeto de este trabajo es comentar los puntos principales que son de interés para la aplicación de los diversos tipos de aceros y además llevar a conocimiento de los profesionales en general, ya sean proyectistas, calculistas o inspectores de obras, los distintos tipos de acero que se producen en el país, sus características mecánicas y geométricas como así también algunas recomendaciones de carácter constructivo. Los problemas habituales que presentan las estructuras de hormigón armado son originados casi siempre por un descono-

cimiento parcial de las técnicas constructivas o por el empleo de un material no adecuado. En algunos pocos casos, tales deficiencias se deben a la utilización de materiales que no cumplen las normas en vigencia.

TIPOS DE BARRAS DE ACERO PARA ARMADURAS

Se producen en la actualidad dos tipos generales de barras de acero para armaduras.

Las barras lisas son un producto laminado en caliente, con sección transversal aproximadamente circular y constante; presentan una superficie lateral sin resaltos ni nervios especiales.

Las barras conformadas o barras de adherencia mejorada presentan en la superficie lateral nervaduras o salientes con el fin de aumentar su adherencia con el hormigón que la circunda. Podemos además hacer una nueva consideración, la que depende de la forma de obtención de las barras de adherencia mejorada. Las barras de dureza natural son barras conformadas, obtenidas por laminación en caliente, mientras que las barras deformadas en frío, obtenidas por laminación en caliente, son barras conformadas obtenidas por laminación en caliente a las que posteriormente se las torsiona y/o estira, con el fin de aumentar su resistencia. Con las barras conformadas se procura crear una mayor adherencia entre el hormigón y el acero, lo que se consigue en forma realmente eficiente con las barras de pequeño diámetro.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL ACERO

Características de la sección transversal

Para la construcción de estructuras de hormigón armado, se utilizan diámetros nominales o teóricos de barras, dentro de un amplio espectro de dimensiones. Los diámetros de producción habitual son 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32 y 40 mm. Algunas acerías

T A B L A I

DIAMETROS, SECCIONES, PERIMETROS Y MASAS NOMINALES

Diámetro nominal (mm)	Sección nominal (cm ²)	Perímetro nominal (cm)	Masa nominal (kg/m)
6	0,28	1,89	0,22
8	0,50	2,51	0,39
10	0,79	3,14	0,62
12	1,15	3,77	0,89
16	2,01	5,03	1,58
20	3,14	6,28	2,47
25	4,91	7,85	2,98
32	8,04	10,05	6,31
40	12,57	12,57	9,86
50	19,63	15,71	15,40

T A B L A IIBARRAS LISAS. DISCREPANCIAS EN LOS DIAMETROS

Diámetro nominal (mm)	Discrepancia (mm)
$d \leq 10$	$\pm 0,5$
$10 < d \leq 20$	$\pm 0,6$
$20 < d \leq 50$	$\pm 0,7$
$50 < d \leq 40$	$\pm 0,8$
$40 < d \leq 50$	$\pm 0,9$

agregan a esta gama de valores el diámetro 50. En el caso de las barras conformadas se define un diámetro convencional, que es el diámetro de una barra de sección circular de igual peso unitario que la barra considerada y que está dado por la fórmula:

$$d_c = 12,74 \sqrt{P}$$

donde d_c se expresa en mm y P es el peso unitario en kg/m.

En la tabla I se establecen los diámetros nominales, secciones nominales, masas nominales y tolerancias. La masa nominal está calculada considerando que la densidad del acero es $7,85 \text{ kg/dm}^3$. En la tabla II se establecen, en el caso de las barras lisas las tolerancias en lo referente a diámetros y en la tabla III las tolerancias correspondientes a la masa, en el caso de barras conformadas.

T A B L A III

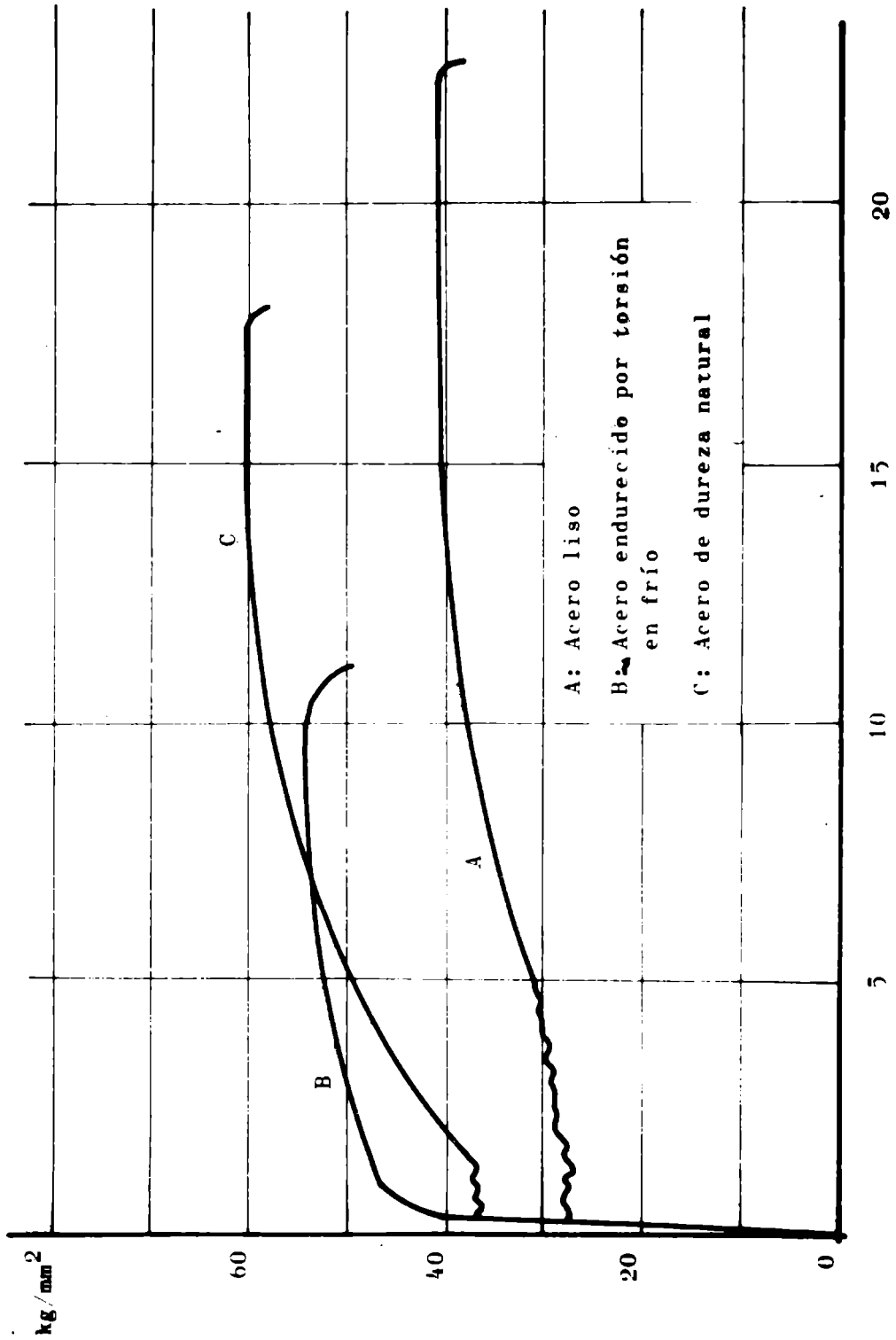
BARRAS CONFORMADAS. DISCREPANCIAS EN LAS MASAS

Diámetro nominal (mm)	Discrepancia (%)	
	Individual	Lote
d < 10	± 10	± 6
d ≥ 10	± 6	± 4

Características de la superficie lateral

Las barras lisas presentan una superficie sin ningún resalto o nervio especial. En cambio las barras conformadas presentan nervios continuos longitudinales, que pueden ser paralelos al eje de la barra o helicoidales y, además, nervios cortos transversales que presentan una sección aproximadamente trapezoidal, con medidas promedio que verifican a lo largo de la barra, las que se indican en la tabla IV. Los nervios transversales pueden presentar alturas constantes o variables. En la

FIGURA 1
DIAGRAMA TENSION - DEFORMACION DE ACEROS



T A B L A IV

NERVIOS CONTINUOS LONGITUDINALES Y CORTOS TRANSVERSALES *

DIAMETRO NOMINAL	Nervios continuos longitudinales		Nervios cortos transversales		
	Anchos y alturas (mm)		altura (mm)	inclinación del flanco	Separación máxima
	máx.	mín.	máx. mín.	(α)	(m)
$d \leq 12$	0,16 d	0,07 d	0,14 d 0,05 d	$\geq 45^\circ$	0,7 d
$d > 12$	0,14 d	0,07 d	0,12 d 0,05 d	$\geq 45^\circ$	0,7 d

* Norma IRAM 528

T A B L A VTENSION DE FLUENCIA, DE ROTURA, ALARGAMIENTO SOBRE 10 DIAMETROS
Y DUREZA BRINELL EN FUNCION DEL GRADO DE TORSION

(Diámetro de la barra: 16 mm)

Torsión en 10 ϕ	0°	50°	180°	270°	360°	450°	540°
Tensión de fluencia (kg/mm ²).....	53,6	55,8	41,8	47,2	50,2	54,2	57,7
Tensión de rotura (kg/mm ²).....	47,2	51,0	54,4	57,9	60,4	62,2	64,6
Alargamiento 10 d (%).....	28,1	21,9	15,0	14,4	13,8	12,5	10,6
Dureza Brinell.....	116	136	150	160	165	167	180

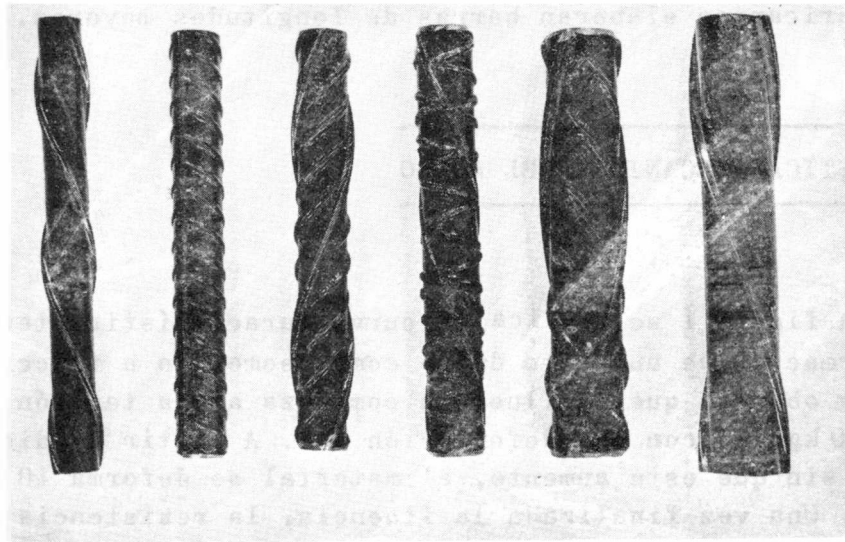


Fig. 2.- Superficies de barras conformadas de producción en el país

figura 2 se observan diversas superficies típicas de barras conformadas de producción en el país.

Es necesario aclarar que la superficie de las barras no deberá presentar virutas, escamas, asperezas, ni otros defectos capaces de producir heridas durante su manipuleo. Además, las barras estarán libres de grietas, sopladuras y otros defectos que puedan afectar desfavorablemente la resistencia o el doblado. Durante el proceso de elaboración de las barras, deberá realizarse en forma simultánea la selección de las mismas, eliminando todas aquellas que posean algún defecto que las hagan inacceptables para ser empleadas en obra.

Longitudes comerciales

Las barras se suministran normalmente en rollos o en tramos rectos con un largo nominal de 12 metros. Los diámetros menores (el 6 y a veces el 8) son los que se suministran habitualmente en rollos. Los diámetros mayores se comer-

cializan normalmente en tramos rectos y con la longitud indicada más arriba. Longitudes mayores a 12 metros provocarían dificultades en el manipuleo y en el transporte. Sólo a pedido los fabricantes elaboran barras de longitudes mayores.

CARACTERISTICAS MECANICAS DEL ACERO

En la figura 1 se grafica la curva característica tensión-deformación de un acero dulce común sometido a tracción simple. Se observa que la fluencia comienza a una tensión $\sigma = 2\,300 \text{ kg/cm}^2$ con una deformación ξ . A partir de dicha tensión y sin que esta aumente, el material se deforma 10 a 15 veces más. Una vez finalizada la fluencia, la resistencia vuelve a aumentar siendo necesario incrementar la tensión para llegar a la rotura ($\sigma_r = 3\,500 \text{ kg/cm}^2$). Los aceros dulces de alta resistencia se comportan en forma similar. Si en lugar de un acero dulce, se considera un acero endurecido en frío por torsión o tracción o ambas simultáneamente, vemos que presenta una curva característica sin el escalón de fluencia, pero su rotura se produce también lentamente. La deformación específica debe haber sobrepasado por lo menos el 8 % de su longitud inicial, para que pueda ser empleado como acero para hormigón armado.

El endurecimiento que se logra sometiendo al acero común a un trabajo en frío, es función de la deformación lograda. En el LEMIT se han tomado barras laminadas de acero de sección circular y diámetro 16 mm (cuyas características químicas promedio son: C 0,12 %; Si 0,06 %; Mn 0,55 %; S 0,07 % y P 0,035 %), las que fueron sometidas a diversos grados de torsión y luego se realizaron los ensayos de tracción, plegado y dureza, obteniéndose los resultados que se informan en la tabla V.

Se observa que tanto el límite de fluencia como la tensión de rotura aumentan con el grado de torsión, disminuyendo en cambio el alargamiento. En el ensayo de plegado no se observaron anomalías y en el de dureza Rockwell, cuyos valores fueron convertidos a unidades Brinell, se apreció un aumento de la dureza en función del grado de torsión. Dicho aumento es má-

ximo en la periferia de las barras y disminuye hacia el centro.

En el caso estudiado se observa que el aumento porcentual con respecto al valor inicial, de las tensiones de fluencia y rotura no son semejantes. Se logró, luego de torsionar las barras, un aumento del 71,7 % de la tensión de fluencia convencional con respecto a la tensión de fluencia real del acero en estudio y solamente un aumento del 36,9 % en la tensión de rotura.

Un análisis microscópico del acero con los diversos grados de torsión indicaría que a medida que la barra es torsionada va desapareciendo el estiramiento de los cristales en la dirección del eje de la barra, provocado por el proceso de laminación, observándose además un paulatino cambio de dirección en la orientación de los cristales, que es precisamente el estado helicoidal inducido por medio de la torsión. Existe además una subdivisión de cristales, lo cual aumenta el número de cristales por unidad de superficie.

Las características mecánicas que más nos interesan y que sirven para una simple tipificación de los aceros para hormigón armado son:

- Límite de fluencia característico (kg/mm^2).
- Resistencia a la tracción característica (kg/mm^2).
- Alargamiento de rotura característico (%).

Estas tres características cuantitativas se definen a partir de un ensayo de tracción simple sobre un trozo de barra (Norma IRAM 102).

La otra característica mecánica que interesa tiene relación directa con las condiciones de las barras, en lo que se refiere a su preparación y doblado para constituir las armaduras. Esta característica cualitativa se controla mediante un ensayo de plegado (Norma IRAM 103). Realizado el ensayo a temperatura ambiente no deben aparecer grietas en la parte extendida de la probeta.

TIPOS DE ACEROS PARA HORMIGON ARMADO

Existen diversas tipificaciones de los aceros para hormigón armado que varían no sólo de un país a otro, sino que también, como ocurre en nuestro medio, pueden coexistir más de una clasificación, en las que invariablemente las características cuantitativas sirven como referencia. El Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) adopta como base de designación el límite de fluencia, no obstante mantener con carácter orientativo y con la finalidad de no originar confusión la designación utilizada hasta el año 1972, basada en el límite de rotura. Además adopta símbolos distintos para individualizar los tipos de barras (por ejemplo una barra lisa, laminada en caliente se designa como AL-22 o AL-33 según su límite característico de fluencia y una barra conformada, de dureza natural como ADN-40 o ADN-46 según su límite característico de fluencia).

Algunos países europeos adoptan una clasificación semejante a la utilizada por IRAM.

El Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (PRAEH, 1964) especifica en base a sus características cuantitativas mínimas, cinco tipos de acero, a los que denomina Tipo I, II, III, IV y V.

La Comisión para el Contralor de Aceros para Hormigón Armado del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, adoptó en octubre de 1964 la tipificación propuesta por el PRAEH, que luego amplió ante la aparición en el mercado argentino de nuevos productos. En la tabla VI se informan los diversos tipos de aceros que adopta la Comisión y sus características cuantitativas mínimas. Se indica también el diámetro del mandril en función del diámetro de la barra que se utiliza en la ejecución del ensayo de plegado en frío.

Los valores característicos desde el punto de vista cuantitativo resultan de la interpretación estadística de los resultados de los ensayos realizados. El PRAEH, considerando que los resultados de los ensayos se distribuyen de acuerdo a una curva estadística normal, define como valor característico al

que corresponde a la probabilidad de que el 95 % de los resultados obtenidos supere dicho valor. IRAM, en la última revisión de las normas que se refieren a aceros, ha introducido el concepto de valores característicos.

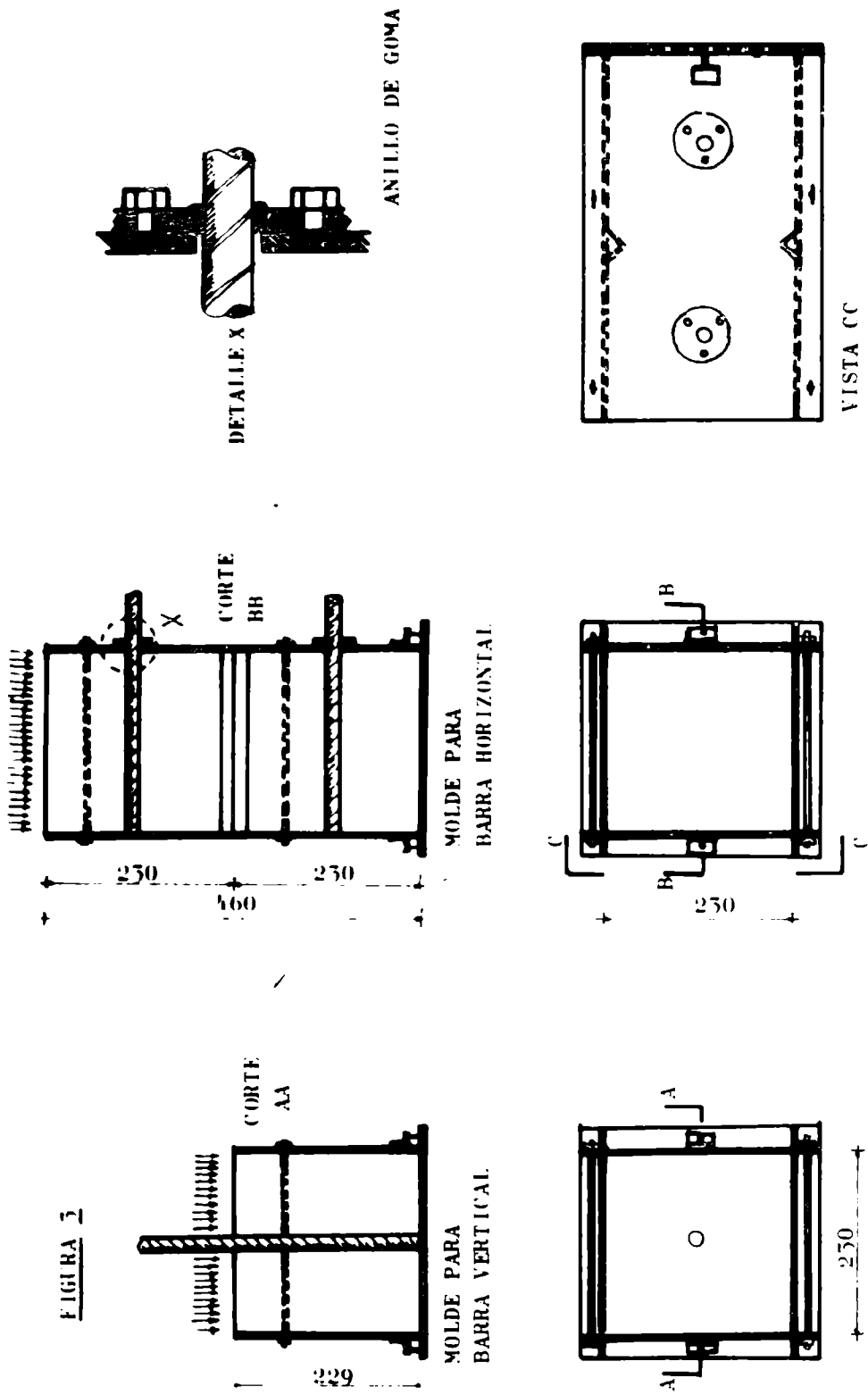
El procedimiento detallado para realizar el cálculo de los valores característicos se puede consultar en el PRAEH-1964 (capítulo III A.6.3.3.) o en la norma IRAM 502.

Es necesario indicar que algunos reglamentos especifican para ciertos tipos de aceros solamente la tensión de fluencia, y la de rotura se indica como el valor de la tensión de fluencia aumentada en un 10 % como mínimo. La norma austríaca ONORM B 4200, es un ejemplo de lo comentado. En otras tipificaciones los valores característicos de fluencia y rotura mantienen esa diferencia del 10 %. Por ejemplo el PRAEH para el acero tipo III especifica una tensión de fluencia de 44 kg/mm² y para la de rotura de 49 kg/mm², quedando expresado en forma tácita el aumento del 10 % comentado.

Se considera, sin embargo, que es mucho más conveniente la especificación que estipula como tensión mínima de rotura, la de fluencia aumentada en un 10 %. En una interpretación simplificada y no conceptual, un acero con tensiones características de fluencia y de rotura iguales por ejemplo a 60 y 62 kg/mm² respectivamente, podría estar comprendido en el tipo III, ya que cumple con los mínimos estipulados para cada tensión. Es sin embargo necesario, por razones de seguridad, que se mantenga como mínimo la diferencia del 10 % entre las tensiones características obtenidas en los ensayos realizados, para que no se superponga la fluencia y la rotura del material como así tampoco la de la estructura de la cual forma parte.

ADHERENCIA

La adherencia acero-hormigón es el fenómeno fundamental que condiciona la existencia del hormigón armado, ya que posibilita la acción en conjunto de ambos materiales. En forma muy general podemos definir como adherencia al conjunto de fuerzas



PROBETAS PARA ENSAYO DE ADHERENCIA NORMA IRAM 1596

que se oponen al arranque de la barra de la masa de hormigón que la rodea. En las barras conformadas se habla de una acción doble de aprisionamiento y tope, mientras que en las barras lisas existiría solamente la acción de aprisionamiento.

Ensayos de adherencia

La norma IRAM 1596 especifica un ensayo simple de arranque por tracción. Existen dos tipos diferentes de probetas (figura 3): la probeta simple con barra vertical y la doble con barras horizontales. En el primer caso se trata de reproducir aproximadamente la ubicación de las barras y el llenado con hormigón que se ejecuta en una columna; en el segundo caso las barras horizontales reproducirían la ubicación de las barras de tracción y compresión en vigas.

A los 28 días se realiza el arranque de la barra, midiéndose, a intervalos del deslizamiento de la misma, la carga que lo produce. La adherencia se expresa dividiendo el esfuerzo por el perímetro de la sección multiplicado por la longitud del empotramiento. En la figura 4 se encuentran esquematizados los resultados que se obtienen en un ensayo de arranque por tracción para barras conformadas verticales, horizontales, superiores e inferiores. El esquema para barras lisas sería semejante pero con valores de adherencia menores.

El contacto hormigón-acero en las barras horizontales, es diferente si se consideran barras superiores o inferiores. En el caso de barras superiores, disminuye el contacto hormigón-acero al producirse el asentamiento del hormigón fresco inmediatamente después de colocado, dando origen a la existencia de un pequeño hueco que luego es ocupado por el agua libre del hormigón.

Los valores que se obtienen en este tipo de ensayos surgen de un estado de tensiones que no se reproduce en los elementos estructurales. Es un ensayo de laboratorio simple y muy eficaz para trabajos comparativos de investigación.

Algunas especificaciones lo han reemplazado por otro de arranque por flexión (norma NBN 816 del Instituto Belga de Normalización, 1969).

El Comité Europeo del Hormigón sugiere una variante al ensayo de arranque por tracción que consiste en tirar simul-

FIGURA 4

ENSAYO DE ADHERENCIA

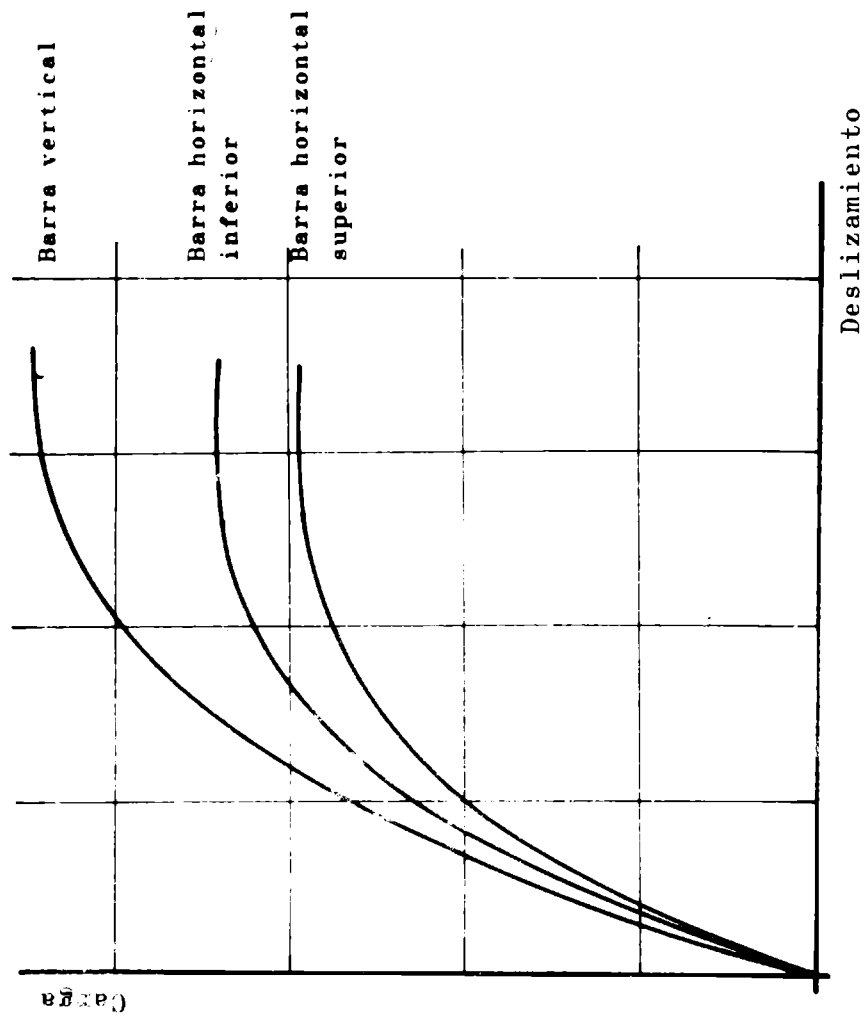
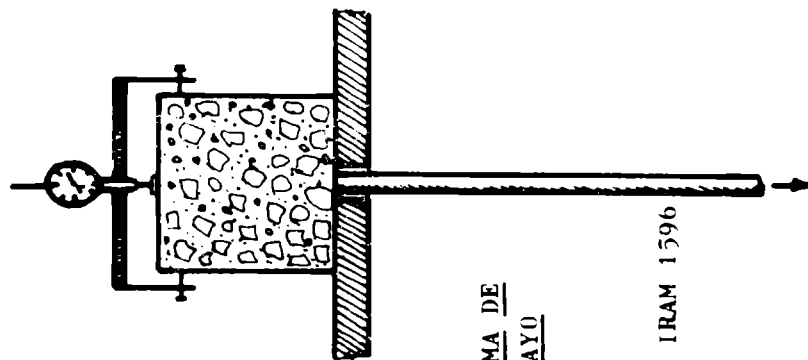


DIAGRAMA CARGA - DESLIZAMIENTO



ESQUEMA DE ENSAYO

Norma IRAM 1596

TABLA VII. TENSIONES PROMEDIO DE ADHERENCIA

Ensayo según norma IRAM 1596; diámetro de la barra 20 mm; contenido de cemento 300 kg/m³

Aditivo	Razón agua cemento	Resistencia a los 28 días			Ubicación de las barras		
		Compresión (kg/cm ²)	Tracción (kg/cm ²)	Vertical (kg/cm ²)	H. inf. (kg/cm ²)	H. sup. (kg/cm ²)	
-	0,56	511	28	100	93	60	
Resina Vinsol	0,52	519	27	120	99	84	
Retardador	0,46	564	52	114	102	86	
Fluidificante	0,48	598	50	124	94	84	
Doble propósito	0,47	567	50	116	102	97	

TABLA VIII. MAXIMAS TENSIONES DE CALCULO DEL ACERO

Tipo de acero	Régimen elástico (kg/cm ²)	Régimen de rotura (kg/cm ²)
I	1 400	2 300
II	2 000	3 700
III	2 400	4 400
IV	2 700	5 000
V	3 000	5 500

TABLA IX. RESISTENCIA CARACTERISTICA MINIMA DEL HORMIGON (COMPRESION) A LA EDAD DE 28 DIAS

Hormigón de proporciones	Tipo de acero	Tipo de sollicitación	Resistencia característica mínima (kg/cm ²)
Empírica (control optativo excepto consistencia)	I al V	Estática	80
Racional (control: obligatorio y sistemático)	I-II	Estática	130
	I-II	Dinámica	170
	III-IV-V	Estática	170
	III-IV-V	Dinámica	210

táneamente de dos barras desplazadas transversalmente y unidas con estribos.

Los estudios experimentales realizados en el LEMIT indican que la tensión de arranque depende fundamentalmente de las características geométricas de la superficie lateral de la barra y que aumenta cuando aumenta la resistencia del hormigón en que se halla empotrada la barra.

En la tabla VII se informan resultados de diversos ensayos realizados en el LEMIT, en los cuales se ha mantenido como constante el diámetro de la barra (\emptyset : 20 mm).

Las normas IRAM no especifican las tensiones de adherencia mínimas que deben verificar los diversos tipos de aceros. En cambio, por ejemplo, la norma belga NBN 17902 especifica en función del diámetro de la barra las tensiones mínimas a obtener en el ensayo de arranque por flexión, definiendo una característica de adherencia que se agrega a las características cuantitativas y cualitativas.

Con respecto a la tensión a considerar en los cálculos existe una marcada diferencia en los diversos códigos o reglamentos. Se tiende en la actualidad a suponerla como función de la resistencia a la tracción del hormigón y de las características de la superficie lateral de la barra.

TENSIONES DE CALCULO DEL ACERO

Los elementos estructurales muy bien podrían ser dimensionados considerando tensiones de cálculo superiores al límite real o convencional de fluencia, pero al llegar el esfuerzo a la tensión de fluencia las deformaciones resultantes serían de gran magnitud, apareciendo fisuras y/o deformaciones que pueden llegar a producir daños de importancia en la estructura (desprendimiento de cielorrasos, fisuración de paredes, rotura de cristales, etc.).

Por todo lo anterior, las estructuras se calculan en función de la tensión de fluencia, sin considerar el margen que deja el acero hasta que se produce su rotura.

En la tabla VIII se indican las máximas tensiones de cálculo del acero, según el tipo de acero y el régimen o teoría de cálculo utilizada.

Las tensiones máximas indicadas deben ser adecuadamente reducidas para tener en cuenta el régimen de cargas, las características generales de la estructura y las condiciones del medio ambiente a que la misma se verá expuesta durante su vida útil.

En el caso de emplear en obra un hormigón cuyas proporciones fueron determinadas en forma empírica (ver Resistencia de rotura del hormigón), las tensiones admisibles del acero, que podrá ser de cualquiera de los tipos especificados, no podrá exceder de $1\,400\text{ kg/cm}^2$.

RESISTENCIA DE ROTURA DEL HORMIGON

La resistencia característica mínima del hormigón de obra, dependerá del tipo de acero que se emplee, como así también del método utilizado para determinar las proporciones de sus materiales componentes.

En el caso de obras de pequeño volumen y de importancia estructural secundaria, que no quedarán expuestas durante su vida útil a la acción de un medio agresivo, las proporciones de los materiales componentes del hormigón podrán establecerse en forma empírica. Para obras de mayor volumen e importancia deben determinarse las proporciones de los materiales en forma racional, experimentalmente, empleando algunos de los métodos conocidos, que se basen fundamentalmente en la razón agua-cemento del hormigón.

Se especifican en la tabla IX las resistencias características mínimas en función del tipo de acero y de las solicitaciones. El hormigón especificado es ejecutado con cemento portland normal. En caso de emplearse cemento de alta resistencia inicial, las resistencias características que se informan en la tabla serán las que deben obtenerse a la edad de 7 días.

CONDICIONES DE EMPLEO. DISPOSICIONES DE CARACTER CONSTRUCTIVO

En todos los casos en que pueda existir algún peligro de confundir las barras y para mayor seguridad, no se deberán emplear simultáneamente en obra distintos tipos de acero. Cada fabricante identifica las barras, a excepción de los tipos I y II, con una marca en relieve producida por laminación, que corresponde a un símbolo registrado que establece el tipo y el productor. En obra los aceros se almacenarán en forma separada según los tipos, para evitar toda posibilidad de intercambio.

Las barras que conforman las armaduras, deberán estar limpias o sea libres de barro, polvo, escamas sueltas de herrumbre, etc., en el momento de ser introducidas en los encofrados, para evitar que se produzca una deficiente adherencia al hormigón.

En lo referente a la separación libre entre las barras de la armadura, si bien ello es un problema de cálculo, debemos decir que al determinarse las proporciones del hormigón no sólo se deberá tener en cuenta la resistencia a alcanzar sino también el tamaño máximo del árido grueso a emplear. El mismo será siempre menor que $5/4$ de la distancia libre entre barras individuales o grupos de barras en contacto.

Corte y doblado

En obra las barras se cortarán y doblarán ajustándose estrictamente a las formas y dimensiones indicadas en los planos, siendo imprescindible la verificación de las mismas, por parte de la inspección, antes de autorizar el hormigonado. Las operaciones de corte y doblado se realizarán en frío a temperatura ambiente. El doblado se realizará a velocidad limitada y siempre a temperaturas mayores a los 5°C. Todas aquellas barras que han sido dobladas no podrán ser enderezadas ni se emplearán si no se elimina la zona que fue sometida a esa operación.

El doblado de las barras no podrá realizarse en caliente

para los aceros tipo II, III, IV o V, permitiéndose esto para aceros tipo I y en barras de diámetro igual o mayor de 25 mm. Nunca debe sobrepasarse los 800-830°C de temperatura.

En la tabla X se indican los radios de curvatura mínimos que se pueden recomendar en función del diámetro de la barra y del tipo de acero.

T A B L A X

RADIOS MINIMOS DE DOBLADO Y DIAMETROS INTERNOS DEL GANCHO EN FUNCION DEL DIAMETRO

Tipo de acero	Radio mínimo de doblado	Diámetro interno del gancho
I	10.d	2,5.d
II	10.d	5.d
III	13.d	6.d
IV	13.d	-
V	15.d	7,5.d

Recubrimiento mínimo

El recubrimiento de las armaduras tiene como objeto protegerlas contra la corrosión. El hormigón de recubrimiento de espesor adecuado, considerando el tipo de estructuras y el medio ambiente, se moldeará conjuntamente con el correspondiente elemento. En la tabla XI se indican los recubrimientos mínimos que se recomiendan habitualmente para los diversos elementos estructurales, considerando el medio ambiente a que están expuestos.

En estructuras donde por una deficiente ejecución, las barras de las armaduras quedan sin los recubrimientos mínimos exigidos, aparecen con el transcurso del tiempo problemas de muy difícil solución. En la figura 5 se observa la corrosión de barras de armaduras de gran diámetro en una estructura en la cual los recubrimientos no han cumplido con su función primordial. Sabemos que cuando se inicia el proceso

TABLA XI. RECUBRIMIENTOS MINIMOS

Elemento Estructural	Acción			
	Ninguna	Intemperie	Suelo no agresivo	Líquido no agresivo
Losas y placas nervadas ..	1,5 cm	2,5 cm	-	2,5 cm
Columnas, vigas y otros ..	1,5 cm	2,5 cm	-	2,5 cm
Zapatas y otros.....	-	-	2,5 cm	2,5 cm
				Líquido o suelo agresivo
				3,0 cm
				4,0 cm
				4,0 cm

TABLA XII. ENSAYOS DE BARRAS DE ACERO TIPO III TORSIONADAS EN FRIO ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO SOMETIDAS A LA ACCION DEL FUEGO DIRECTO

Diámetro nominal (mm)	Tensión de fluencia (kg/mm ²)	Tensión de rotura (kg/mm ²)	Alargamiento sobre 10 ϕ (%)
8	35,8	43,5	11,9
8	20,9	30,8	15,0
8	24,5	37,1	20,4
8	33,0	48,9	20,7
8	26,5	39,7	20,0
8	21,4	38,8	36,2

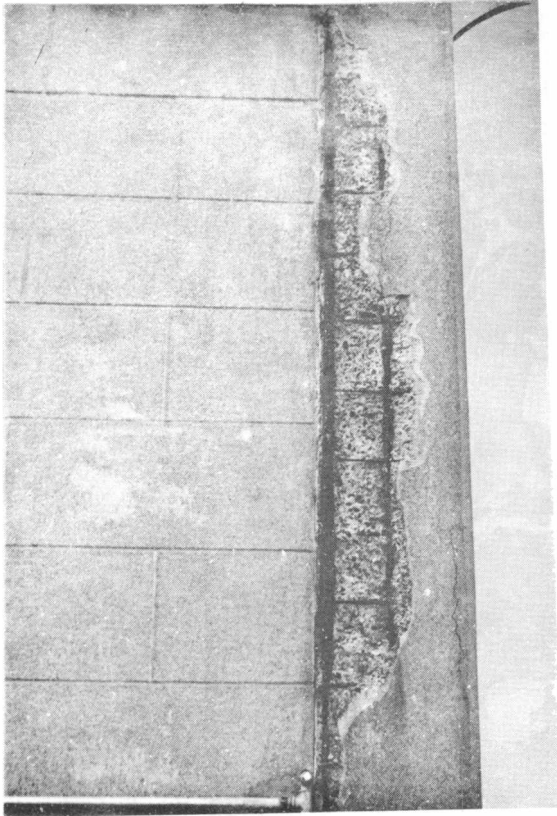


Fig. 5.- Corrosión en las armaduras. Obsérvese el desprendimiento del hormigón de recubrimiento.

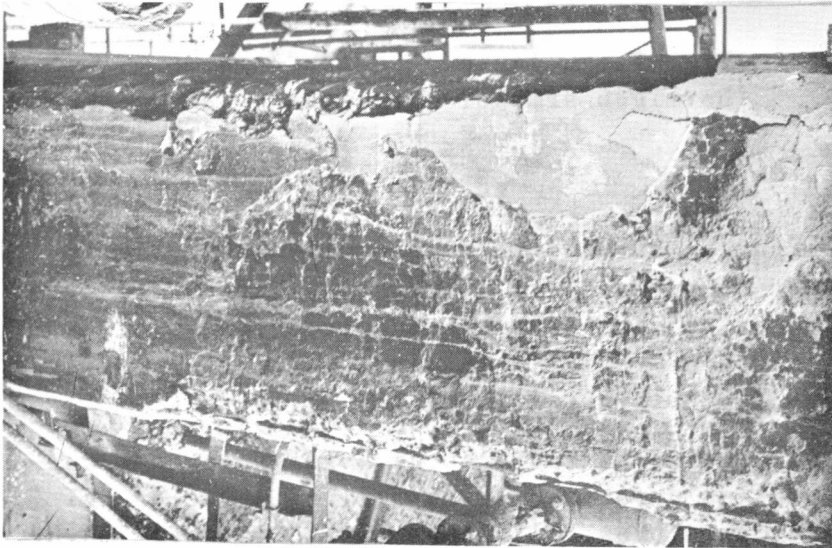


Fig. 6.- Estructura de hormigón armado afectada por el fuego

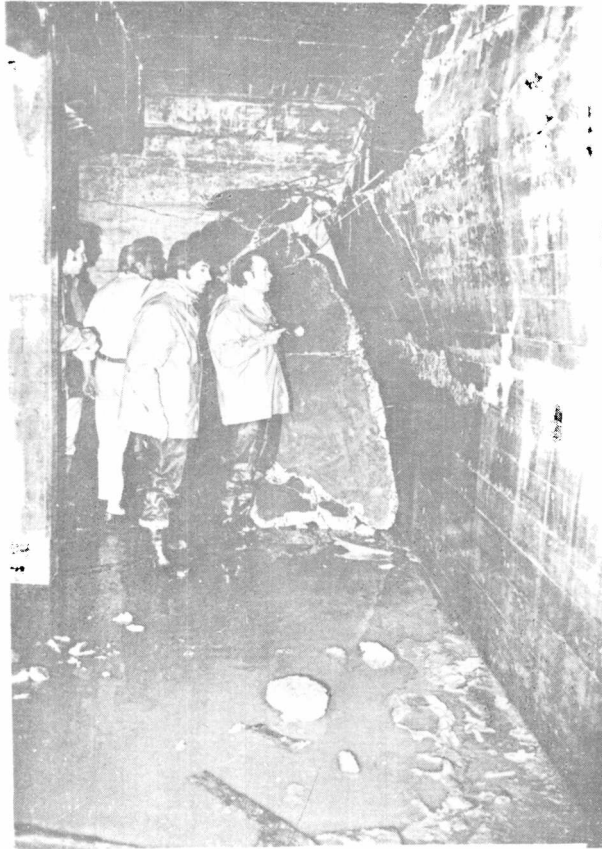


Fig. 7.- Colapso de estructura de hormigón armado. Corrosión de armaduras.

de corrosión es muy difícil que se detenga y el mismo llega a ocasionar aumentos de volumen en las barras del orden del 200 %, lo que origina tensiones de tracción en el hormigón que éste no puede resistir y provoca fisuras y grietas que son nuevos caminos para los agentes agresivos.

En el caso de estructuras de hormigón armado que pueden estar expuestas durante su vida útil a la acción del fuego o de altas temperaturas, el recubrimiento debe ser mayor a los especificados y se emplearán en su ejecución aceros de dureza natural, es decir aquéllos que no han sufrido ningún tratamiento en frío.

En estos aceros la resistencia se reduce a partir de los 300°C y alcanzan, por ejemplo, después de 2 horas de calentamiento a 600°C, solamente 1/5 de la resistencia original. A diferencia de los tratados en frío, recuperan al enfriarse su primitiva resistencia. En la figura 6 se observa una estructura con el recubrimiento habitual, que estuvo expuesto a la acción del fuego. El mismo originó la calcinación del hormigón del recubrimiento, el cual se desprendió, quedando las armaduras principales y secundarias al descubierto.

Las barras, que eran del tipo III, conformadas y endurecidas por torsión en frío, perdieron las propiedades que les fueron conferidas mediante la deformación a temperatura ambiente, poniendo en serio peligro a la estructura.

En la tabla XII se detallan los resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre armaduras de repartición, extraídas por personal técnico del LEMIT de la estructura que estuvo expuesta a la acción del fuego.

Cuando la estructura tiene que quedar expuesta a la acción de atmósferas extremadamente agresivas, debe ser protegida en forma especial, mediante el empleo de revestimientos capaces de resistir los efectos perjudiciales o corrosivos del medio ambiente.

En la figura 7 se observa el derrumbe de un elemento estructural ubicado en una atmósfera saturada de cloro; la existencia de fisuras en el recubrimiento posibilitó la corrosión de las armaduras, lo cual produjo una reducción de sección que originó con posterioridad el colapso del elemento.

El LEMIT, ha participado en los trabajos de reparación de una planta potabilizadora de agua, en la que se utiliza sulfato de aluminio como floculante. Este es un compuesto altamente agresivo para el hormigón. El recubrimiento original había desaparecido casi por completo, pensándose entonces en la necesidad de mantener protegidas las armaduras mediante la ejecución de un revestimiento de hormigón de espesor adecuado. Se recomendó el empleo de una malla de acero, vinculada al resto de la estructura, para evitar el agrietamiento y/o desprendimiento del revestimiento de hormigón. En el caso que se comenta, el problema originado por el empleo de un recubrimiento no adecuado y por la utilización de un hormigón de alta relación agua/

cemento pudo ser solucionado sin muchos inconvenientes. Sin embargo existen otros casos en que el problema se agrava pues no se pueden encontrar soluciones prácticas factibles.

Anclajes

Se define el anclaje como la longitud de empotramiento necesaria para asegurar la transferencia del esfuerzo que resiste la barra al hormigón o viceversa. En barras traccionadas el anclaje se realiza mediante ganchos que se continúan con un trozo recto de longitud variable según los distintos reglamentos.

En las barras comprimidas se suprimen los ganchos, ya que éstos solicitarían al hormigón a la tracción, debiendo continuarse por lo menos 30 diámetros. En la tabla X se dan los diámetros internos mínimos del gancho en función del diámetro y del tipo de acero, que especifica el PRAEH - 1964.

En las armaduras traccionadas de pequeño diámetro (tipo I, 6 mm; tipo III y V, 14 mm), algunos reglamentos permiten la supresión de los ganchos terminales, manteniendo las longitudes de anclaje necesarias.

Empalmes

Las barras de diámetro mayor de 8 mm, se comercializan habitualmente en longitudes no mayores a los 12 metros, por lo cual es necesario empalmarlas cuando en obra se necesitan armaduras de mayor longitud.

En lo posible se trata de no realizar empalmes, y si ello es imposible de cumplir se los debe ejecutar en aquellos lugares en que las barras tengan las menores sollicitaciones.

La posición de los empalmes se debe indicar en los planos y demás documentos de la obra. Los empalmes podrán realizarse por yuxtaposición de las barras o por soldadura eléctrica.

Los aceros tipo I o tipo III de dureza natural, son soldables sin inconvenientes, ya sea por fusión de los extremos y unión a tope o por soldadura con material de aporte. Los aceros que han sufrido algún tipo de deformación en frío, tienen el inconveniente que el calentamiento necesario para soldar reviene el material y disminuye la resistencia de la

barra.

La influencia que un aumento apreciable de la temperatura respecto de la ambiente tiene sobre los aceros tratados en frío, se encuentra expresada en la figura 8. Sobre probetas torsionadas en frío de 25 mm de diámetro, sometidas al proceso de recocido a distintas temperaturas, se realizaron ensayos comparativos de resistencia a la tracción. De la observación de dicho gráfico surge que una temperatura de 700°C elimina totalmente el efecto de endurecimiento producido por la torsión, quedando el material reducido a un acero común para construcciones, es decir el material original empleado para obtener el acero endurecido. En el caso de los aceros especiales tipo II, III y V no se debe emplear la soldadura eléctrica por fusión, pero pueden ejecutarse otros tipos de uniones soldadas, siempre que previamente se demuestre la posibilidad de su correcta ejecución y su eficacia, mediante resultados satisfactorios de ensayos realizados al efecto, en barras soldadas por el personal que realizara iguales tareas en obra.

En las tablas XIII y XIV se informan ensayos realizados en el LEMIT sobre barras de aceros tipo III, torsionadas en frío, soldadas con material de aporte y por fusión a tope. Se observa de acuerdo a los resultados un comportamiento satisfactorio en las barras soldadas con material de aporte y un comportamiento deficiente en las soldadas por fusión a tope, ya que afecta en forma sensible la tensión de rotura.

En lo referente al aprovechamiento de las uniones soldadas diremos que es de práctica considerar como resistencia de la unión en barras comprimidas a la resistencia de las barras que vincula y en barras traccionadas un 80 por ciento de las barras que une. El PRAEH especifica algunos casos particulares en que dicha unión puede considerarse de igual resistencia a la de las barras que une, como ser si el trabajo de soldadura se realiza bajo condiciones rigurosas y permanente control, si en una sección del elemento estructural sólo existe una barra empalmada de cada cinco o si las sollicitaciones alternadas no son preponderantes.

En lo referente al empalme por yuxtaposición diremos que las barras se colocan en contacto directo, que sus extremos en el caso de ser barras traccionadas tendrán ganchos termina-

TABLA XIII. ENSAYOS DE TRACCION REALIZADOS SOBRE BARRAS
TORSIONADAS EN FRIO SOLDADAS CON MATERIAL DE APORTE

Diámetro de la barra (mm)	Diámetro de la soldadura (mm)	Tensión de rotura (kg/mm ²)
16	22,0	51,5
	21,0	52,8
25	29,0	54,0
	30,0	54,6

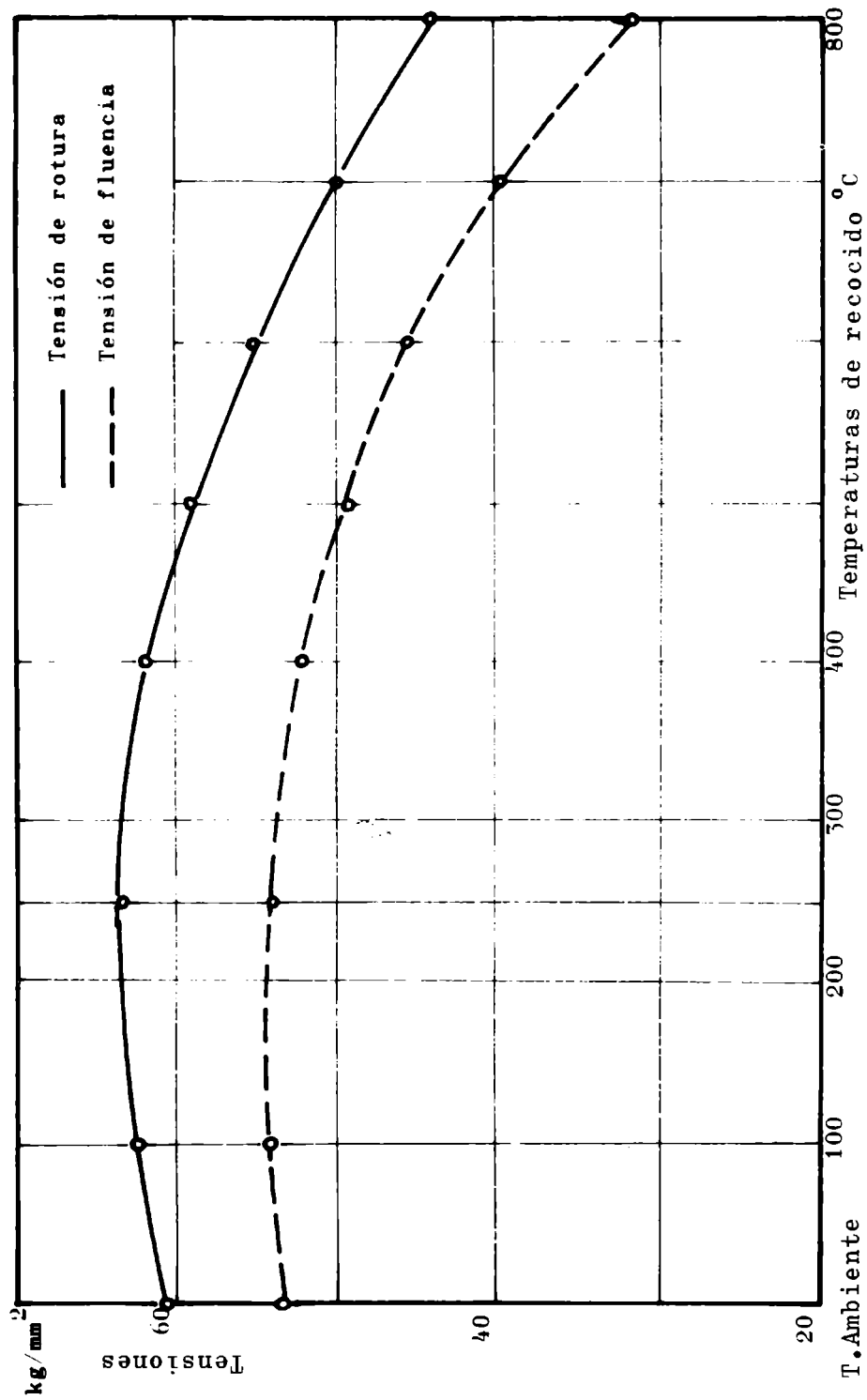
Nota.- La rotura se produjo fuera de la soldadura, aproximadamente a 1 cm de la misma.

TABLA XIV. ENSAYOS DE TRACCION REALIZADOS SOBRE BARRAS
TORSIONADAS EN FRIO, SOLDADAS POR FUSION A TOPE

Diámetro de la barra (mm)	Tensión de fluencia (kg/mm ²)	Tensión de rotura (kg/mm ²)
16	30,3	49,3
	29,7	45,3
25	35,8	49,3
	36,7	47,8

Nota.- La rotura se produjo fuera de la soldadura, aproximadamente a 5 cm de la misma.

FIGURA 8
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS COMPARATIVOS DE TRACCIÓN REALIZADOS
CON PROBETAS NO TRATADAS Y PROBETAS SOMETIDAS A RECOCIDO



les y que a lo largo de toda la longitud de yuxtaposición, se colocarán armaduras transversales. No se aconseja el empalme por yuxtaposición, en aquellos elementos estructurales sometidos a tracción simple o cuando el diámetro de las barras es mayor de 25 mm.

Para los aceros tipo I, pueden ejecutarse empalmes realizados mediante manguitos roscados, debiendo realizarse los ensayos que se crean convenientes para comprobar la eficacia de la unión.

Inspección y recepción de aceros en obra

En obra, las barras de acero del mismo tipo, fabricante y remesa, se agrupan en lotes del mismo diámetro nominal, que deberán ser inspeccionados visualmente para comprobar si las barras presentan la marca que individualiza a cada producto, rechazándose las que no cumplan tal requisito como así también las que se presentan con defectos superficiales.

Los lotes deben ser divididos en grupos, con un peso máximo de 10 t. De cada uno de estos grupos se extraen al azar un número especificado de barras y de ellas las probetas necesarias para realizar la verificación de las características geométricas y de las características mecánicas.

En lo referente a las medidas geométricas, las mismas se verifican con calibradores apropiados, aceptándose el lote si los valores considerados resultan satisfactorios. En el caso de que las comprobaciones de los pesos no verifiquen lo estipulado, se puede aceptar o rechazar el lote dependiendo la resolución del inspector de obra o del comprador.

El PRAEH, define dos tipos de pruebas, la normal y la complementaria. Para la primera se separan cinco barras y de cada una de ellas se extrae una probeta para el ensayo de tracción y otra probeta para el ensayo de plegado. En caso de que la prueba normal no proporcione los resultados especificados se realizará una prueba complementaria sobre cinco o más probetas nuevas. Si en la prueba normal las cinco probetas verifican resultados iguales o mayores al valor característico mínimo especificado el lote se considera aceptable y en caso contrario se debe realizar la prueba comple-

plementaria y realizar la interpretación estadística del total de los resultados con que se cuenta.

En este caso el lote es aceptado si los valores característicos son superiores o en caso contrario puede ser rechazado o empleado, pero con una característica menor. Las normas IRAM para barras de acero laminadas en caliente y estiradas en frío y las laminadas en caliente y torsionadas en frío, establecen la posibilidad de efectuar los ensayos mecánicos en barras envejecidas artificialmente, en el caso de que algunos de los ensayos realizados con probetas en estado de entrega no cumpla con los valores establecidos. El envejecimiento artificial consiste en calentar la barra en horno a 250°C durante 30 minutos, seguido de un enfriamiento al aire. Es un hecho conocido que las barras no adquieren su resistencia total inmediatamente después del proceso de elaboración, sino que la misma se logra después de un lapso que varía con la composición química del material. Sin embargo algunos investigadores consideran que no se pueden comparar los resultados del envejecimiento artificial con los del envejecimiento natural, ni tampoco se debe utilizar este proceso para la aceptación de aceros ya que traería como consecuencia el empleo de aceros que no tienen las características mecánicas adecuadas en el momento de colocar en obra y que no se sabe a ciencia cierta si las van a tener y en qué tiempo.

En el caso de que tampoco se verifique en las probetas envejecidas, se permite un nuevo muestreo y se envejece artificialmente el total de probetas antes de su ensayo. En este caso el valor característico calculado sobre el total de muestras envejecidas debe resultar igual o mayor que el establecido en norma.

Certificado de empleo

Algunas reparticiones nacionales o provinciales de la Argentina, como ser la Secretaría de Estado de Obras Públicas (SEOP) y el Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (M.O.P.) por intermedio del LEMIT extienden Certificados de Empleo para los diferentes aceros, a solicitud del fabricante. Se entiende como tal, al conjunto de especificaciones de las características que identifican y habilitan a cada tipo de acero para uso en hormigón armado. La Municipa-

lidad de la ciudad de Buenos Aires lo realiza mediante una resolución.

La existencia del Certificado del SEOP es condición necesaria para que el acero pueda emplearse en todas las obras que se realizan con intervención de esa Secretaria de Estado y otro tanto ocurre con el Certificado del M.O.P en las obras que ejecuta la Provincia de Buenos Aires. En los mismos se detallan las características geométricas y mecánicas del acero y además se establecen las tensiones de cálculo del acero y la resistencia de rotura del hormigón. Asimismo se especifican diversas condiciones de empleo, como ser diámetros del gancho, empalmes, etc.

Los entes encargados de la redacción y extensión de los Certificados de Empleo, han redactado sus respectivas Especificaciones técnicas, encontrándose para un mismo producto diferencias en las tensiones admisibles de cálculo especificadas. Resultaría de interés llegar a una unificación de criterios en lo referente a las características de los aceros y a las condiciones de empleo.

En la Provincia de Buenos Aires, de acuerdo a una resolución ministerial, el LEMIT extiende dichos certificados de Empleo del Acero en base a los resultados de los ensayos realizados sobre muestras extraídas por su personal técnico directamente de la planta de elaboración y siempre que los resultados sean satisfactorios.

El inspector de toda obra pública verifica, antes de realizar los ensayos de vigilancia especificados, la vigencia del Certificado y deberá hacer cumplir en obra las especificaciones correspondientes. En la redacción de las Especificaciones técnicas, se adopta la tipificación utilizada por el PRAEH - 1964, a la cual, por las necesidades propias de un mercado con diversidad de productos, se agregan subíndices a los diversos tipos de acuerdo con la nomenclatura adoptada por la norma DIN 1045.

El Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, crea por resolución nº 455 del 22 de abril de 1963 el régimen del Certificado de Empleo para los aceros para hormigón armado, a emplearse en las obras que ejecuta.

Existía en ese momento una Comisión constituida a pedido de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos

Aires, integrada por profesionales de esa Dirección y del LEMIT, que estaba estudiando la posibilidad de emplear los aceros especiales en la construcción de puentes de hormigón armado, la que luego es ampliada y pasa a constituirse en la "Comisión para el Contralor de Aceros para Hormigón Armado", que depende del Ministerio, la cual estudia los problemas y decide al respecto.

En la actualidad el LEMIT es el único órgano en la Provincia de Buenos Aires con atribuciones para redactar y extender el Certificado de Empleo y establecer su vigencia. Otras atribuciones son las de inspeccionar los establecimientos de producción y solicitar información que considere necesaria a fin de comprobar la aptitud de la firma fabricante para elaborar el acero en escala industrial y controlar la calidad y uniformidad de características.

Las firmas productoras se comprometen a mantener una calidad estadísticamente uniforme del producto. A tal efecto deben realizar ensayos sistemáticos de control de calidad de cada tipo de acero y diámetro.

Los valores a registrar, que se deben anotar en un libro de hojas fijas, son los que corresponden a cada una de las características cualitativas y cuantitativas que figuran en el "Certificado de Empleo".

La vigencia del "Certificado de Empleo", nace con la aprobación primaria por parte del LEMIT del tipo de acero y caduca junto con la desaparición del producto en el mercado, si es que éste conserva a través del tiempo sus características. En base a comprobaciones reiteradas de la falta de uniformidad en la calidad del producto, el LEMIT puede dejar en suspenso el "Certificado de Empleo" por el término que considere conveniente.

CONCLUSIONES

Los aceros para hormigón elaborados en el país presentan una amplia variedad de características. De los aceros especi-

ficados en la tabla V podemos decir que en la actualidad, a excepción del tipo II, los otros tipos son productos de elaboración continua, en condiciones que se pueden considerar como similares a las de los países más desarrollados. El acero tipo II se ha dejado de elaborar ya que un aumento de sus características mecánicas conseguidas por deformación en frío, no iba acompañado de un aumento proporcional de la adherencia.

Los aceros tipo III o V de dureza natural han comenzado a ser elaborados por las principales acerías y su uso, limitado por el momento a las grandes obras, se intensificará con seguridad con el tiempo. Este tipo de aceros es indicado en especial para ser empleado en aquellas obras en las cuales, durante su vida útil, puede ocurrir un incendio o están sometidas a los efectos de altas temperaturas.

Los ensayos realizados rutinariamente en el LEMIT permiten asegurar que muchos de los productos que se elaboran en el país, presentan coeficientes de variación muy próximos al límite mínimo que especifica el PRAEH - 1964, que es el del 4 %.

Sin embargo, es necesario que en obra se realice un control eficiente de las características de los aceros antes de autorizar su empleo, como así también que los proyectistas y calculistas conozcan las posibilidades que brindan los distintos aceros existentes en el mercado.

Se debe continuar con los trabajos de investigación en forma conjunta entre diferentes organismos y especialmente establecer una estrecha relación entre laboratorios oficiales con los de las distintas acerías que existen en el país. Es necesario también tender a unificar criterios en lo referente a la tipificación de los aceros, como así también a las condiciones de empleo de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

PRAEH. - Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Año 1964.

- Especificaciones Técnicas. - Comisión para el Contralor de Aceros para Hormigón Armado. LEMIT (MOP), 1964.
- Leonhardt, F. - Hormigón Pretensado. Instituto Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid, 1967.
- Helfgot, A. - Acero laminado en barras de sección circular. LEMIT, Serie II, nº 26, 1948.
- Manuele, R. y Rozados, E. - Corrosión del Hierro en Estructuras de Hormigón. Revista de Ingeniería, nº 62, 1968.
- Cano Olazábal, W. y Traversa, L. - Problemas en Estructuras que afectan su estabilidad. LEMIT, Serie II, nº 331, 1976.
- CBLIA-CSTC. - Centre Belge-Luxembourgeois d'Information de l'Acier - Centre Scientifique et Technique de la Construction. Aciers pour béton armé, 1971.
- IRAM. - Normas 102, 103, 502, 528, 537, 671 y 1 596.
- ONORM. - Norma B-4200. Austria.
- NBN. - Normas 816 y 17 902. Bélgica.
- Callejas Carrete, J. - La Corrosión de las Armaduras de Hormigón. Publicación nº 55. Instituto del Cemento Portland, 1971.
- Helfgot, A. - Hormigón Armado con Aceros de Alta Resistencia, Estado Actual de Conocimientos. Revista Construcciones, nº 182, 1963.

Agradecimiento

Los autores agradecen la colaboración prestada por el personal de la Sección Estructuras, en especial a los Técnicos A. Di Maio y S. Mólica.