

## **PROPIEDADES BÁSICAS DE LAS BARRAS DE ACERO PARA REFUERZO DE HORMIGÓN Y SU ALTERNABILIDAD COMERCIAL**

### **BASIC PROPERTIES OF STEEL BARS FOR CONCRETE REINFORCEMENT AND THEIR COMMERCIAL ALTERNABILITY**

**Dr. Sc. Ing. Roberto Alejandro Aguilar Rivas**

Email: [raarivas@hotmail.com](mailto:raarivas@hotmail.com)

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería-Universidad de San Carlos de Guatemala,  
Ciudad Universitaria zona 12, 01012, Ciudad de Guatemala, Centro América.

Recibido 17/07/2023; Aceptado: 27/07/2023

**Resumen:** Se hace un análisis sobre investigaciones previas del autor, de casos reales de aplicación de las características de fabricación de barras de acero para construcción empleadas en el país, consultando a varias empresas dedicadas a la comercialización de dichas barras, así como a los usuarios de las mismas, y se constató que se emplean los conceptos de varillas “milimétricas” y “equivalentes”, que no cumplen con las normas específicas.

Se investigó sobre la fabricación actual de las barras de refuerzo construidas mediante el proceso de tratamiento térmico de temple con autorevenido superficial, verificando conformidad técnica con la calidad de los productos.

Se realiza un análisis de las propiedades básicas de los referidos aceros, proporcionando la información necesaria para el entendimiento de la aplicación de dichas propiedades, con la aplicación de las normas específicas, concluyendo en la necesidad del conocimiento de dichas propiedades y normativas por parte de los fabricantes y usuarios.

**Palabras clave :** aceros al carbono; tratamientos térmicos; temple; revenido; endurecido por trabajado.

**Abstract:** An analysis is made of the author's previous research of real cases of application of the manufacturing characteristics of steel bars for construction used in the country, consulting several companies dedicated to the commercialization of these bars, as well as the users of the same, and it was found that the concepts of "millimeter" and "equivalent" rods, that do not meet specific standards, are used.

The current manufacture of rebar built by the process of heat treatment of quenched with surface self-tempered was investigated, verifying technical conformity with the quality of the products.

An analysis of the basic properties of the mentioned steels is carried out, providing the necessary information for the understanding of the application of these properties, with the application of specific standards, concluding in the need of knowledge of these properties and regulations by manufacturers and users.

**Keywords:** Carbon Steels, heat treatment, hardening, tempering, work hardening effect.

## 1. Introducción

Dentro de los principales objetivos del “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas” de la Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM), de la FIUSAC, Guatemala, se desarrollan una serie de investigaciones científico-técnicas que involucran tanto las propiedades de los materiales metálicos como los procesos de transformación y uso de los mismos en aras del desarrollo nacional, tal es el caso de las aleaciones hierro-carbono y, específicamente, de los aceros laminados en caliente para uso como barras de refuerzo para hormigón armado.

En un artículo anterior, “Características básicas de las aleaciones hierro-carbono” (Aguilar R. 2020), se analizaron las características fisicoquímicas de dichas aleaciones, específicamente, aceros y fundiciones. En el presente artículo se hace un análisis de la aplicación práctica y de las características científico-tecnológicas de tales conceptos, y de su incidencia en el desarrollo de la industria de la construcción, refiriéndonos específicamente a los aceros de refuerzo para hormigón armado, o “barras o varillas de refuerzo para la construcción”.

Por otro lado, con base en lo anterior y mediante la investigación del mercado y la industria nacional, se hace referencia a las propiedades específicas de dichos materiales que se prestan para la manipulación comercial de los mismos.

## 2. Las barras de refuerzo para la construcción (Marco Teórico)

Las barras o varillas para refuerzo de hormigón se fabrican normalmente de acero al bajo carbono (C menor de 0.30%), y las varillas de alta resistencia se fabrican dentro de la gama de los aceros clasificados como de medio carbono dentro de las normas ASM, AISI y otras normas internacionales, dentro del rango comprendido entre los

aceros clasificados como A1006 hasta aproximadamente A1040, según las sollicitaciones mecánicas demandadas

Estas clasificaciones se interpretan dependiendo de las cantidades de carbono contenido en puntos porcentuales, esto es, la asignación A1025 significa, la A: ASM o AISI, el 10: aceros al carbono y, el 25 significa que su contenido de carbono es de  $0.25 \pm 0.02$  o  $0.03$ , por 100 en peso. En las respectivas tablas de composición química, como la que se muestra adelante, se indica las cantidades de elementos como manganeso y silicio que deben contener, así como los máximos permisibles de impurezas como azufre y fósforo.

Los elementos C, Mn, Si, y en algunos casos otros elementos considerados como microaleantes, definen las propiedades mecánicas del material. La estructura metalográfica está influenciada directamente por el contenido de carbono y también es responsable del comportamiento mecánico del mismo.

Dependiendo del destino y la utilización de los productos terminados, los principales elementos adicionales que pueden presentarse en conjunto o en forma individual, son cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, columbio, y zirconio.

Las estructuras metalográficas presentes en los aceros al carbono o microaleados, en el equilibrio, son las siguientes (Aguilar R. 2013):

La ferrita: es una estructura cúbica de cuerpo centrado, isomorfa con el hierro puro, responsable de la ductilidad del acero.

La cementita: es un compuesto intermetálico,  $Fe_3C$ , de estructura ortorrómbica, caracterizada por su alta dureza.

La perlita: está compuesta por láminas alternas de ferrita y cementita y es la responsable de la tenacidad del material.

La austenita: es una estructura cúbica de caras centradas con buena combinación de resistencia y ductilidad, se presenta a temperaturas superiores a los  $723^{\circ}C$ , bajo enfriamientos rápidos precipita en estructuras inestables denominadas bainita y martensita, esta última es una estructura sumamente dura, tetragonal de cuerpo centrado y tiene una incidencia de alta importancia en la dureza y resistencia de los aceros que la presentan. Estas características microestructurales inciden directamente en las propiedades mecánicas de los productos finales y pueden ser manipuladas debido al comportamiento alotrópico de los aceros.

Aguilar R. (2012, 2020), hace un análisis general de las características metalográficas de los aceros obtenidas experimentalmente, y del fenómeno de la acritud. Figs. 2 y 3.

El presente artículo se fundamenta en el análisis e investigación de casos reales de aplicación de las características referidas en la fabricación de las varillas para construcción.

## Tabla I. Aceros al Carbono

Carbon-Steel Compositions Applicable Only to Semifinished Products for Forging, to Hot-Rolled and Cold-Finished Bars, to Wire Rods, and to Seamless Tubing.<sup>(1),(2),(3)</sup>

Unified Numbering System Designation	Chemical Composition Limits (Ladle Analyses), Per Cent <sup>(4)</sup>				Corresponding SAE or AISI Number
	C	Mn	P, max.	S, max.	
G10050	0.06 max.	0.35 max.	0.040	0.040	1005
G10060	0.08 max.	0.25-0.40	0.040	0.050	1006
G10080	0.10 max.	0.30-0.50	0.040	0.050	1008
G10100	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050	1010
G10120	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050	1012
G10130	0.11-0.16	0.50-0.80	0.040	0.050	1013 <sup>(5)</sup>
G10150	0.13-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050	1015
G10160	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050	1016
G10170	0.15-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050	1017
G10180	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050	1018
G10190	0.15-0.20	0.70-1.00	0.040	0.050	1019
G10200	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050	1020
G10210	0.18-0.23	0.60-0.90	0.040	0.050	1021
G10220	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.050	1022
G10230	0.20-0.25	0.30-0.60	0.040	0.050	1023
G10250	0.22-0.28	0.30-0.60	0.040	0.050	1025
G10260	0.22-0.28	0.60-0.90	0.040	0.050	1026
G10290	0.25-0.31	0.60-0.90	0.040	0.050	1029
G10300	0.28-0.34	0.60-0.90	0.040	0.050	1030
G10350	0.32-0.38	0.60-0.90	0.040	0.050	1035
G10370	0.32-0.38	0.70-1.00	0.040	0.050	1037
G10380	0.35-0.42	0.60-0.90	0.040	0.050	1038
G10390	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.050	1039
G10400	0.37-0.44	0.60-0.90	0.040	0.050	1040
G10420	0.40-0.47	0.60-0.90	0.040	0.050	1042
G10430	0.40-0.47	0.70-1.00	0.040	0.050	1043
G10440	0.43-0.50	0.30-0.60	0.040	0.050	1044
G10450	0.43-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050	1045
G10460	0.43-0.50	0.70-1.00	0.040	0.050	1046
G10490	0.46-0.53	0.60-0.90	0.040	0.050	1049
G10500	0.48-0.55	0.60-0.90	0.040	0.050	1050
G10530	0.48-0.55	0.70-1.00	0.040	0.050	1053
G10590	0.50-0.60	0.60-0.90	0.040	0.050	1059
G10590	0.55-0.60	0.50-0.80	0.040	0.050	1059
G10800	0.55-0.65	0.60-0.90	0.040	0.050	1080
G10640	0.60-0.70	0.50-0.80	0.040	0.050	1064
G10850	0.60-0.70	0.60-0.90	0.040	0.050	1065
G10690	0.68-0.75	0.40-0.70	0.040	0.050	1069
G10700	0.65-0.75	0.60-0.90	0.040	0.050	1070
G10740	0.70-0.80	0.50-0.80	0.040	0.050	1074
G10750	0.70-0.80	0.40-0.70	0.040	0.050	1075
G10780	0.72-0.85	0.30-0.60	0.040	0.050	1078
G10800	0.75-0.88	0.60-0.90	0.040	0.050	1080
G10840	0.80-0.93	0.60-0.90	0.040	0.050	1084
G10850	0.80-0.93	0.70-1.00	0.040	0.050	1085
G10860	0.80-0.93	0.30-0.50	0.040	0.050	1086
G10900	0.85-0.98	0.60-0.90	0.040	0.050	1090
G10950	0.90-1.03	0.30-0.50	0.040	0.050	1095

Fuente: USS. UNITED STATES STEEL. Tenth edition. 1985.

### 3. Desarrollo del estudio

#### 3.1 Metodología

Para el análisis de los productos de acero empleados en la industria de la construcción, se realizó investigación primaria de casos específicos encontrados y desarrollados por el suscrito durante varios años de ejercicio profesional, como especialista en la fabricación y laminación de aceros al carbono. Asimismo, se hizo uso de manuscritos y publicaciones desarrolladas durante el montaje, mantenimiento y operación de plantas de acería y laminación de barras de refuerzo para hormigón. Posteriormente, se procedió al análisis de cada caso en particular, en función de los procesos de fabricación, señalando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Los casos analizados se identificaron con las características de los productos ofrecidos en el mercado nacional.

#### 3.2 Características básicas de los aceros

A continuación se presentan las estructuras cristalinas y metalográficas de los aceros, responsables de sus comportamientos mecánicos y alotrópicos.

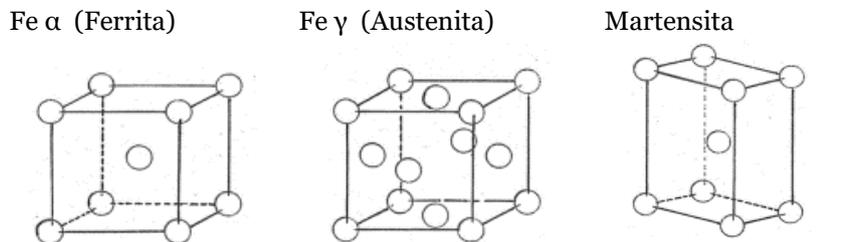


Fig. 1. Estructuras cristalinas de los aceros. Fuente: elaboración propia.

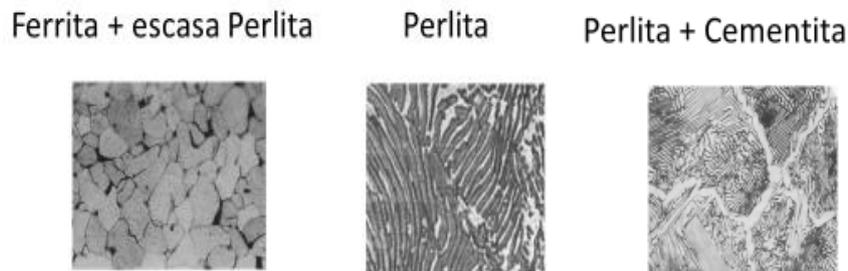


Fig. 2. Estructuras metalográficas de los aceros. Fuente: Aguilar R. 2012.



Figura 2a. Estructuras metalográficas de los aceros. Aguilar R. y López S., manuscritos 2019.

### 3.3 Los aceros para construcción

Bajo el concepto de aceros para construcción nos referimos únicamente a los aceros de refuerzo para concreto u hormigón armado, que en la actualidad pueden reunirse en dos amplias denominaciones: los aceros más comunes de uso tradicional agrupados bajo la norma ASTM A615, o sus equivalentes locales ICAITI y COGUANOR 3601, y los aceros de alta resistencia o sísmicos definidos por la norma ASTM A706 o NTG 36016.

En una publicación anterior (Aguilar R. 1999), el suscrito hizo un análisis exhaustivo en lo concerniente a las referidas normas, sus características y alcances, así como de su incumplimiento.

En esta sección se analizan las propiedades o características fisicoquímicas de los aceros, empleadas para tratar de sustituir algunas de las propiedades básicas exigidas por las normas citadas.

En la publicación referida se citan los aspectos empleados por los productores y comerciantes de las varillas de construcción, alterando las normativas sobre características físicas de las barras en aras de la economía para lograr mejores ganancias, esto es, creando los conceptos de **“aceros comerciales, equivalentes y milimétricos”**, proporcionando diámetros menores a los de norma, lo cual, como se observó, repercute en el menoscabo de la calidad de la construcción poniendo en peligro las vidas de los usuarios.

En el presente trabajo se investigaron las aplicaciones de las propiedades fisicoquímicas de los aceros, para introducir los conceptos de **“varilla equivalente, milimétrica o comercial”**.

Existen tres formas básicas para modificar el comportamiento mecánico de los aceros, la composición química, el endurecido por trabajado en frío y los tratamientos térmicos, las cuales se analizan a continuación:

### 3.4 La composición química. Definida por las cantidades de los elementos señalados

La tabla II muestra la variación de casos específicos de composición química de algunos aceros para construcción en función de las propiedades mecánicas a las que deben responder, como las demandas por la norma A615, que hace relación únicamente a las propiedades mecánicas, tomando en cuenta los aspectos de masa y geométricos de las barras. Por consiguiente, la heterogeneidad de las composiciones químicas en los diferentes productos de colada no menoscaba la calidad del acero, siempre y cuando se cumpla con las propiedades mecánicas definidas, quedando esto bajo la responsabilidad de los fabricantes.

Como puede observarse en la tabla II, en lo referente a la denominación del grado del acero según ASTM, el grado 60 representa la resistencia a la fluencia en miles de psi, o sea 60,000 psi. Y, en el caso del grado 40: 40,000 psi. Las propiedades físicas y de comportamiento mecánico están ampliamente señaladas por las respectivas normas, por ejemplo, la A615 y la A706. En conclusión, la composición química define las propiedades mecánicas naturales de los materiales.

Lamentablemente en las investigaciones realizadas se encontró que en materiales que cumplen con las normas en cuanto a resistencia por composición química, se emplea el concepto de **varillas milimétricas y/o comerciales** de menor diámetro que el correspondiente al de las normativas, por ejemplo diámetros de 8 mm por 3/8" y 11 mm por 1/2".

Existen fórmulas empíricas para calcular la resistencia mecánica de los aceros al carbono en función de la composición química. A continuación, una de ellas:

$$R = 25 + 0.666 C + 0.286 Si + 0.14 Mn$$

Si aplicamos esta fórmula al G60 3/8" de la tabla II, resulta:  $R = 25 + 0.666(28) + 0.286(15) + 0.14(110) = 63.33 \text{ Kg/mm}^2 = 90,063 \text{ psi}$ , lo cual coincide con los valores dados por la norma A615.

Los valores de la tabla II fueron calculados por el suscrito, durante el manejo de una empresa siderúrgica, con el empleo inicial de estas fórmulas y posteriormente afinados durante la práctica con resultados de un total de coladas no especificado, sufriendo modificaciones de origen práctico.

La norma A706 para aceros sísmicos incluye el concepto de carbono equivalente (C.E), el cual no puede excederse de 0.55 %, para garantizar la **soldabilidad** del acero. En la mayoría de los casos se emplea el Nb o el V, con bajo C, para garantizar esta propiedad. El suscrito empleó en la praxis el Ferro-columbio para lograr esta propiedad de C.E. ( al pie de la tabla II se lee \*Ceq. para nominar el carbono equivalente).

**La soldabilidad** se define como la propiedad de los metales de facilitar su unión o la reconstrucción de partes dañadas, por el proceso de soldadura, obteniéndose juntas sanas y totalmente homogéneas, sin menoscabo de las propiedades metalúrgicas originales.

La Norma A615 no exige la soldabilidad como la A706. El carbono equivalente según la norma A706 está dado por la siguiente fórmula:  
 $C.E. = \%C + \%Mn/6 + \%Cu/40 + \%Ni/20 + \%Cr/10 - \%Mo/50 - \%V/10$  (según A706).

**Tabla II. Composición química típica de algunos aceros para construcción.** Fuente: elaboración propia.

GRADO DEL ACERO	BARRAS PERFILES SOLERAS HEMBRAS ALAMBRON			C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Sn	P+S	*Ceq	Resi	
1	G60	BARRAS de 3/4" a 1"	INTERVALO	MIN	0.36	1.25	0.15											
			MAX	0.41	1.30	0.20	0.04	0.04	0.13	0.13	0.03	0.35	0.005	0.04	< 0.06	0.60	0.60	
2	G60	BARRAS 3/8" A 5/8"	INTERVALO	MIN	0.28	1.10	0.15											
			MAX	0.33	1.15	0.20	0.04	0.04	0.13	0.13	0.03	0.35	0.005	0.04	< 0.06	0.49	0.55	
3	G40 1017	BARRAS 3/8" A 1/2"	INTERVALO	MIN	0.15	0.30	0.15											
			MAX	0.20	0.65	0.20	0.04	0.04	0.13	0.13	0.03	0.40	0.005	0.04	< 0.06	0.23	0.24	
4	G40 1025	BARRAS ARRIBA 5/8"	INTERVALO	MIN	0.22	0.30	0.15											
			MAX	0.28	0.65	0.20	0.04	0.04	0.13	0.13	0.03	0.50	0.005	0.04	< 0.06	0.30	0.42	
5	1015	BARRAS MILIMÉTRICAS PERFILES	INTERVALO	MIN	0.13	0.30	0.15											
			MAX	0.18	0.65	0.20	0.04	0.04	0.15	0.15	0.05	0.35	0.006	0.04	< 0.06	0.21	0.32	
6	1012	HEMBRAS	INTERVALO	MIN	0.10	0.30	0.15											
			MAX	0.15	0.60	0.20	0.04	0.04	0.15	0.15	0.05	0.35	0.006	0.04	< 0.06	0.18	0.28	
7	1008	ALAMBRÓN	INTERVALO	MIN	0.10	0.10												
			MAX	0.10	0.6	0.15	0.04	0.04	0.15	0.15	0.05	0.35	0.006	0.04	< 0.06	0.23	0.60	

\*Ceq según ASTM A-706

### 3.5 La acritud o capacidad de endurecimiento por trabajado en frío.

En la curva de ensayos de tracción de la figura 3 se pueden reconocer tres zonas específicas: I, II, y III.

En la zona I, si aplicamos una tensión  $\sigma F$  la deformación que sufre la probeta es elástica. Esto significa que una vez eliminada la carga, la probeta vuelve a la dimensión inicial. El material permanece con sus propiedades mecánicas originales.

Si la probeta es sometida a una tensión dentro de la zona II, por ejemplo una tensión  $\sigma_{F1}$  la probeta sufre una deformación  $\varepsilon'_{1}$ . Al eliminar la carga parte de la deformación desaparece, pero queda una deformación permanente o deformación plástica  $\varepsilon_1$ . Esta deformación va acompañada por un endurecimiento conocido como **“acritud o endurecimiento por deformación”**.

Si se quiere volver a deformar plásticamente el material se necesita superar el valor de  $\sigma_{F1}$ . El material no deformado comenzaba a fluir a una tensión  $\sigma_F$ , el material deformado comienza a fluir a una tensión  $\sigma_{F1} > \sigma_F$ , en otras palabras, el material ha aumentado su resistencia a la deformación plástica. El  $\sigma_F$  aumenta con la deformación. Este fenómeno es al que hemos llamado endurecimiento por trabajado o acritud. El material deformado  $\varepsilon_2$  empezará a fluir a una tensión  $\sigma_{F2}$  y al suspender la carga quedará una nueva deformación permanente, acompañada de un nuevo límite de fluencia y así sucesivamente.

Se observa que el endurecimiento por trabajado, definido como el aumento de la resistencia para una deformación dada, corresponde en el límite a la tangente de la curva  $\sigma - \varepsilon$ .

La resistencia total del material aumenta, pero no en forma significativa con relación a su resistencia original.

El endurecido por trabajado, o acritud, es el fenómeno empleado mediante el proceso de Trefilación o estirado en frío para la fabricación de varillas, alambre de mayor dureza y clavos, entre otros.

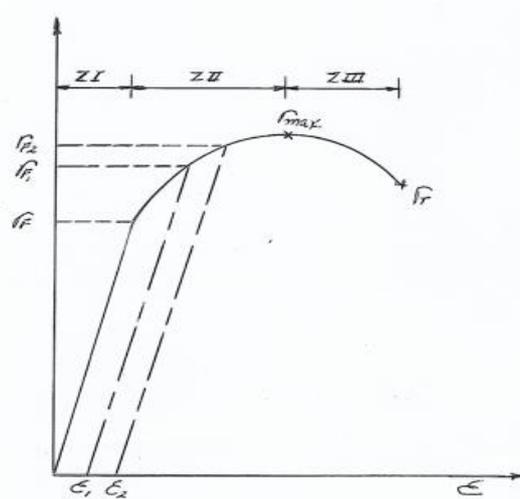


Fig. 3. Curva tensión-deformación y efecto de acritud.

Durante la investigación, se encontró que el proceso de endurecido por trabajado en frío es el aprovechado por fabricantes y comerciantes para ofrecer varillas de menor diámetro y mayor límite de fluencia en sustitución de las varillas de norma, como “varillas equivalentes”, por su menor diámetro o límite de fluencia equivalente, por ejemplo barras con diámetro de  $7/32$ ”, en sustitución de la varilla de  $1/4$ ” debido a su mayor resistencia, pero que no cumplen con los requisitos de ductilidad correspondientes.

### **3.6 Las propiedades alotrópicas. Tratamientos térmicos**

La alotropía o polimorfismo es la propiedad que presentan algunos metales o aleaciones, de cambiar su estructura cristalina en función de los cambios de temperatura a que se someten, dando lugar a nuevas estructuras, en algunos casos metaestables, en función de las velocidades de enfriamiento, pudiendo presentar mayor o menor resistencia de la normal, figuras 1 y 2, tal es el caso del temple del acero, que al ser enfriado rápidamente desde la zona de austenita precipita en estructuras de mayor dureza, bainíticas, martensíticas o combinadas.

Con relación a las barras de refuerzo para hormigón, en la actualidad se producen barras de acero endurecidas superficialmente permaneciendo con el núcleo dúctil, a partir de aceros al bajo carbono, conocidas como “barras templadas y auto revenidas”.

Por medio de métodos de endurecimiento superficial por tratamiento térmico, temple y autorevenido, se producen barras de alta resistencia que cumplen con los requisitos de los aceros sísmicos, pero que no deben reemplazar a los aceros de norma A706 que garantizan la soldabilidad, pues al ser soldados pueden recuperar, en las zonas afectadas por la soldadura, las propiedades naturales del acero que les dio origen. Esto no es más que el resultado de las propiedades alotrópicas señaladas anteriormente combinadas con el efecto de la resistencia resultante entre un núcleo dúctil y una superficie de alta resistencia.

Estas barras se fabrican a partir de aceros dúctiles a los que durante el proceso de laminado se les proporciona un temple con autorevenido superficial durante el enfriamiento, resultando en un comportamiento mecánico correspondiente al exigido por las normas.

En la figura 4, se muestra la posible estructura típica de un acero de bajo carbono laminado con aplicación del proceso de termoendurecido. En las micrografías puede notarse la representación del núcleo que sufre el proceso de normalizado en su paso por la cama de enfriamiento, quedando la microestructura en estado normalizado. Nótese la cantidad de ferrita, zonas blancas rodeando las lagunas de perlita, zonas oscuras.

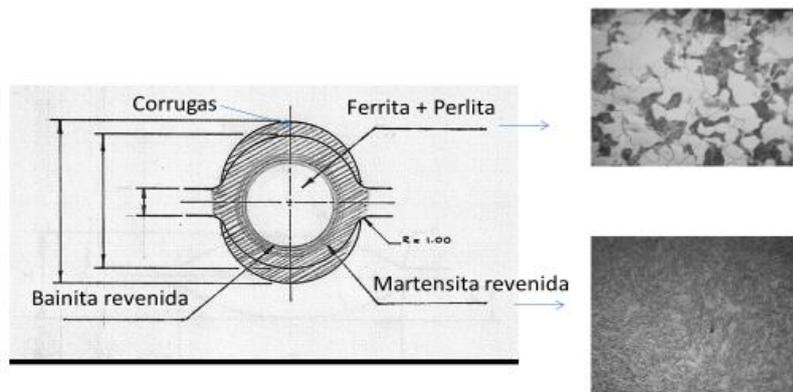


Fig. 4. Sección de una barra termoendurecida. Núcleo dúctil y periferia de alta dureza.

En la periferia representativa de la barra del mismo acero templado y revenido, se nota la estructura parcial de bainita y martensita revenidas.

Estas estructuras las presentan las barras templadas y autorrevenidas durante el proceso de laminación con termoendurecido, las cuales si se usan con el conocimiento previo de las propiedades fisicoquímicas del material proporcionan resultados totalmente satisfactorios.

#### 4. Conclusiones

En función de los análisis realizados, se llega a las siguientes conclusiones:

1. Las características de resistencia de los aceros pueden ser manipuladas por los fabricantes de acuerdo al conocimiento de las técnicas referidas: composición química, endurecimiento por trabajado en frío y tratamientos térmicos de los productos terminados.
2. El conocimiento de la procedencia de las barras para construcción, así como de los procesos de fabricación empleados para su obtención, es de suma importancia para los usuarios para poder garantizar que las propiedades de las mismas son las esperadas.
3. En el mercado local, tanto en las barras fabricadas localmente, como en las importadas, los conceptos de varillas milimétricas y de resistencia equivalente, analizados en los párrafos precedentes, son de uso común, por

lo que los usuarios, constructores e ingenieros deben tener pleno conocimiento de los materiales que están empleando.

4. Las barras alternativas comercializadas como “equivalentes” por su resistencia por endurecido por trabajado en frío o “milimétricas” no sustituyen en sus propiedades mecánicas a las barras construidas bajo normas específicas.
5. El empleo de las barras fabricadas bajo procesos de tratamientos térmicos debe realizarse bajo total conocimiento de los usuarios, para evitar la ejecución de procesos de soldadura u otras aplicaciones de calor que podrían propiciar el cambio de las propiedades mecánicas de conjunto.

## **5. Recomendaciones**

- A los fabricantes de las barras de refuerzo para construcción:  
Apegarse a las normas nacionales y/o internacionales para la fabricación de estos productos, en salvaguarda de la seguridad de los usuarios.
- A los usuarios:  
Exigir productos fabricados bajo normas específicas, en aras de la seguridad, tomando en cuenta las características sísmicas de la región.

## **Referencias**

Aguilar R. Características técnicas del acero para construcción en el nuevo milenio. CONSTRUEXPO '99. 1999. San Salvador, El Salvador.

Aguilar R. Introducción a la Metalurgia. “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, Escuela de Ingeniería Mecánica. FIUSAC. 2012. Guatemala.

Aguilar R. Características básicas de los Aceros y de las fundiciones de hierro. “Proyecto Piloto de Transferencia de Tecnología”, Escuela de Ingeniería Mecánica. FIUSAC. 2020. Guatemala.

Norma ASTM. A615/A615M-04.

Norma ASTM. A706./A706M-04.