

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



**ESTUDIO DE BARRAS DE CONSTRUCCIÓN TRATADAS  
TERMOMECAÑICAMENTE EN LAMINACIÓN EN CALIENTE**

**INFORME DE SUFICIENCIA**  
**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO METALURGISTA**

**PRESENTADO POR:**  
ADIN MARK ALARCÓN ROJAS

**ASESOR:**  
ING. MANUEL NATIVIDAD CRUZ TORRES

**LIMA – PERU**

**2013**

**DEDICATORIA**

A aquella persona que me enseñó a ser más tolerante, perseverante y a creer que la felicidad en este mundo se encuentra sólo en nuestras manos.

Gracias CGVMM.

## RESUMEN

Las barras de construcción son materiales de acero muy utilizados en la industria de la construcción, sostenimiento y soporte de estructuras, que siempre han estado en constante evolución y mejoramiento debido a las exigencias estructurales que las normas de fabricación y construcción civil van imponiendo en el mercado mundial.

Esta evolución de las barras de construcción impulsa a realizar un estudio a fondo en todo el proceso de producción al cual está sujeto este material, considerando los distintos parámetros que intervienen, desde la fabricación de la calidad del acero que lo compone, la laminación de las palanquillas salidas de la acería y las respectivas evaluaciones de control de calidad a los cuales son sometidos estos materiales con el fin cumplir con los requerimientos especificados por el cliente o por alguna norma.

Las barras de construcción con las que se trabajó en este estudio comparativo teórico experimental, son aquellas que han sido elaboradas siguiendo una determinada norma de fabricación equivalente a la norma técnica ASTM A615. Estas barras fueron separadas en 2 grupos para su estudio comparativo, el primero posee un tratamiento termomecánico denominado Tempcore al final de su proceso de laminación mientras que el segundo grupo no posee dicho tratamiento.

Los puntos de comparación tomados como referencia en este estudio fueron las evaluaciones de composición química, propiedades mecánicas, estructura metalográfica, resistencia a la oxidación y adherencia al concreto de ambos grupos de barras de construcción, obteniéndose conclusiones importantes en cada punto.

## **ABSTRACT**

Reinforcement rebars are materials made of steel with a high use in the construction industry, sustenance and structure support. These materials are in a constantly evolution and improvement due to the structural requirements established by the different kinds of manufacture and civil construction standards in the world market.

This constantly evolution of the reinforcement rebars has encouraged to carry out a complete study of the whole manufacture process of this material, considering the different sort of parameters that are involved from the grade of steel composition, through the process in the rolling mill of the billets, and ending with the corresponding quality control evaluations applied to these materials in order to fulfill with the requirements specified by the client or any manufactured standard.

The reinforcement rebars which were worked out in this theoretical experimental comparative study are those manufactured according to an international standard that is equivalent to american standard ASTM A615. These rebars were separated in two groups for carrying out the comparative study, the first group has a thermomechanical treatment called Tempcore applied at the end of its rolling mill process and the second group doesn't have this thermomechanical treatment.

The points of comparison taken as a reference in this study were chemistry composition, mechanical properties, metallographic structure, rust resistance and adhesion to concrete of both groups of reinforcement rebars. Important conclusions for each point con comparison were obtained after the analysis of the results.

## INDICE

	Pág.
Introducción	11
<b>CAPITULO I: MARCO TEÓRICO</b>	
1.1 Aceros Estructurales	13
1.1.1 Aplicaciones y ventajas de los aceros estructurales	13
1.1.2 Desventajas de los aceros estructurales	15
1.1.3 Clasificación de los aceros estructurales	15
1.1.4 Barras corrugadas para concreto reforzado	18
1.2 Proceso de tratamiento térmico TEMPCORE	21
1.3 Normas de fabricación y de ensayo	23
<b>CAPITULO II: EVALUACIONES REALIZADAS</b>	
2.1 Evaluación de la composición química	28
2.2 Evaluación de las propiedades mecánicas	32
2.3 Evaluación del tratamiento termomecánico	36
2.4 Evaluación de las estructuras metalográficas	38
<b>CAPITULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
3.1 Análisis comparativo de ensayos de tracción	43
3.2 Análisis comparativo de estructuras metalográficas	47
3.3 Análisis comparativo de resistencia a la oxidación superficial	51
3.4 Análisis comparativo de adherencia al concreto	55
3.5 Resistencia a altas temperaturas – Incendios	59
<b>CONCLUSIONES</b>	63
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	65
<b>ANEXOS</b>	66

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.1:</b> Formas de algunos perfiles estructurales	16
<b>Figura 1.2:</b> Instalación erigida con perfiles estructurales	16
<b>Figura 1.3:</b> Barras estructurales y barras corrugadas	17
<b>Figura 1.4:</b> Instalación erigiéndose con barras estructurales	17
<b>Figura 1.5:</b> Planchas estructurales	18
<b>Figura 1.6:</b> Configuración superficial de las barras de construcción	19
<b>Figura 1.7:</b> Diagrama Esfuerzo-deformación para el ensayo de tracción	20
<b>Figura 1.8:</b> Esquema de las dimensiones a medir en una barra de construcción	21
<b>Figura 1.9:</b> Esquema de las etapas de un proceso de tratamiento termomecánico	23
<b>Figura 1.10:</b> Esquema de un ensayo de tracción según norma ASTM A370	26
<b>Figura 2.1:</b> Sección transversal de las barras de construcción sin Tempcore	37
<b>Figura 2.2:</b> Sección transversal de las barras de construcción con Tempcore	38
<b>Figura 2.3:</b> Estructura metalográfica de las barras de construcción sin Tempcore	39
<b>Figura 2.4:</b> Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore (Muestra 9.5 TEMPCORE)	40
<b>Figura 2.5:</b> Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore (Muestra 12 TEMPCORE)	40
<b>Figura 2.6:</b> Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore (Muestra 16 TEMPCORE)	41

<b>Figura 2.7:</b> Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore (Muestra 25 TEMPCORE)	41
<b>Figura 3.1:</b> Sección transversal de las barras de construcción con y sin Tempcore	48
<b>Figura 3.2:</b> Microestructura de la muestra 5/8 NO TEMPCORE	48
<b>Figura 3.3:</b> Microestructura de la muestra 25 TEMPCORE	49
<b>Figura 3.4:</b> Barras de construcción oxidadas días del 1 al 5	52
<b>Figura 3.5:</b> Barras de construcción oxidadas días del 10 al 15	53
<b>Figura 3.6:</b> Barras de construcción oxidadas días del 20 al 25	54
<b>Figura 3.7:</b> Vista de perfil del esquema del ensayo Eccentric Pullout	57
<b>Figura 3.8:</b> Esquema de reacción de barras sometidas a alta temperatura	60
<b>Figura 3.9:</b> Estructura metalográfica de las barras expuestas a altas temperaturas y enfriadas súbitamente	62

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.1:</b> Límites permisibles en evaluación dimensional para aceros ASTM A615	24
<b>Tabla 1.2:</b> Mínimos permisibles en propiedades mecánicas para aceros ASTM A615	25
<b>Tabla 1.3:</b> Codificación de las muestras de barras de construcción evaluadas en estudio	27
<b>Tabla 2.1:</b> Resultados de composición química de las barras de construcción evaluadas	28
<b>Tabla 2.2:</b> Influencia de los elementos químicos en el acero	29
<b>Tabla 2.3:</b> Composición química de barras de construcción: 3/8 NO TEMPCORE vs 9.5 TEMPCORE	30
<b>Tabla 2.4:</b> Composición química de barras de construcción: 1/2 NO TEMPCORE vs 12 TEMPCORE	30
<b>Tabla 2.5:</b> Composición química de barras de construcción: 5/8 NO TEMPCORE vs 16 TEMPCORE	31
<b>Tabla 2.6:</b> Composición química de barras de construcción: 1 NO TEMPCORE vs 25 TEMPCORE	31
<b>Tabla 2.7:</b> Resultados de Propiedades mecánicas de las barras evaluadas (Cuadro de resumen)	32
<b>Tabla 2.8:</b> Resultados de Límite de fluencia en barras de construcción sin Tempcore	33
<b>Tabla 2.9:</b> Resultados de Límite de fluencia en barras de construcción con Tempcore	33
<b>Tabla 2.10:</b> Resultados de Resistencia a la tracción en barras de construcción sin Tempcore	34
<b>Tabla 2.11:</b> Resultados de Resistencia a la tracción en barras de construcción con Tempcore	34



<b>Tabla 2.12:</b> Resultados de Alargamiento en barras de construcción sin Tempcore	35
<b>Tabla 2.13:</b> Resultados de Alargamiento en barras de construcción con Tempcore	35
<b>Tabla 3.1:</b> Cuadro comparativo de resultados de Límite de Fluencia	43
<b>Tabla 3.2:</b> Cuadro comparativo de resultados de Resistencia de la Tracción	45
<b>Tabla 3.3:</b> Cuadro comparativo de resultados de Alargamiento	46
<b>Tabla 3.4:</b> Resultados de Adherencia para las barras de construcción sin Tempcore: Muestras con código 1/2 NO TEMPCORE	57
<b>Tabla 3.5:</b> Resultados de Adherencia para las barras de construcción con Tempcore: Muestras con código 12 TEMPCORE	58
<b>Tabla 3.6:</b> Cuadro de seguimiento de temperaturas a barras de construcción	61

**NOMENGLATURA**

<b>UNIDAD</b>	<b>SIMBOLO</b>
Metro	m
Centímetro	cm
Milímetro	mm
Micras	$\mu\text{m}$
Pies	ft
Tonelada métrica	T
Tonelada corta	TC
Kilogramo	kg
Gramo	g
Día	d
Hora	h
Minutos	min
Segundo	s
Litro	L
Kilowatt	Kw
Porcentaje	%
Pascal	Pa
Pounds per square inch	psi
Kilogramo sobre milímetro cuadrado	$\text{Kg}/\text{mm}^2$

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria de la construcción y el sostenimiento de estructuras, las barras de acero de construcción juegan un rol muy importante como componentes estructurales de toda obra civil de ingeniería, estos materiales han venido evolucionando a lo largo del tiempo de acuerdo a las exigencias y requerimientos que se reflejan en las normas técnicas de fabricación o en los acuerdos establecidos entre los mismos clientes que usan estas barras y el proveedor que los fabrica. Actualmente la fabricación de las barras de construcción debe seguir y cumplir con todo lo especificado en una determinada norma de fabricación o, en su defecto, las especificaciones acordadas entre cliente y fabricante que podrían ser equivalentes a normas ya establecidas. De este modo, se logra definir las condiciones de fabricación, las etapas de inspección, las características más relevantes a controlar y hasta el modo de suministrar y comercializar las barras de construcción. Una vez cumplido todo esto, se indica que el material cuenta con la calidad requerida para su desempeño solicitado.

En el Perú, las barras de acero de construcción están regidas bajo la Norma NTP 341.031 Grado ARN420 – 2008 y que tiene por equivalente a la Norma internacional ASTM A615/A615M Grado 60 – 2012. Esta última norma es la que servirá como referencia para el presente estudio comparativo de barras de construcción que se detallará más adelante. Las barras de construcción que se comercializan en Perú cumplen con especificaciones bastante similares a las definidas en la Norma Técnica Peruana, que pueden llegar al mercado a través de un abastecimiento tanto por la producción nacional, así como también de las importaciones que se realizan de otras plantas siderúrgicas. Es así que siempre se encontrarán diferencias entre las barras de construcción de los distintos proveedores, diferencias tales como su composición química, propiedades de resistencia mecánica y hasta en sus respectivas estructuras metalográficas.

Son precisamente estas diferencias las que han motivado a llevar a cabo el presente trabajo. Ya que al contar con una considerable variedad de barras de construcción que han sido fabricadas aquí en el Perú y algunas otras en países extranjeros, es claro concluir que no todas estas barras brindarán el mismo desempeño o comportamiento frente a determinadas condiciones o en las mismas estructuras de ingeniería en las cuales serán usadas. Así mismo, los últimos desastres naturales y siniestros han puesto de manifiesto el rol muy importante que tienen estos aceros estructurales, lo cual refuerza la idea de realizar una evaluación comparativa de las características y propiedades de estas barras de construcción.

El presente trabajo consiste en una evaluación y análisis comparativo completo de las características y propiedades más importantes que tienen dos grupos bastante diferenciados de barras de construcción. El primer grupo viene a ser aquel conformado por las barras de construcción que luego de su laminación en caliente han sido sometidas a un tratamiento termomecánico y el segundo grupo está conformado por aquellas barras de construcción que no han sido sometidas a este tratamiento. Las características a comparar serán aquellas que rigen su composición química, su estructura metalográfica, sus propiedades de resistencia mecánica, resistencia a la oxidación superficial y adherencia al concreto.

## **CAPITULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Aceros estructurales**

Los aceros estructurales son aquellos materiales que se obtienen de combinar el hierro (98% mínimo), el carbono (hasta 2%) y pequeñas porciones de otros elementos tales como el manganeso, silicio, fósforo, cromo y azufre con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas que servirán para su desempeño en la construcción de estructuras tales como edificios industriales y comerciales, puentes, barcos y en partes de máquinas tales como ejes, muelles, engranajes y palancas. Los aceros estructurales se producen en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso. Estos aceros son relativamente baratos de fabricar y son los materiales más fuertes y versátiles para la industria de la construcción.

##### **1.1.1 Aplicaciones y ventajas de los aceros estructurales**

Los aceros estructurales son inmensamente utilizados en la industria de la construcción que dentro de sus aplicaciones y ventajas se puede mencionar que estos materiales son de gran resistencia y que se fabrican a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza por lo que sus costos de producción son relativamente más bajos en comparación con otros materiales que podrían ser utilizados para los mismos propósitos estructurales. A continuación se menciona una serie de aspectos positivos dentro de las aplicaciones más comunes que las barras de construcción poseen.

Las edificaciones hechas con acero estructural se pueden erigir en obra rápidamente y a bajo costo. El acero es altamente fuerte y resistente; así mismo, debido a la homogeneidad de su estructura, su calidad y propiedades mecánicas son previsibles, coherentes y fiables. El acero es duradero, siempre que se tomen las medidas apropiadas de protección contra la corrosión, dependiendo del entorno al que este material está expuesto.

Las estructuras de acero pueden ser diseñados para ser altamente eficientes, con la capacidad de incorporar nuevos servicios y nuevas funcionalidades dentro de ellos.

Las edificaciones con acero habilitado o dimensionado poseen una gran flexibilidad en su uso y presentación, sobre todo en los diseños internos de las estructuras ya que se pueden adaptar, ampliar, modificar y hasta reemplazar revestimientos de una manera muy fácil.

El acero estructural puede ser utilizado extensamente con otros materiales comúnmente empleados, tales como hormigón, madera y vidrio. El concreto no serviría para propósitos estructurales sin las barras de construcción en su interior. Los edificios y estructuras de acero, en combinación con el concreto, son ambientalmente amigables y eficientes en la administración de su energía interna ya que sus estructuras son fáciles de enfriar y calentar.

Las barras de construcción habilitadas o dimensionadas para obra pueden fabricarse tanto en la misma obra así como en la misma fábrica, por ejemplo, las estructuras y edificaciones modulares de acero pueden ser producidas en la misma fábrica, transportadas al sitio y se ensambladas allí muy rápidamente.

Las edificaciones con acero habilitado no solo son resistentes al fuego y los terremotos, sino que también son fáciles y baratos de mantener. El acero habilitado o dimensionado para obra fabricado en la misma siderúrgica tiene inherentemente una mayor calidad y un menor número de defectos superficiales y dimensionales.

El acero es altamente reciclable y muy fácil de reciclar. Las estructuras de acero se

pueden reutilizar al final del tiempo de vida de las edificaciones; así mismo, Las partes y componentes de acero de una determinada estructura modular son muy fáciles de desmontar y reusar. Las estructuras y edificaciones hechas a base de acero proporcionan bajos costos durante el ciclo de vida de los mismos.

Debido a todas estas ventajas que tiene el acero estructural en la industria de la construcción, estos generan una importante contribución al desarrollo sostenible en esta mencionada industria que es una de las más importantes a nivel mundial.

### **1.1.2 Desventajas de los aceros estructurales**

Dentro de las principales desventajas que los aceros estructurales pueden tener, sobresale la elevada capacidad que estos materiales tienen para oxidarse cada vez que se encuentran expuestos al aire, humedad o al agua, agravándose esta situación cuando los agentes oxidantes se encuentran en simultáneo o en presencia de otros aún más agresivos como ácidos, líquidos corrosivos o aguas salinas.

Otra desventaja del acero es que es un alto trasmisor de corriente y deben considerarse las medidas de protección necesarias durante su uso en las edificaciones de tal modo que no perjudique a la seguridad de la personas.

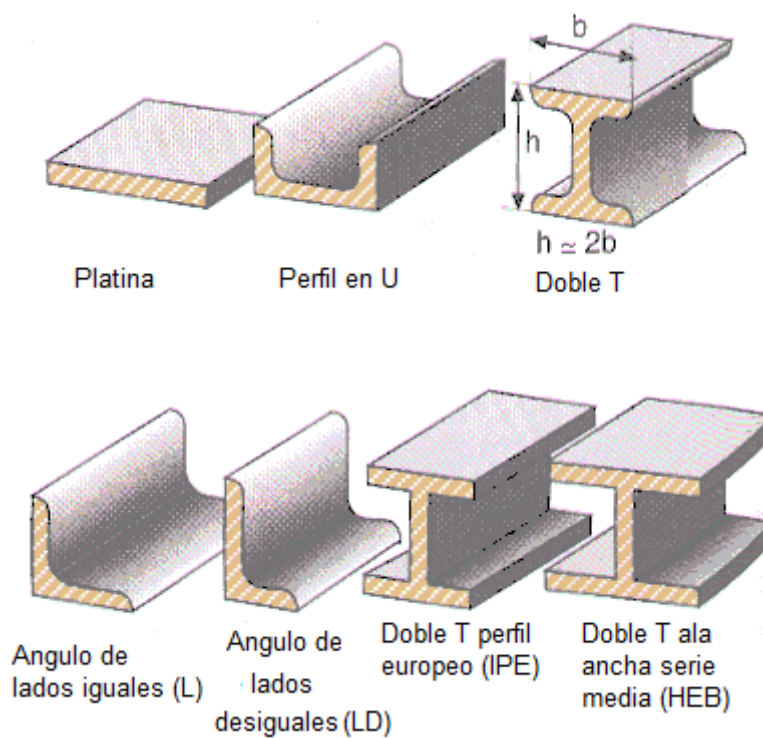
Finalmente el acero, cuando es expuesto a altas temperaturas durante tiempos muy prolongados puede debilitarse debido a que se comprometen las propiedades mecánicas brindadas por una estructura metalográfica específica que cambia a medida que la temperatura sea más elevada y prolongada.

### **1.1.3 Clasificación de los aceros estructurales**

Los Aceros estructurales pueden clasificarse, según su forma, del siguiente modo:

**Perfiles estructurales.-** Son aquellas piezas de aceros laminadas en caliente, cuya sección transversal puede ser de forma de I, H, T, canal, zeta o ángulo. Estos materiales estructurales son muy utilizados de manera independiente del concreto en

edificios e instalaciones industriales y deportivas y cualquier otra estructura que requiera alguna forma específica ya que son muy fáciles de soldar.



*Figura 1.1 Formas de algunos perfiles estructurales*



*Figura 1.2 Instalación erigida con perfiles estructurales*



**Barras estructurales.-** Las barras de aceros estructural son piezas de acero laminadas en caliente, cuya sección transversal puede ser circular, hexagonal o cuadrada en todos los tamaños. Estos materiales son muy utilizados juntamente con el concreto con el fin de reforzar internamente la estructura y convertirlo en un solo componente estructural. En esta clasificación es donde se encuentran las barras corrugadas mundialmente usadas en la industria de la construcción.



*Figura 1.3 Barras estructurales y barras corrugadas.*



*Figura 1.4 Instalación erigiéndose con barras estructurales*

**Planchas estructurales.-** Las planchas de acero estructural son productos planos de acero laminado en caliente con anchos de 203 mm y 219 mm, y espesores mayores de 5,8 mm y mayores de 4,5 mm, respectivamente.



*Figura 1.5 Planchas estructurales*

Dentro de toda esta clasificación, el acero para hormigón es quizá el más usado de todos los tipos, estos aceros pueden ser tanto lisos como corrugados y su fabricación se da en varios diámetros que oscilan entre 6mm y 40mm. Las barras corrugadas son las de mayor uso en la industria de la construcción y son precisamente estas las que serán estudiadas en el presente trabajo. Este estudio consiste en identificar las principales diferencias entre aquellas barras corrugadas que fueron sometidas a un tratamiento térmico específico versus aquellas que no, luego de haber sido laminadas en caliente. A continuación se hace una descripción detallada de estos materiales que serán puestos a estudio en el siguiente capítulo.

#### **1.1.4 Barras corrugadas para concreto reforzado**

Las barras corrugadas para concreto reforzado o simplemente denominadas barras de construcción son elementos estructurales de acero de medio carbono (De 0.30 a 0.45% C) que se fabrican mediante laminación en caliente de las palanquillas de acero que pasan por un tren o varios trenes de laminación.

Estas barras son obtenidas por medio del proceso de laminación en caliente que consiste en hacer pasar las palanquillas de acero a través de un conjunto de cajas colocadas una detrás de otra y provistas de rodillos laminadores con el propósito de ejercer una reducción en su sección de una manera continua y controlada. Esta

reducción llega a su fin cuando se alcanza el área de la sección transversal deseada para una barra de construcción que se desea fabricar en un diámetro específico.

Posteriormente, estas barras pueden o no ser sometidas a un tratamiento térmico después del proceso de laminación. Esto dependerá mucho de la composición química que poseen las barras de construcción que se están fabricando ya que existe una relación muy íntima entre las propiedades de resistencia mecánica y la composición química que tiene cada barra de construcción. Los tratamientos térmicos posteriores a la laminación en caliente ayudan a subir y mejorar las propiedades de resistencia mecánica en caso se sepa que una determinada composición química que se utilizó no sea suficiente para cumplir con el mínimo requerido de estas propiedades según norma con la que está fabricando.

Como producto final, se obtiene una barra de construcción cuya configuración final se caracteriza por las corrugas transversales a lo largo de la barra que terminan en un delgado resalte longitudinal por cada uno de sus lados. La configuración de una barra de construcción puede tener varios diseños; sin embargo, el diseño más común consiste en tener dos lados de resaltes transversales con un cierto ángulo de inclinación y dos delgados resaltes longitudinales ubicados en caras opuestas, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

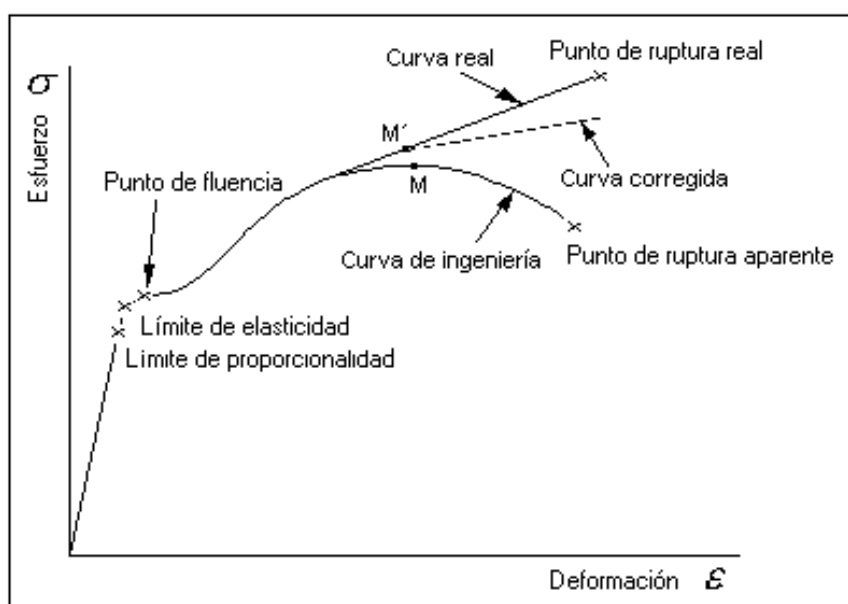


**Figura 1.6 Configuración superficial de las barras de construcción**

Tanto las propiedades mecánicas como la configuración geométrica de las barras de construcción se encuentran normadas, es decir, existe una serie de especificaciones técnicas para el material donde se indican unos rangos de aceptación que deben cumplirse al momento de evaluar cada una de las características mediante los ensayos especificados también en la norma. Las siguientes características son las que se deben controlar y monitorear:

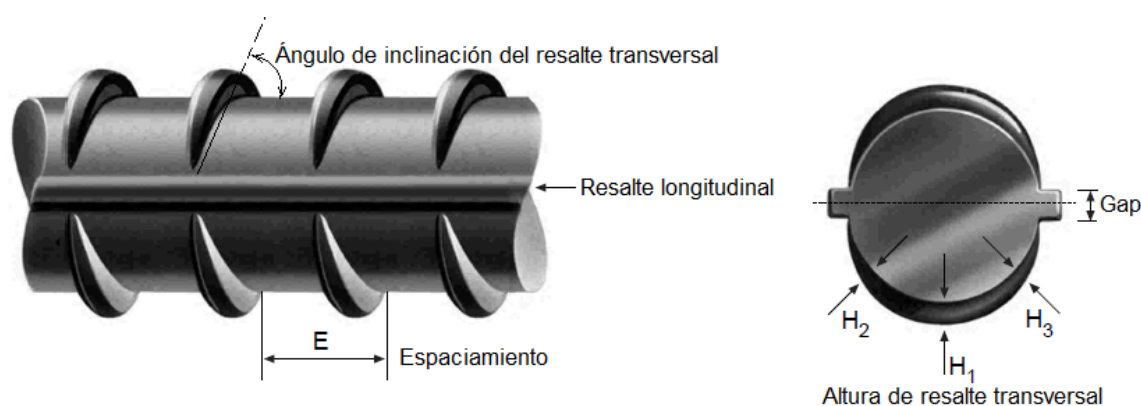
El peso métrico es lo primero en ser medido ya que es uno de las principales parámetros a monitorear para el control de proceso de fabricación, se evalúa sacando una pequeña muestra de las barras que salen a la mesa de enfriamiento y colocándose en una balanza, este peso debe estar por lo general en un rango según lo establecido por la norma con la que está trabajando.

Dentro de la evaluación de propiedades de resistencia mecánica se encuentran las características que resultan de un ensayo de tracción tales como el esfuerzo de fluencia, esfuerzo de tracción ó resistencia a la tracción, alargamiento y estricción. Todos estos valores se miden en el ensayo de tracción el cual se encuentra esquematizado en el diagrama de Esfuerzo-Deformación (*Ver figura 1.7*). Este ensayo es realizado de manera obligatoria a las barras de construcción que estén regidas bajo cualquier norma y la manera cómo se ensaya sólo se diferencian en las frecuencia de muestreo.



**Figura 1.7 Diagrama Esfuerzo-deformación para el ensayo de tracción**

Con respecto a la evaluación de dimensiones, se encuentran las características de la configuración de una barra de construcción características tales como el resalte longitudinal, el resalte transversal y su ángulo de inclinación, el espaciamiento, el diámetro y la longitud de la barra como producto final. Todo esto se aprecia en el siguiente esquema.



**Figura 1.8** Esquema de las dimensiones a medir en una barra de construcción

Los rangos de aceptación de cada una de las características que deben ser evaluadas se encuentran especificados en la norma con la que se está fabricando una determinada barra de construcción. Estas barras deben cumplir con todas las especificaciones colocadas en la norma en su totalidad, habiendo la posibilidad de recurrir a técnicas metalúrgicas válidas con el fin de llegar a cumplir los mínimos establecidos en la Norma con la que se está fabricando, una de estas técnicas es el proceso TEMPCORE que se describe a continuación.

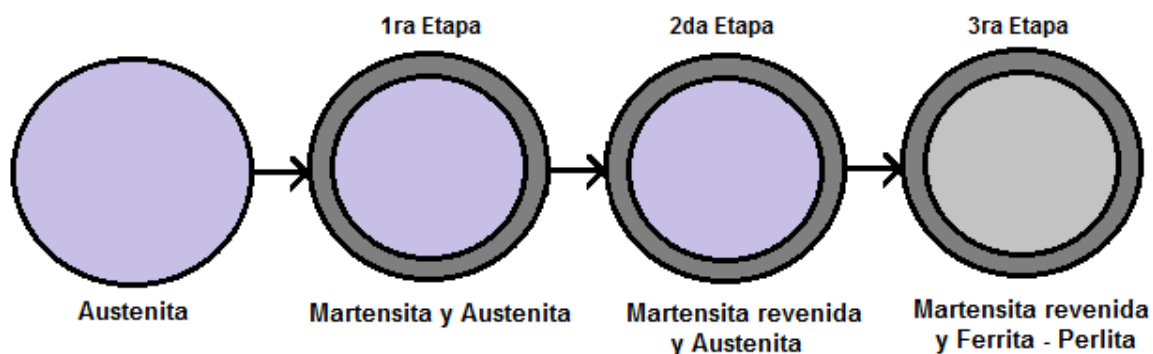
## 1.2 Proceso de tratamiento térmico TEMPCORE

El principal proceso de tratamiento térmico que se ha aplicado a las barras de construcción durante los últimos 40 años ha sido el de TEMPCORE, que es un proceso que fue desarrollado en las siderúrgicas de Europa por los años 70 y que consiste en someter el acero que sale de la laminación en caliente a una línea de

enfriamiento controlado que cuenta con toda la infraestructura necesaria para poder llevar a cabo este tratamiento térmico de simple desarrollo que puede dividirse en tres etapas principales:

- La primera etapa consiste en la recepción de las barras de construcción en una cámara de enfriamiento luego de haber salido del canal acabador, es en esta cámara donde tiene que hacerse de manera rápida y enérgica el enfriado. Esto se logra usando agua a alta presión el cual se pone en contacto con toda la superficie de las barras fabricadas, debido a este cambio brusco de temperatura, se comienza a endurecer la capa superficial convirtiéndose así a Martensita.
- En la segunda etapa, luego del enfriamiento con agua, la capa exterior que fue endurecida y cuya microestructura la compone principalmente la Martensita, queda expuesta a un revenido producto del calor residual del núcleo de la misma barra lo cual se le conoce como un autorevenido. De este modo se logra obtener la martensita revenida.
- La tercera etapa de este proceso tiene lugar en la mesa de enfriamiento que es donde las barras de construcción se enfrían ahora lentamente a temperatura ambiente. En esta etapa se da el proceso de conversión de la austenita residual, que aún se encuentra en el núcleo, a las fases Ferrita-Perlita que son las que se forman en un enfriamiento lento para estos aceros.

En la siguiente figura se puede apreciar un esquema de la microestructura del acero en cada una de las 3 etapas anteriormente mencionadas.



*Figura 1.9 Esquema de las etapas de un proceso de tratamiento termomecánico*

El tratamiento termomecánico seguido de un autorevenido tiene por objetivo obtener una mayor ductilidad incrementando la zona plástica del material, ahorrar en elementos aleantes para el acero, obtener mejores resistencias a cargas en toda la estructura y mejorar la resistencia a la corrosión.

### 1.3 Normas de fabricación y de ensayos

Las normas de fabricación son aquellos estándares definidos a nivel nacional o internacional que permite asegurar la fabricación de un determinado producto, cumpliendo con todos los requerimientos y exigencias adecuadas al uso que se le pretende dar y conforme a las condiciones impuestas para su manufactura y comercialización. Estas normas de fabricación contienen una serie de especificaciones técnicas de las características que debe tener un producto, que deben ser interpretadas correctamente con el fin de garantizar la calidad del material que se va a fabricar. La Norma norteamericana ASTM A615 es un ejemplo de norma de fabricación.

Por otro lado, las normas de ensayo son aquellos estándares definidos a nivel nacional o internacional que establecen un procedimiento detallado para la preparación, evaluación y ensayo de una determinada muestra para un determinado fin. Estas normas nos permiten obtener los resultados que serán medidos y contrastados con los rangos de aceptación y rechazo que se encuentran definidos en las normas de fabricación para una determinada característica. La Norma norteamericana ASTM A370 es una de las principales normas de ensayo y una de las más consultadas para las propiedades mecánicas de los aceros.

Para el presente estudio se ha considerado como referencia la norma de fabricación para barras de construcción ASTM A615 en el Grado 60. Así mismo, la principal norma de ensayo tomada en cuenta para la evaluación de las barras de construcción es la ASTM A370. El alcance de estas se describe a continuación:

**Norma ASTM A615.-** Estándar norteamericano que especifica la fabricación, muestreo y evaluación de las barras de construcción de acero al carbono con una configuración lisa o corrugada, en barras o en rollos. Establece también los criterios de aceptación y rechazo de las características que tienen que evaluarse a las muestras sacadas de producción por colada, estas características son: Peso métrico, propiedades mecánicas dividido en 4 distintos grados de resistencia, composición química restringida para el fósforo y 5 dimensiones en sistema inglés para el producto terminado (ángulo de inclinación, altura de resalte, espaciamiento, ancho de gap y flecha).

A continuación se presentan las tablas donde se especifican los límites permisibles para la evaluación de las características dimensionales y propiedades de resistencia mecánica de los aceros ASTM A615.

**Tabla 1.1. Límites permisibles en evaluación dimensional para aceros ASTM A615**

DIAMETRO DE BARRA		ANGULO DE INCLINACIÓN (°-min)	DISTANCIA ENTRE RESALTES - c (mm - máx.)	ALTURA DE RESALTES-h (mm-min.)	ANCHO DE RESALTE LONGITUDINAL-e (mm - máx.)	PESO MÉTRICO - PM (kg/m - min.)	Flecha (mm/m)
Pulg	mm						máx.
-	6.00	45 °	4.2	0.24	2.3	0.207	40
-	8.00		5.6	0.32	3.0	0.371	
3/8			6.7	0.38	3.6	0.526	8
-	12.00		8.4	0.48	4.6	0.835	
1/2			8.9	0.51	4.9	0.934	
5/8			11.1	0.71	6.1	1.459	
3/4			13.3	0.97	7.3	2.101	
7/8			15.5	1.12	8.5	2.859	
1			17.8	1.27	9.7	3.735	
1.1/8			20.1	1.42	10.9	4.756	
1.1/4			22.6	1.63	12.4	6.020	
1.3/8			25.1	1.80	13.7	7.433	



**Tabla 1.2. Mínimos permisibles en propiedades mecánicas para aceros ASTM A615 (\*)**

	Grado 40 [280]	Grado 60 [420]	Grado 75 [520]	Grado 80 [550]
Resistencia a tracción, mín., psi [MPa]	60 000 [420]	90 000 [620]	100 000 [690]	150 000 [725]
Límite de fluencia, mín., psi [MPa]	40 000 [280]	60 000 [420]	75 000 [520]	80 000 [550]
Alargamiento en 8 in. [200 mm], mín., %:				
Designación de Barra N°				
3/8"	11	9	7	7
1/2" 5/8"	12	9	7	7
3/4"	12	9	7	7
7/8" 1"	...	8	7	7
1.1/8" 1.1/4" 1.3/8"	...	7	6	6
1.1/2" 1.5/8"	...	7	6	6

(\*) El grado de acero que se considera en el presente estudio es el grado 60.

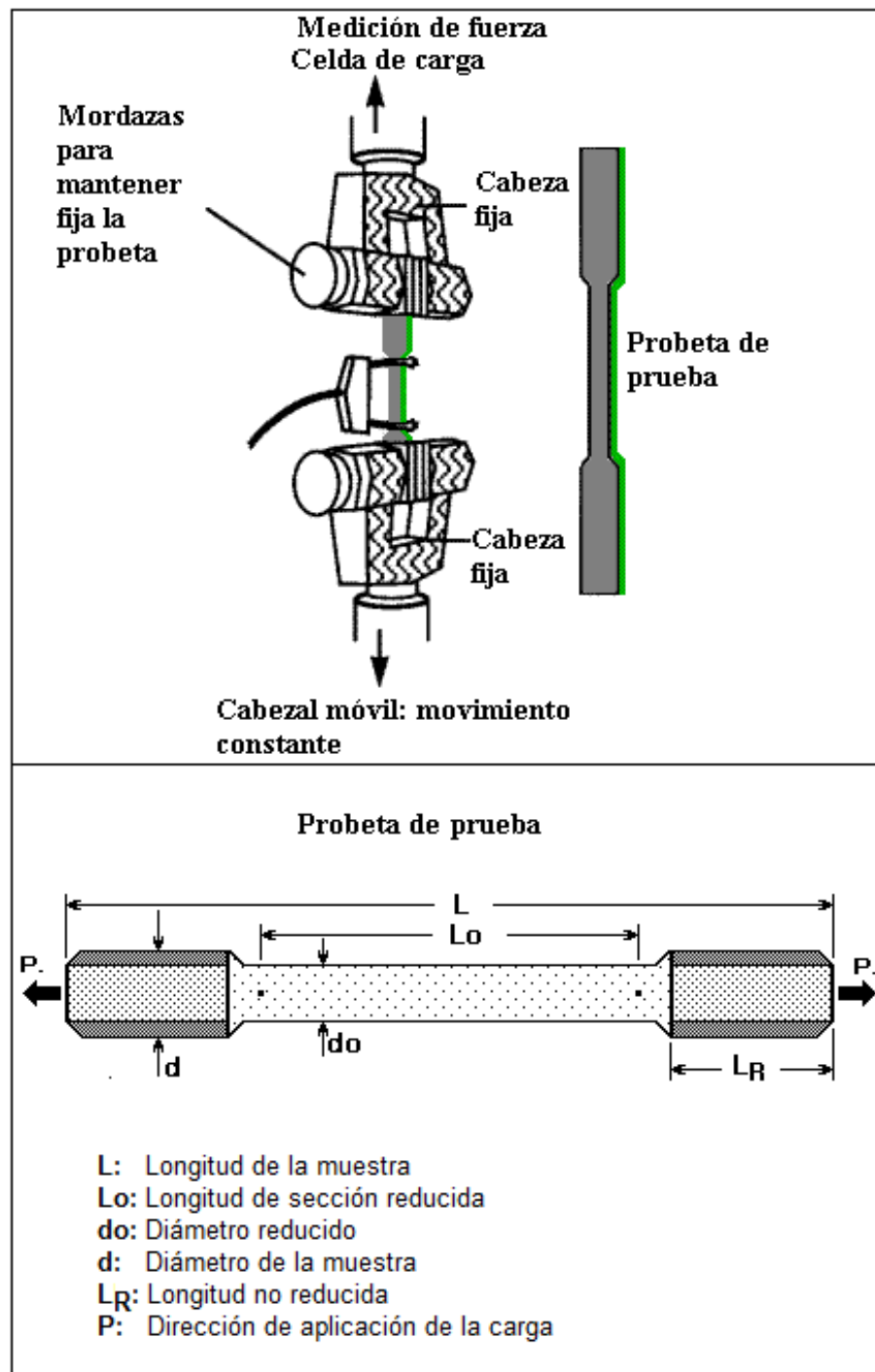
**Norma ASTM A370.-** Estándar norteamericano donde se encuentra definida toda la terminología y los métodos para evaluar las propiedades mecánicas a los distintos tipos de aceros. En esta norma están descritos una variedad de ensayos mecánicos los cuales son usados para determinar las propiedades según las normas especificadas para el producto final. Así mismo, también se considera en esta norma algunos parámetros de control con el fin de asegurar que las evaluaciones y ensayos mecánicos proporcionen resultados comparables y reproducibles.

Las propiedades mecánicas que se describen en esta norma son las siguientes:

- Procedimiento para el ensayo de tracción
- Procedimiento para el ensayo de doblado
- Procedimiento para el ensayo de dureza Brinell, Rockwell y Portable.
- Procedimiento para el ensayo de impacto.

Para el caso de las barras de construcción, los dos primeros ensayos son los más importantes y son precisamente los resultados que se obtienen del ensayo de tracción los determinantes para la aceptación o rechazo de toda la colada del producto final.

El ensayo más representativo por colada viene a ser el ensayo de tracción que define las propiedades de resistencia de las muestras fabricadas y obtenidas a partir de una misma colada de acero realizada en la acería.



*Figura 1.10 Esquema de un ensayo de tracción según norma ASTM A370*

En el siguiente capítulo, se mostrarán los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a las muestras de barras de construcción seleccionadas para este estudio comparativo. El criterio de selección fue el de agrupar 4 de los diámetros más comerciales de barras de construcción que hayan sido fabricadas aplicando el tratamiento termomecánico Tempcore (9.5mm, 12mm, 16mm y 25mm) y otros 4 diámetros de barras de construcción que fueron fabricadas sin aplicarse este mencionado tratamiento termomecánico (3/8", 1/2", 5/8" y 1").

A continuación se presenta una tabla de ambos grupos y la respectiva codificación de las muestras que se usaron para todas las evaluaciones llevadas a cabo.

*Tabla 1.3. Codificación de las muestras de barras de construcción evaluadas en estudio*

<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>GRUPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE MUESTRA</b>
3/8 NO TEMPCORE	3/8"	Barras de construcción que No poseen TEMPCORE	Barra de construcción de 2m
1/2 NO TEMPCORE	1/2"		Barra de construcción de 2m
5/8 NO TEMPCORE	5/8"		Barra de construcción de 2m
1 NO TEMPCORE	1"		Barra de construcción de 2m
9.5 TEMPCORE	9.5mm	Barras de construcción que SI poseen TEMPCORE	Barra de construcción de 2m
12 TEMPCORE	12mm		Barra de construcción de 2m
16 TEMPCORE	16mm		Barra de construcción de 2m
25 TEMPCORE	25mm		Barra de construcción de 2m

Estas muestras tienen por codificación el número de su diámetro acompañado del proceso termomecánico presente o no en la muestra. Habiéndose definido un total de 8 muestras diferenciadas en 2 grupos, estas serán sometidas a evaluaciones de composición química, propiedades de resistencia mecánica, tratamientos termomecánicos y estructuras metalográficas.

## CAPITULO II

### EVALUACIONES REALIZADAS

#### 2.1 Evaluación de la Composición Química

Como se mencionó anteriormente, las barras de construcción son aceros de medio carbono (entre 0.30 y 0.45% de carbono); sin embargo existen otros elementos químicos que juegan también un rol importante en este tipo de aceros. Estos elementos químicos serán analizados y se determinará porcentualmente la cantidad presente en cada una de las muestras de barras de construcción con Tempcore y sin Tempcore.

A continuación se coloca la tabla donde se encuentran los resultados de la Composición Química para cada una de las muestras sometidas al análisis por el espectrómetro de emisión óptica:

**Tabla 2.1: Resultados de composición química de las barras de construcción evaluadas**

Ø de barra →	Diámetros y codificación de las muestras							
	3/8"	9.5mm	1/2"	12mm	5/8"	16mm	1"	25mm
Composición Química (%)	3/8 NO TEMPCORE	9.5 TEMPCORE	1/2 NO TEMPCORE	12 TEMPCORE	5/8 NO TEMPCORE	16 TEMPCORE	1 NO TEMPCORE	25 TEMPCORE
C	0.41	0.31	0.40	0.32	0.41	0.31	0.42	0.31
Mn	1.30	0.63	1.31	0.54	1.35	0.61	1.40	0.67
Si	0.20	0.20	0.22	0.16	0.23	0.18	0.22	0.20
P < 0.06 (*)	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03
S	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03
Cr	0.08	0.11	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07
Ni	0.07	0.06	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00
Nb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00

(\*) La Norma tomada como referencia ASTM A615 sólo restringe el Fósforo a una cantidad menor o igual a 0.06%. Todas las muestras están por debajo de dicho límite.

Los nueve elementos químicos presentes en el cuadro fueron elegidos porque son los que poseen mayor influencia sobre las propiedades mecánicas de los aceros que se evalúan en el presente estudio.

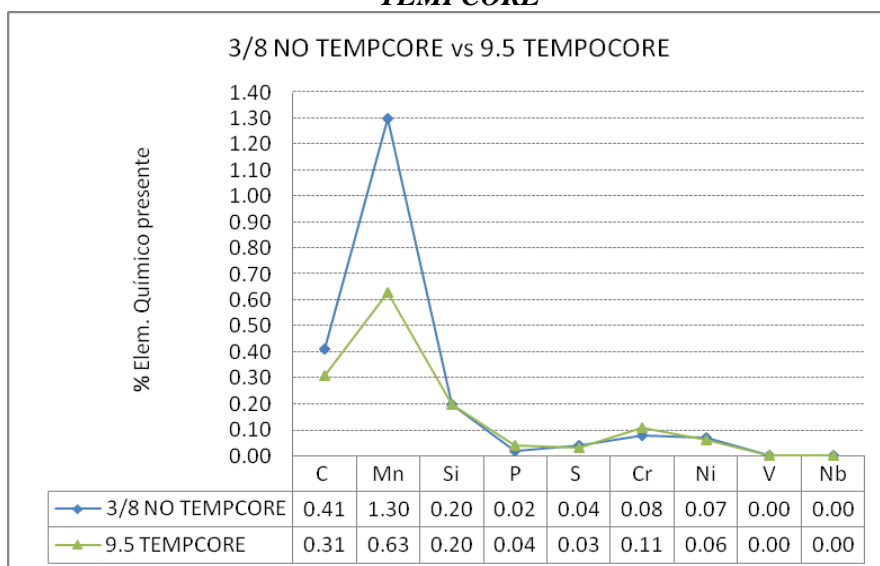
A continuación se muestra un cuadro descriptivo de estos 9 elementos químicos donde se menciona la influencia que estos ejercen sobre las características y propiedades del acero para fabricar barras de construcción:

**Tabla 2.2: Influencia de los elementos químicos en el acero**

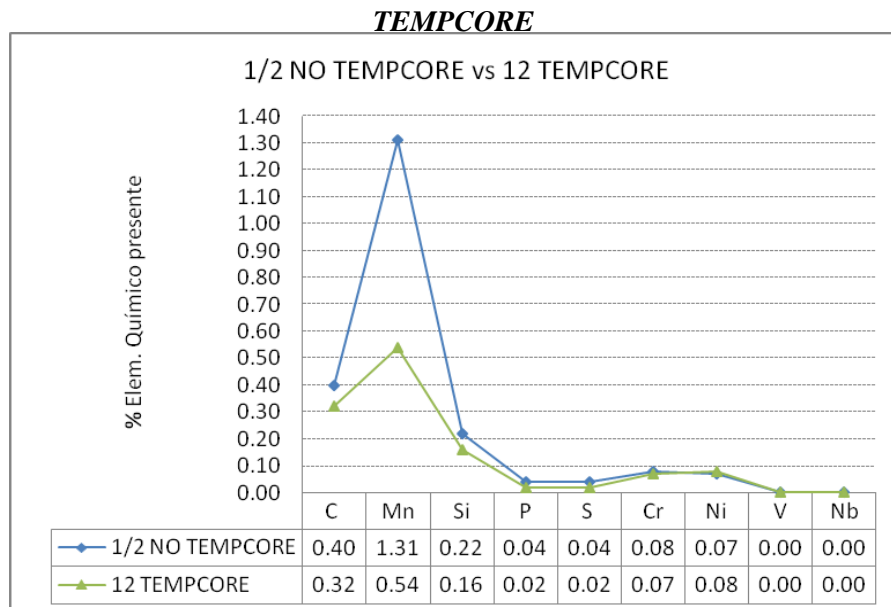
Elemento químico	Influencia que ejerce en el acero
Carbono	Mejora el límite elástico, resistencia a la tracción y eleva la dureza; pero también incrementa la fragilidad en frío y hace que la tenacidad y la ductilidad en el acero.
Manganeso	Contribuye a neutralizar la inevitable presencia de azufre y oxígeno en los aceros. Evita que se desprendan gases perjudiciales al momento de la solidificación del acero. Contribuye a aumentar la resistencia mecánica y mejora la templabilidad.
Silicio	Es un mejor desoxidante que el manganeso. Sirve para aumentar ligeramente la templabilidad y elevar sensiblemente el límite elástico y la resistencia a la fatiga de los aceros sin reducir su tenacidad.
Fósforo	Elemento perjudicial, al igual que el azufre, reduce la ductilidad y la resistencia al impacto. Sin embargo, se usa en algunos aceros para aumentar su resistencia a la tensión y mejorar la maquinabilidad.
Azufre	Elemento perjudicial en el acero, una impureza. Para el caso de aceros de construcción, debe mantenerse controlado por debajo de 0.05% ya que fragiliza la estructura del acero.
Cromo	Elemento muy usado, contribuye a aumentar la dureza y la resistencia a la tracción, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste y a la oxidación.
Níquel	Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y la resistencia al impacto. Aumenta considerablemente la resistencia a la oxidación.
Vanadio	Es un fuerte elemento desoxidante y a su vez un eficiente afinador de grano. Contribuye a aumentar el límite elástico en los aceros.
Niobio	Elemento que contribuye a aumentar el límite elástico en los aceros al igual que el vanadio, aumenta también la resistencia a la tracción ya que es un mejor afinador de grano.

Los resultados obtenidos luego de la evaluación de cada una de estas muestras de barras de construcción se presentan en las siguientes gráficas; estas han sido agrupadas en 4 pares de diámetros equivalentes con el fin de comparar sus respectivas composiciones químicas de muestras con Tempcore y sin Tempcore. Por ejemplo, se agrupó la muestra con código **3/8 NO TEMPCORE** que no posee Tempcore con la muestra con código **9.5 TEMPCORE** que si posee este tratamiento termomecánico.

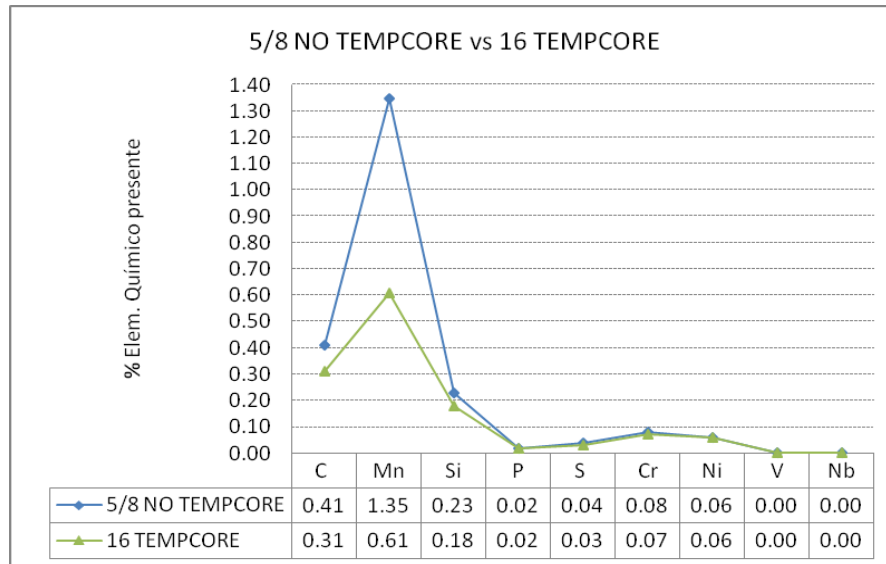
**Tabla 2.3: Composición química de barras de construcción: 3/8 NO TEMPCORE vs 9.5 TEMPCORE**



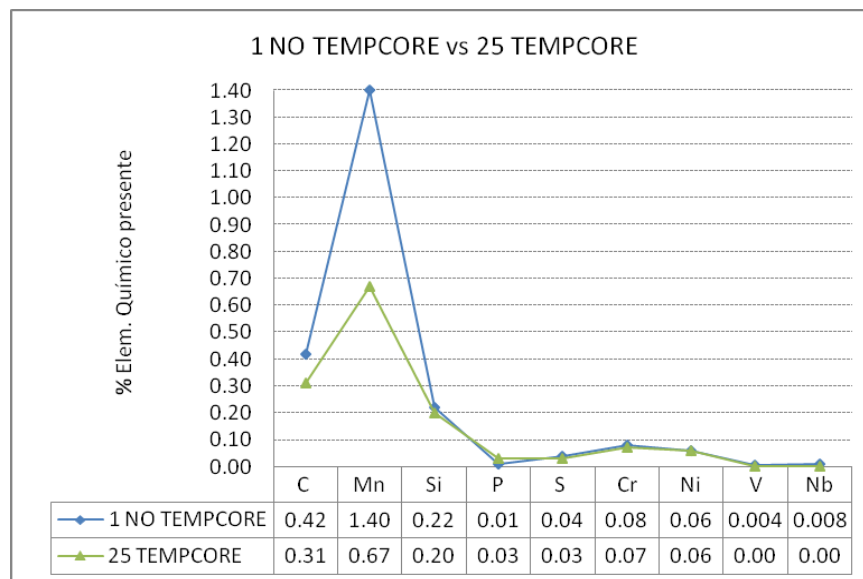
**Tabla 2.4: Composición química de barras de construcción: 1/2 NO TEMPCORE vs 12 TEMPCORE**



**Tabla 2.5: Composición química de barras de construcción: 5/8 NO TEMPCORE vs 16 TEMPCORE**



**Tabla 2.6: Composición química de barras de construcción: 1 NO TEMPCORE vs 25 TEMPCORE**



Tal como las gráficas lo muestran, la composición química de las barras de construcción que no poseen el tratamiento termomecánico Tempcore es considerablemente mayor para el Carbono y el Manganeso que aquellas barras de construcción que si poseen este tratamiento térmico. Para los demás elementos químicos, los resultados son casi iguales.

## 2.2 Evaluación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas que se evalúan principalmente en las barras de construcción son: la resistencia de tracción, el límite de fluencia y el alargamiento. Para esto, se cortaron las muestras a una longitud de 50cm para poder ensayarlas en la máquina de tracción, el cual ejerce una carga uniaxial medida hasta llegar a romper dicha muestra.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos luego de los ensayos de tracción a cada una de las muestras de barras de construcción con Tempcore y sin Tempcore.

**Tabla 2.7: Resultados de Propiedades mecánicas de las barras evaluadas**

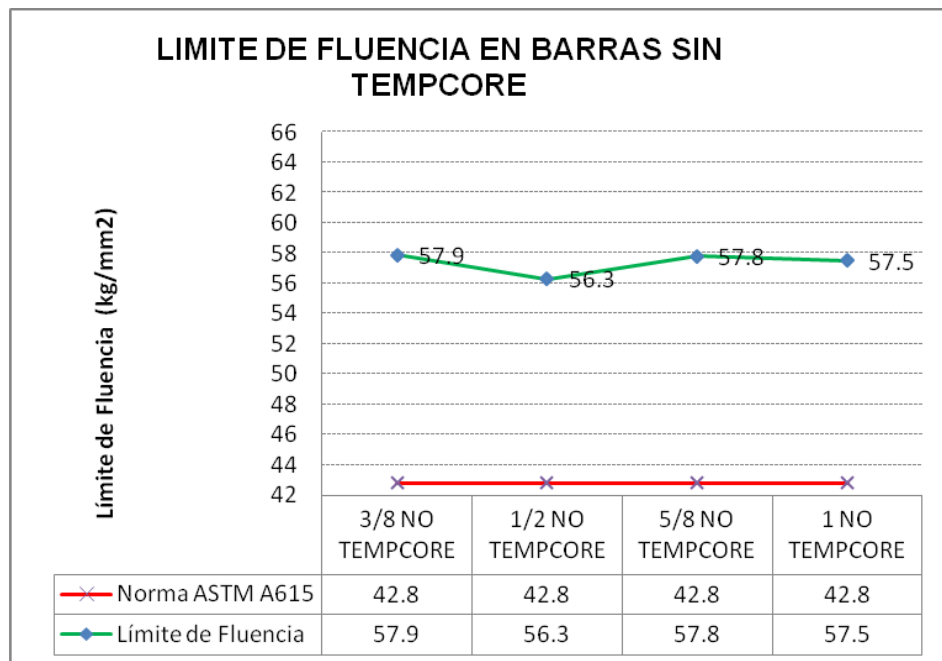
Ø de barra →	Diámetros y codificación de las muestras							
	3/8"	9.5mm	1/2"	12mm	5/8"	16mm	1"	25mm
Propiedades Mecánicas ↓	3/8 NO TEMPCORE	9.5 TEMPCORE	1/2 NO TEMPCORE	12 TEMPCORE	5/8 NO TEMPCORE	16 TEMPCORE	1 NO TEMPCORE	25 TEMPCORE
Límite de Fluencia (kg/mm <sup>2</sup> )	57.9	60.9	56.3	58.7	57.8	53.5	57.5	52.4
Resistencia a la Tracción (kg/mm <sup>2</sup> )	74.6	73.8	75.0	73.3	74.2	68.6	72.7	70.6
Alargamiento (%)	20.5	16.8	20.0	14.6	19.1	14.8	13.1	14.7
Relación (Tracción/F <sub>y</sub> )	1.29	1.21	1.33	1.25	1.28	1.28	1.26	1.35
Fuerza de doblado (kf)	13.95	14.70	21.91	22.60	36.21	36.70	-	-
Doblado a Norma	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Así mismo, la Fuerza de Doblado y Doblado de Norma son características que se encuentran muy relacionadas con las 3 primeras anteriormente mencionadas y que forman parte de esta evaluación con el fin de asegurar el cumplimiento con las exigencias del producto fabricado.

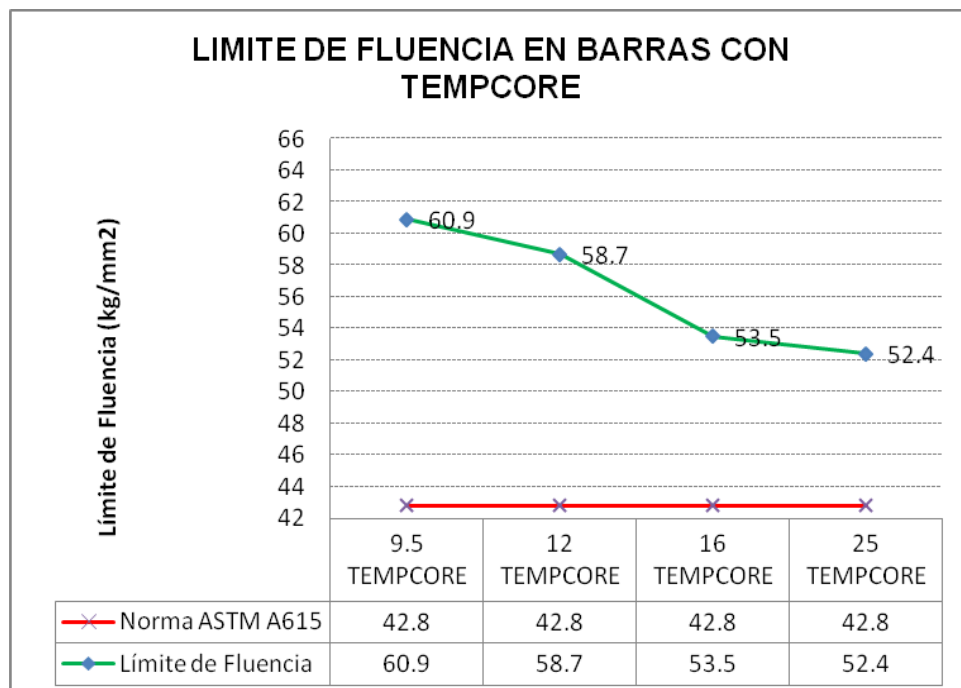
Las gráficas que se presentan a continuación muestran los resultados por cada una de las principales características evaluadas en un ensayo de tracción, estos resultados han sido contrastados con la cantidad mínima requerida especificado en la Norma ASTM A615 para el Grado 60 que es la que nos sirve de referencia en este estudio.



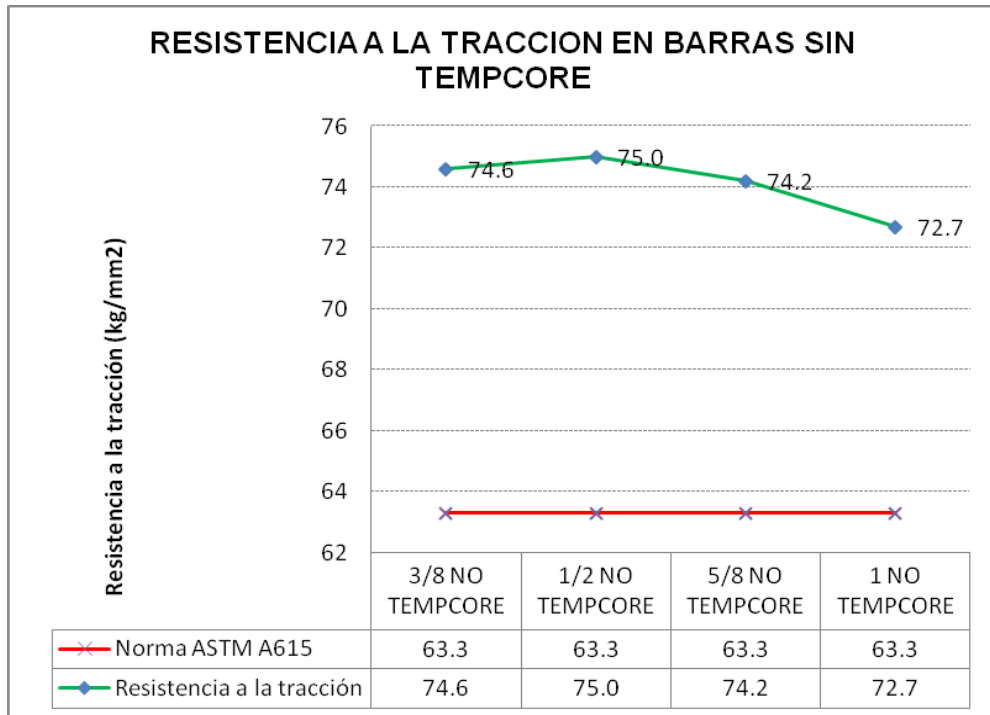
**Tabla 2.8: Resultados de Límite de fluencia en barras de construcción sin Tempcore**



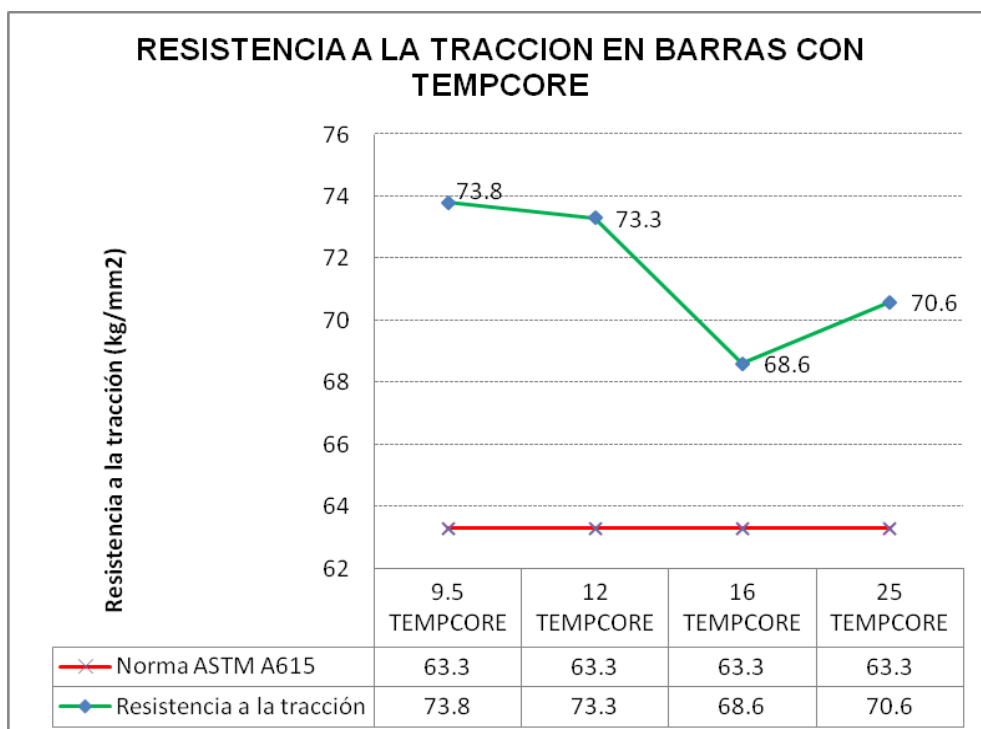
**Tabla 2.9: Resultados de Límite de fluencia en barras de construcción con Tempcore**



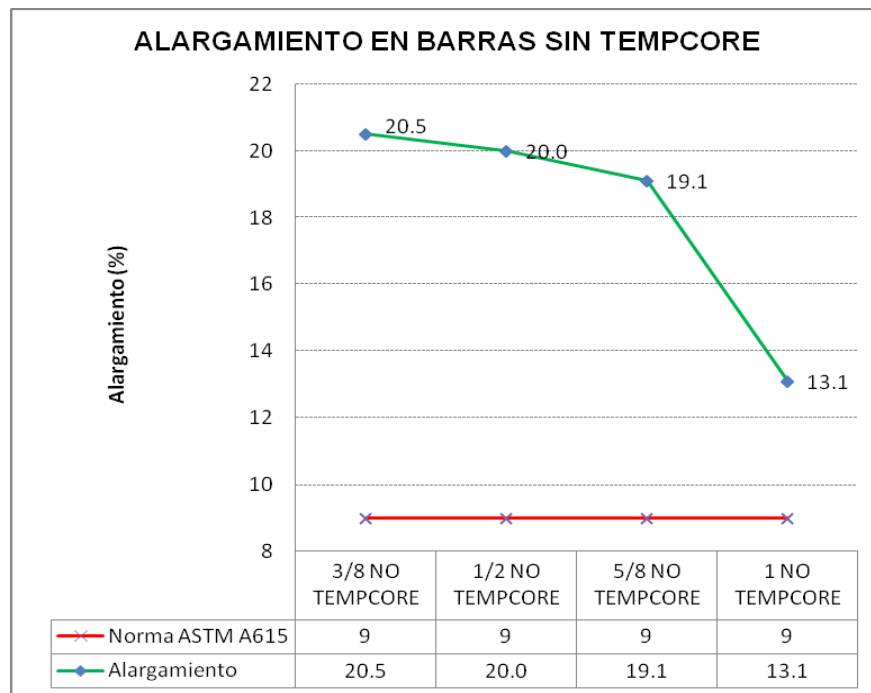
**Tabla 2.10: Resultados de Resistencia a la tracción en barras de construcción sin Tempcore**



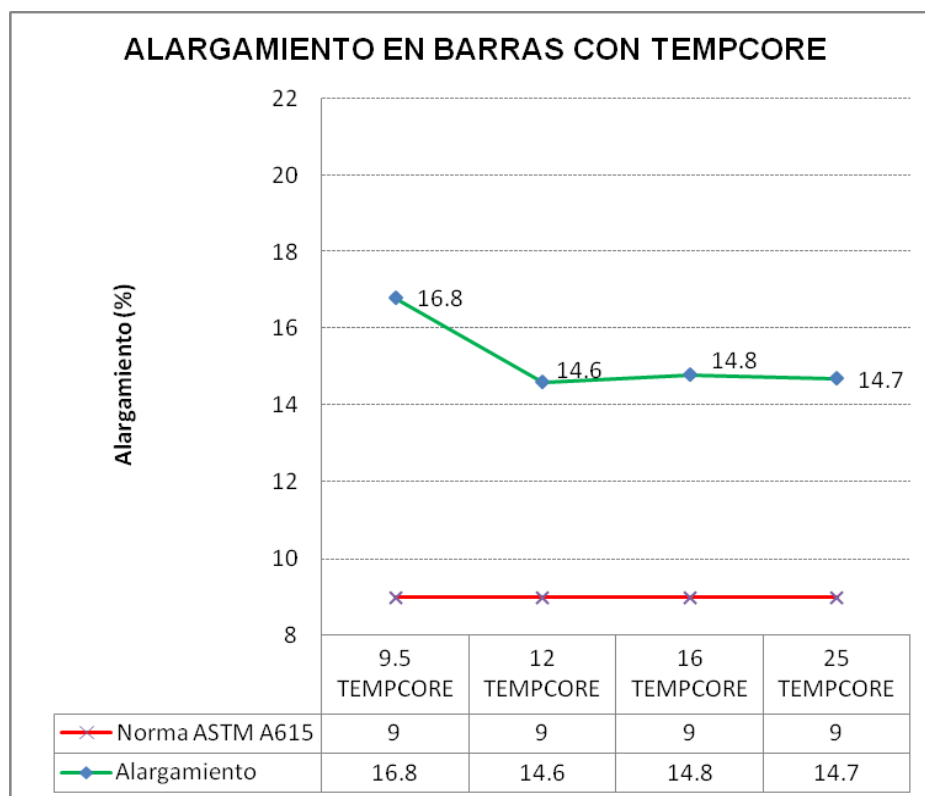
**Tabla 2.11: Resultados de Resistencia a la tracción en barras de construcción con Tempcore**



**Tabla 2.12: Resultados de Alargamiento en barras de construcción sin Tempcore**



**Tabla 2.13: Resultados de Alargamiento en barras de construcción con Tempcore**



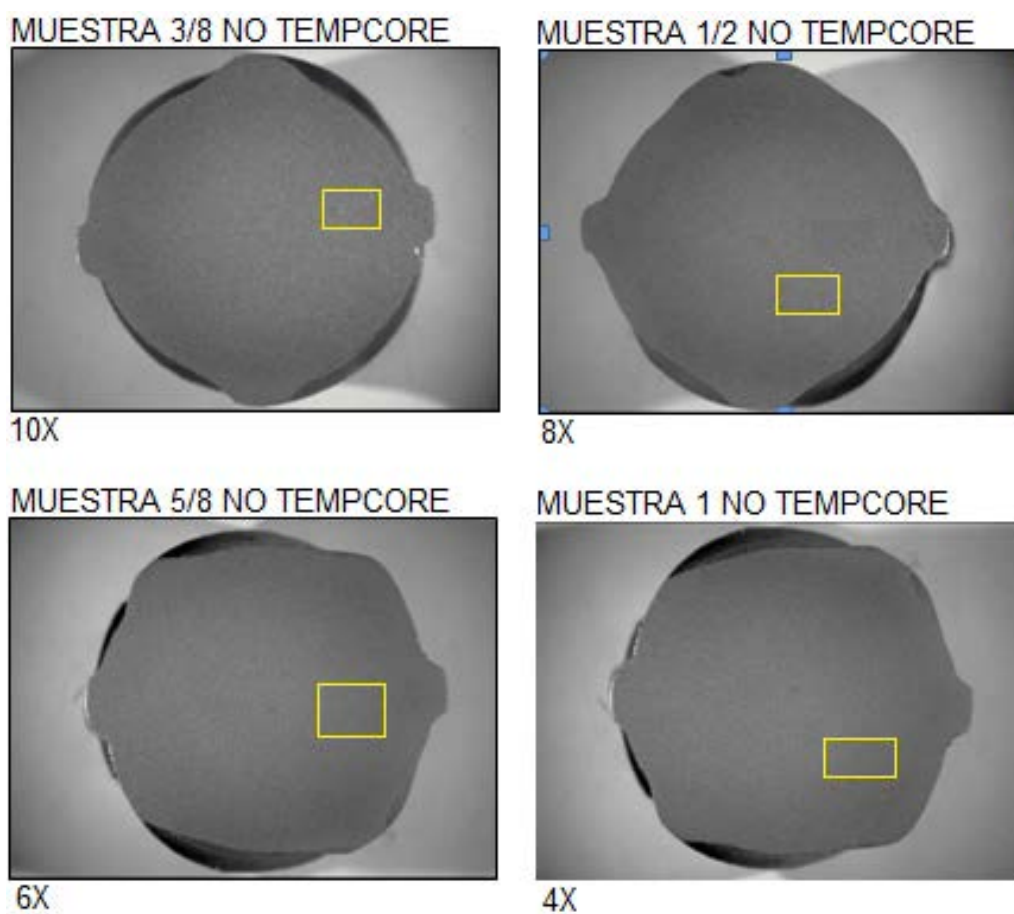
Tal como lo muestran la gráficas, todos los resultados obtenidos se encuentran por encima del mínimo especificado para la Norma de referencia ASTM A615 en el Grado 60 tanto para las barras de construcción con Tempcore, así como también para aquellas que no poseen este tratamiento. El análisis de estos resultados se dará en el Capítulo III.

### **2.3 Evaluación del tratamiento termomecánico**

El principal tratamiento termomecánico a evidenciar será el de Tempcore, para ello se tomaron las muestras en sus 4 distintos diámetros por cada grupo, se realizaron cortes transversales y se les llevó a pulir sus respectivas superficies con el fin de detectar diferencias en cada una de ellas. Los resultados se muestran a continuación:

#### **Evaluación de la sección transversal de las 4 muestras de barras de construcción que no poseen Tempcore, ataque con Nital:**

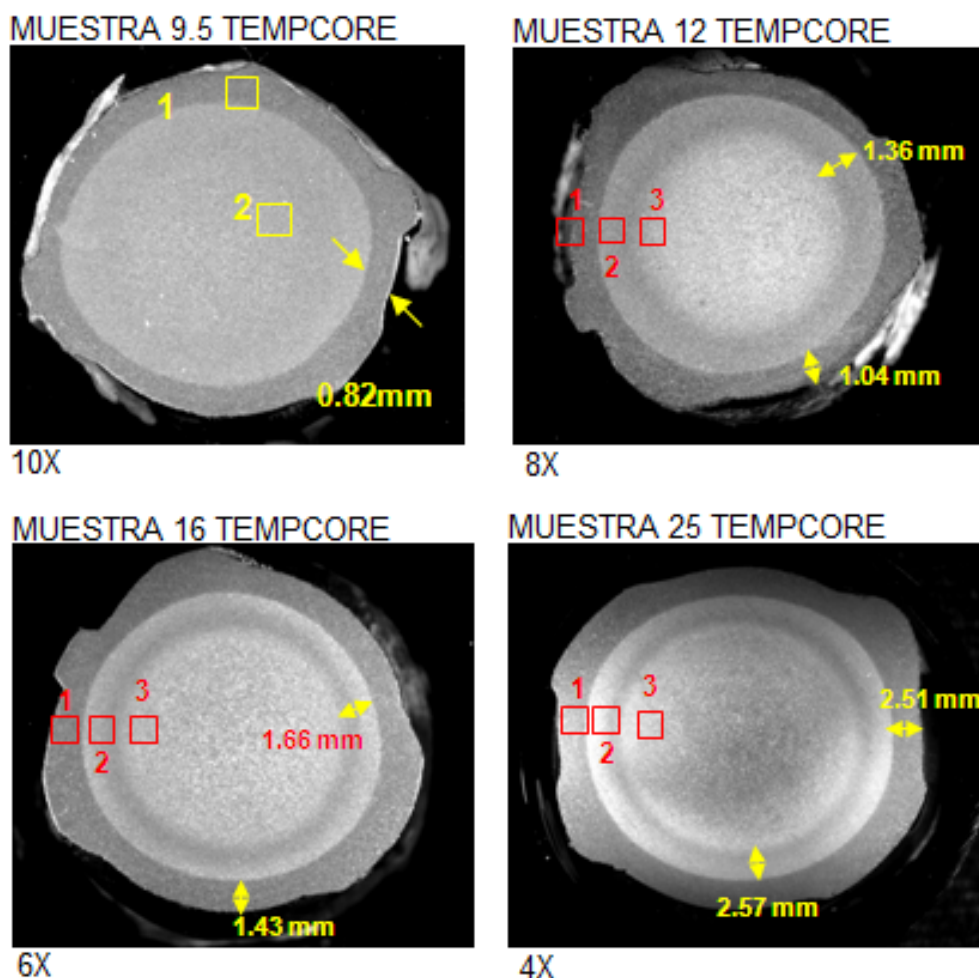
Se evidencia que la estructura es uniforme en toda la sección transversal de las muestras, por tanto, estas barras de construcción no han sufrido ningún tratamiento térmico al final de su fabricación y han enfriado al medio ambiente dentro de las condiciones normales.



*Fig. 2.1: Sección transversal de las barras de construcción sin Tempcore*

**Evaluación de la sección transversal de las 4 muestras de barras de construcción que poseen Tempcore, ataque con Nital:**

Se evidencia claramente la presencia de una aureola externa oscurecida en la sección transversal de todas estas muestras lo cual indica que estas barras han sido sometidas al tratamiento térmico de Tempcore. En el siguiente punto se evaluará la estructura metalográfica.



*Fig. 2.2: Sección transversal de las barras de construcción con Tempcore*

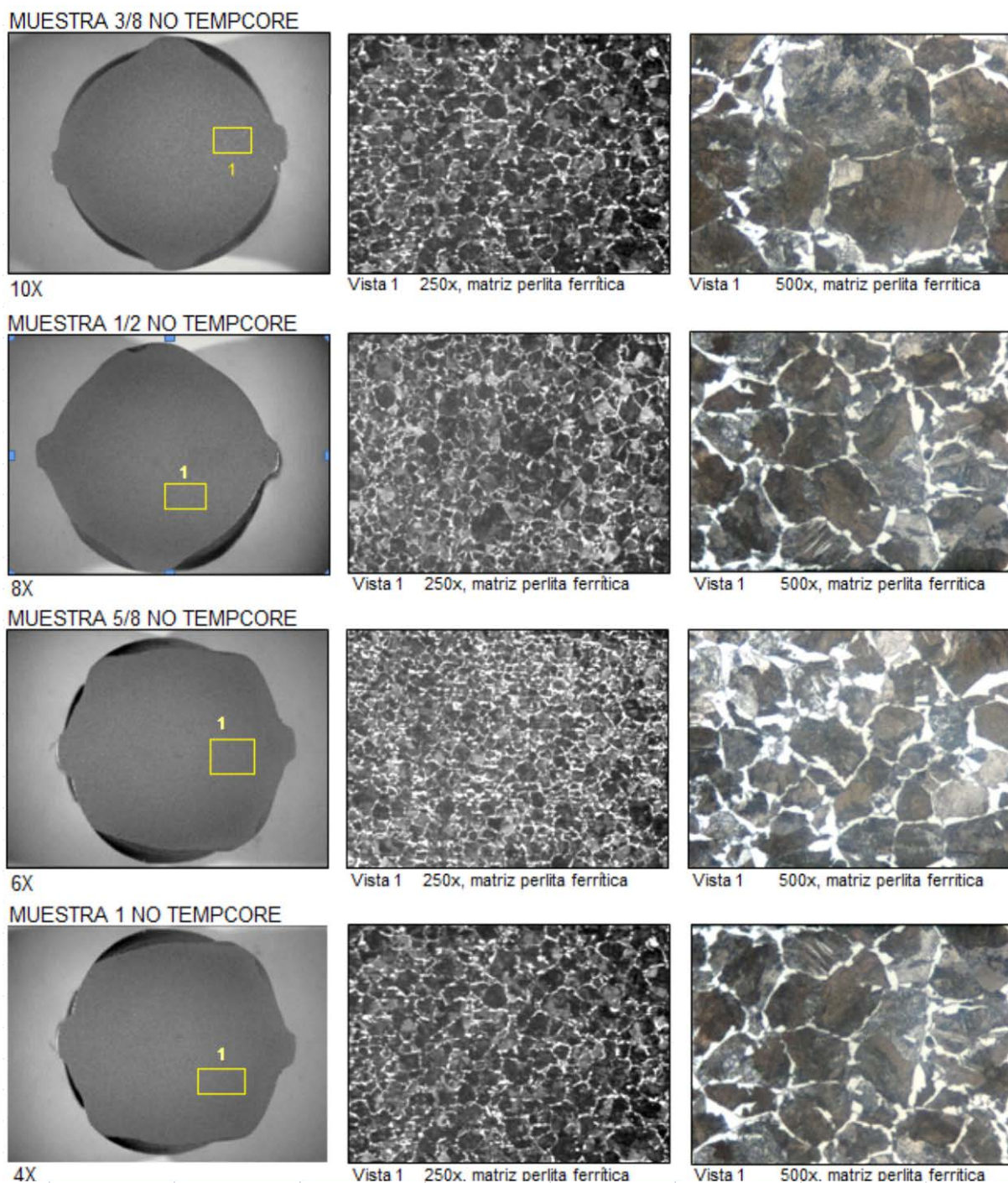
Cabe resaltar que la norma que se utiliza de referencia no restringe la aplicación de este tratamiento termomecánico y por ende no existen restricciones o parámetros establecidos en cuanto a los resultados que se puedan obtener luego de haber aplicado este tratamiento a las barras de construcción. Para poder definir mejor las diferencias entre las estructuras de las barras de construcción con Tempcore y sin Tempcore se procederán a evaluar estas mismas secciones transversales con la ayuda de un microscopio metalográfico cuyos resultados se aprecian en punto 2.4.

#### 2.4 Evaluación de las estructuras metalográficas

Una vez identificadas y clasificadas las muestras por tamaño y grupo al cual pertenecen, se realiza una evaluación metalográfica más a detalle para definir la estructura metalográfica presente en las muestras de cada uno de los dos grupos

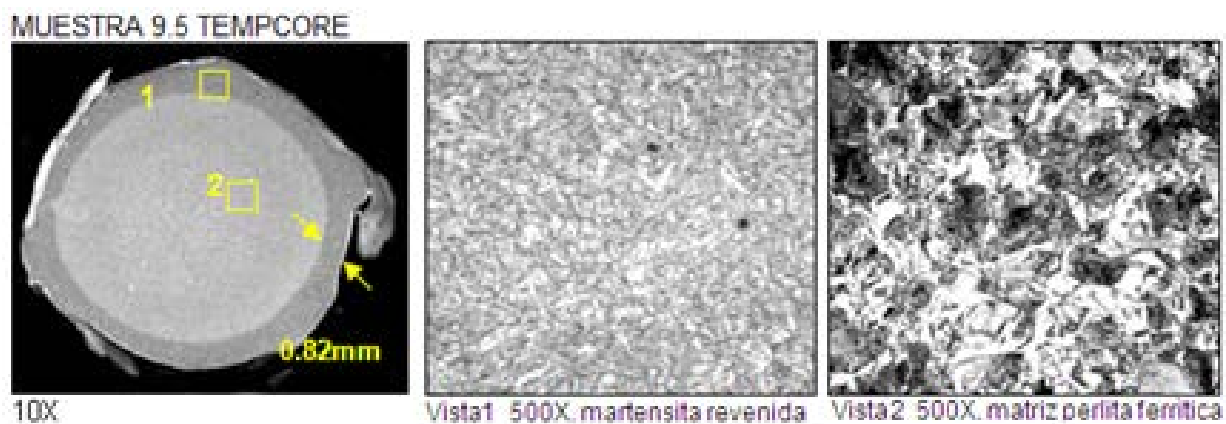
diferenciados por el tratamiento termomecánico Tempcore. Los resultados de estas evaluaciones se aprecian en las siguientes imágenes:

Resultados de las muestras de barras de construcción sin Tempcore:

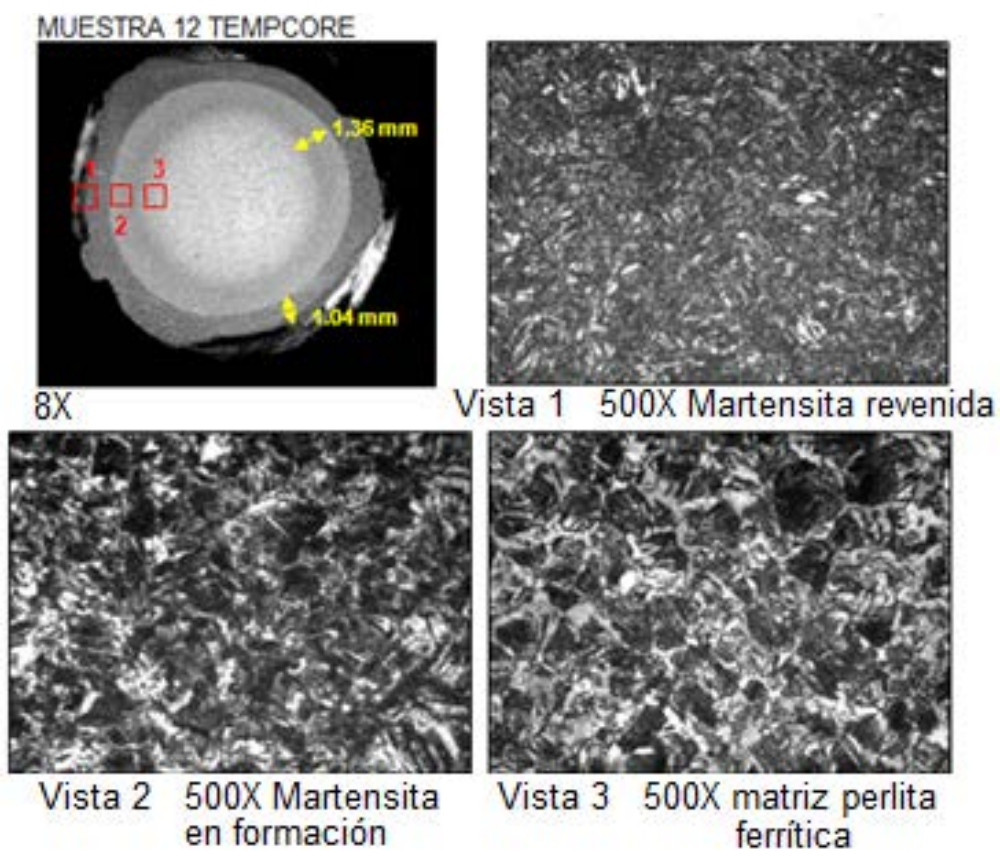


**Figura 2.3: Estructura metalográfica de las barras de construcción sin Tempcore.**

Resultados de las muestras de barras de construcción con Tempcore:

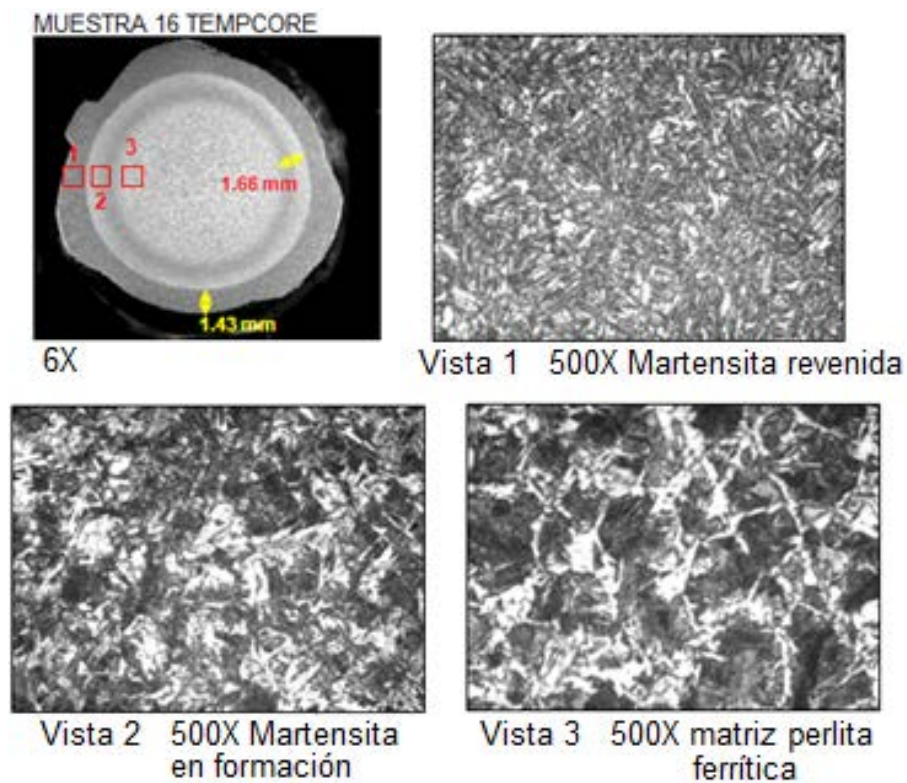


**Figura 2.4: Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore  
(Muestra 9.5 TEMPCORE)**

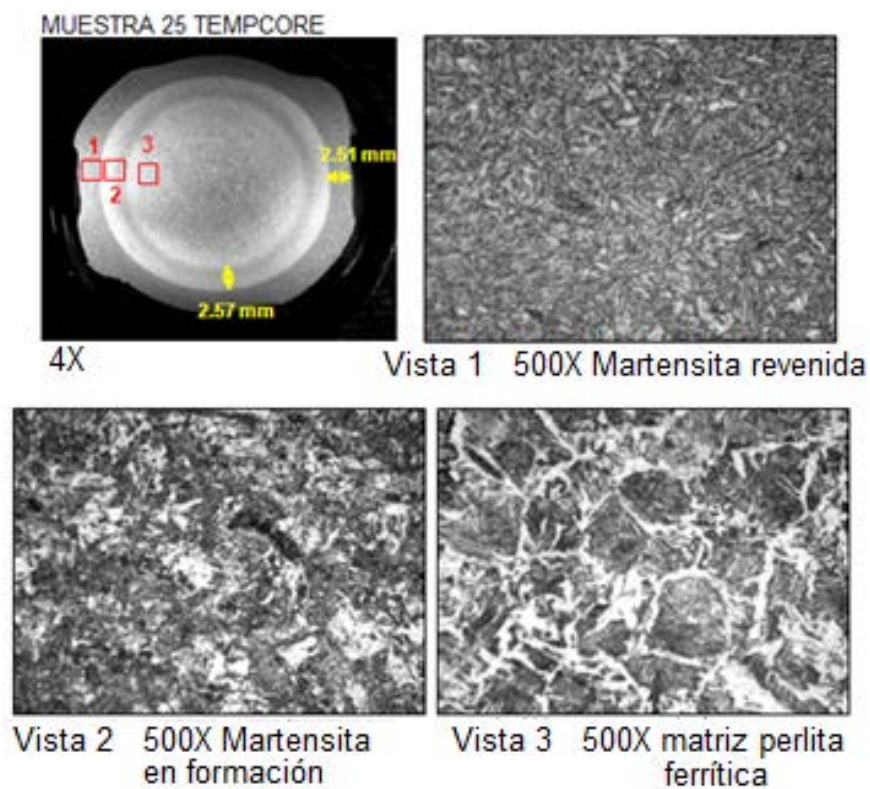


**Figura 2.5: Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore  
(Muestra 12 TEMPCORE)**





*Figura 2.6: Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore (Muestra 16 TEMPCORE)*



*Figura 2.7: Estructura metalográfica de barra de construcción con Tempcore (Muestra 25 TEMPCORE)*

La estructura metalográfica de las muestras evaluadas que no tienen Tempcore muestran una marcada diferencia con aquellas muestras que si tienen este tratamiento termomecánico, esto evidencia que el método de manufactura de estos dos tipos de acero es distinto ya que mientras un grupo proviene de una laminación en caliente el otro grupo proviene de una laminación en caliente y un tratamiento termomecánico adicional.

Por consiguiente, el Capítulo III de este estudio será analizar cada uno de los resultados de estas evaluaciones y ensayos realizados (composición química, ensayos mecánicos, tratamientos térmicos y metalografía), ver la manera cómo se interrelacionan, comparar los resultados y ver cómo impacta sobre otras exigencias en su performance; y así, llegar a conclusiones sobre el uso y beneficio de cada uno de estos dos tipos de barras de construcción.

## CAPITULO III

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

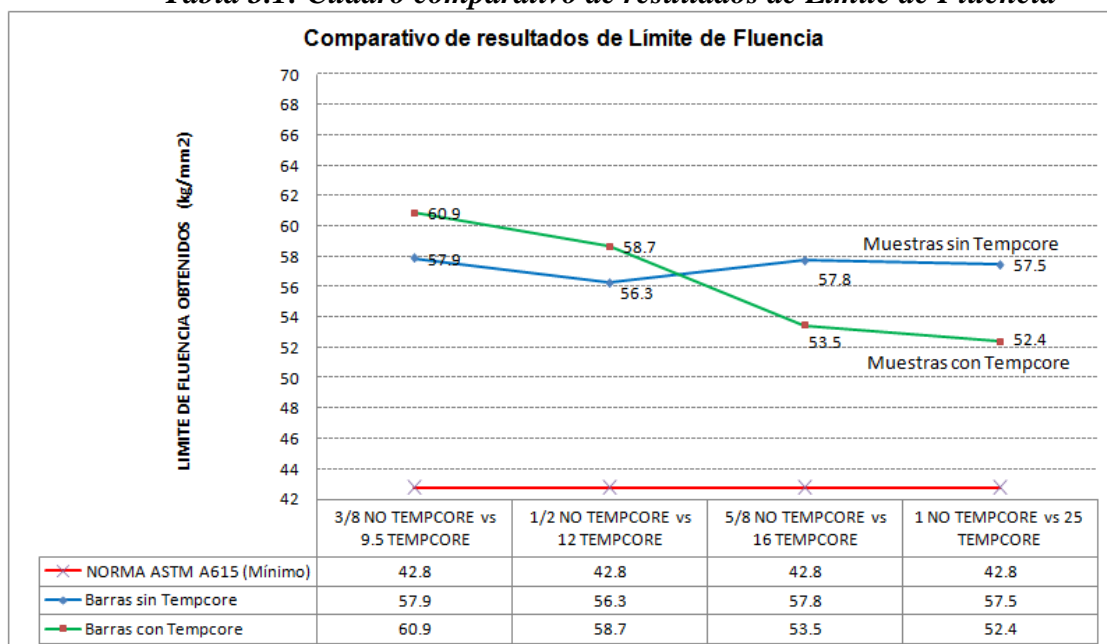
#### 3.1 Análisis comparativo de ensayos de tracción

Se realizaron los ensayos de tracción a los 4 diámetros de cada uno de las dos grupos de barras de construcción, habiéndose detectado una ligera superioridad en cuanto a la resistencia a la tracción que ofrecen las barras de construcción que no tienen Tempcore frente a las barras de construcción que si tienen Tempcore.

A continuación se muestran unos gráficos comparativos de las 3 principales características que se evalúan para estos materiales en un ensayo de tracción (Límite de Fluencia, Resistencia a la Tracción y Alargamiento):

#### Análisis de resultados de límite de fluencia

**Tabla 3.1: Cuadro comparativo de resultados de Límite de Fluencia**



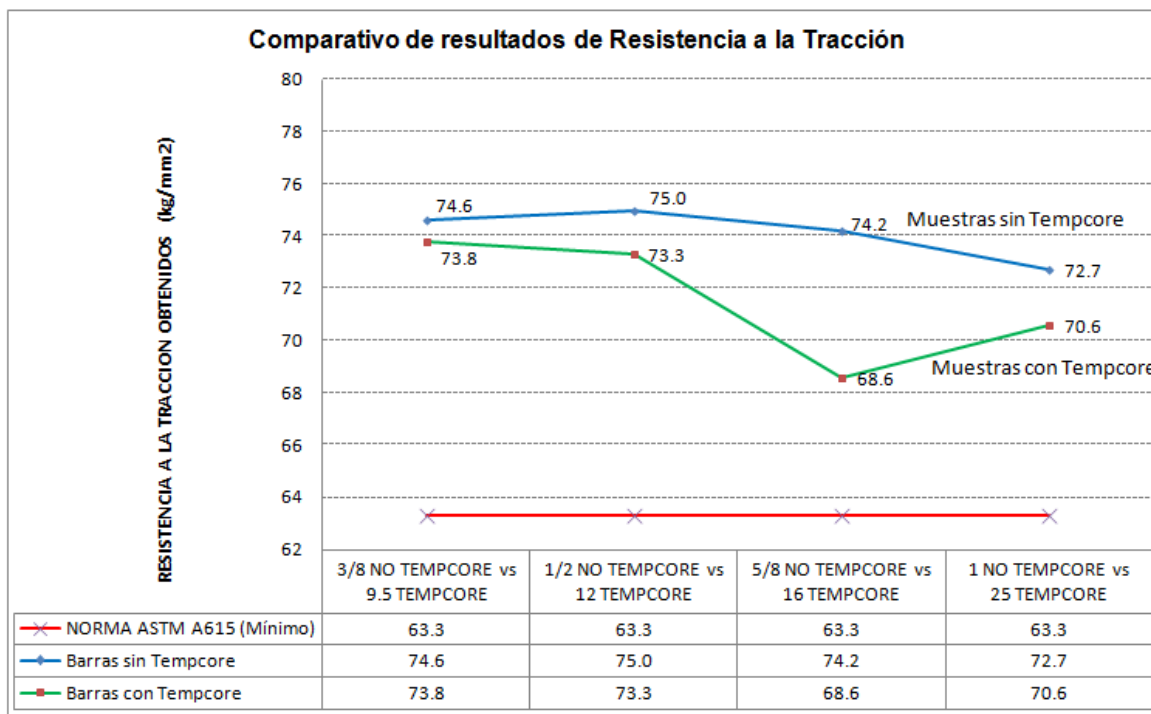
En la tabla 3.1 se muestran los resultados del límite de fluencia para las barras de construcción sin Tempcore (Línea delgada azul) y aquellas con Tempcore (Línea delgada verde), estos datos están agrupados en cuatro pares de códigos de muestra cuyos diámetros son bastante cercanos entre sí, esto con el fin de establecer una mejor comparación para aquellos más próximos entre sí en los sistemas de medida en las que se encuentran; es así que se agruparon las barras de 3/8" y 9.5mm de diámetro, las barras de 1/2" y 12mm de diámetro, las barras de 5/8" y 16mm de diámetro y las barras de 1" y 25mm de diámetro. Así mismo, el gráfico también indica el límite inferior especificado por la norma ASTM A615 (Línea delgada roja) el cual nos brindará una mejor referencia para nuestro análisis.

Las barras de construcción que no tienen Tempcore arrojaron resultados de Fluencia hasta en  $15 \text{ kg/mm}^2$  por encima del límite inferior especificado en la norma de referencia ASTM A615, teniendo una tendencia uniforme para los 4 diámetros evaluados. En el caso de las barras de construcción que si tienen Tempcore, los resultados obtenidos estuvieron hasta en  $18 \text{ kg/mm}^2$  por encima del límite inferior especificado en la norma de referencia; sin embargo, los resultados de estas barras han mostrado una tendencia a descender a medida que el diámetro ensayado es cada vez mayor.

Si bien es cierto que todas las muestras de barras de construcción evaluadas arrojaron resultados conformes ya que están por encima del mínimo especificado según norma, es en el caso de las barras que no tienen Tempcore que los resultados obtenidos poseen una línea de tendencia más alejada del mínimo que la que poseen las barras que si tienen Tempcore. Esto puede deberse a varios factores tales como el manejo de la composición química de los elementos más importantes como el Carbono y el Manganeso, a rangos de trabajo de seguridad según el tipo de proceso de fabricación, a políticas del fabricante para superar el mínimo especificado, a tratamientos adicionales luego del proceso de laminación en caliente, etc. Todos estos factores definitivamente actuarán también sobre las otras dos características restantes evaluadas en estos ensayos de tracción como a continuación se especifica.

## Análisis de resultados de resistencia a la tracción

*Tabla 3.2: Cuadro comparativo de resultados de Resistencia a la Tracción*



Para el caso de la resistencia a la tracción como ya era de esperarse, el comportamiento se da de similar forma al de los resultados de límite de fluencia, los resultados de las barras de construcción que no tienen Tempcore se encuentran hasta en casi  $12 \text{ kg/mm}^2$  por encima del mínimo especificado en norma ASTM A615, manteniendo una tendencia uniforme en todos los diámetros ensayados, mientras que los resultados de las barras de construcción que si tienen Tempcore se encuentran hasta en  $10 \text{ kg/mm}^2$  por encima del mínimo especificado en norma A615, conservando esa misma tendencia a descender a medida que el diámetro ensayado es cada vez mayor.

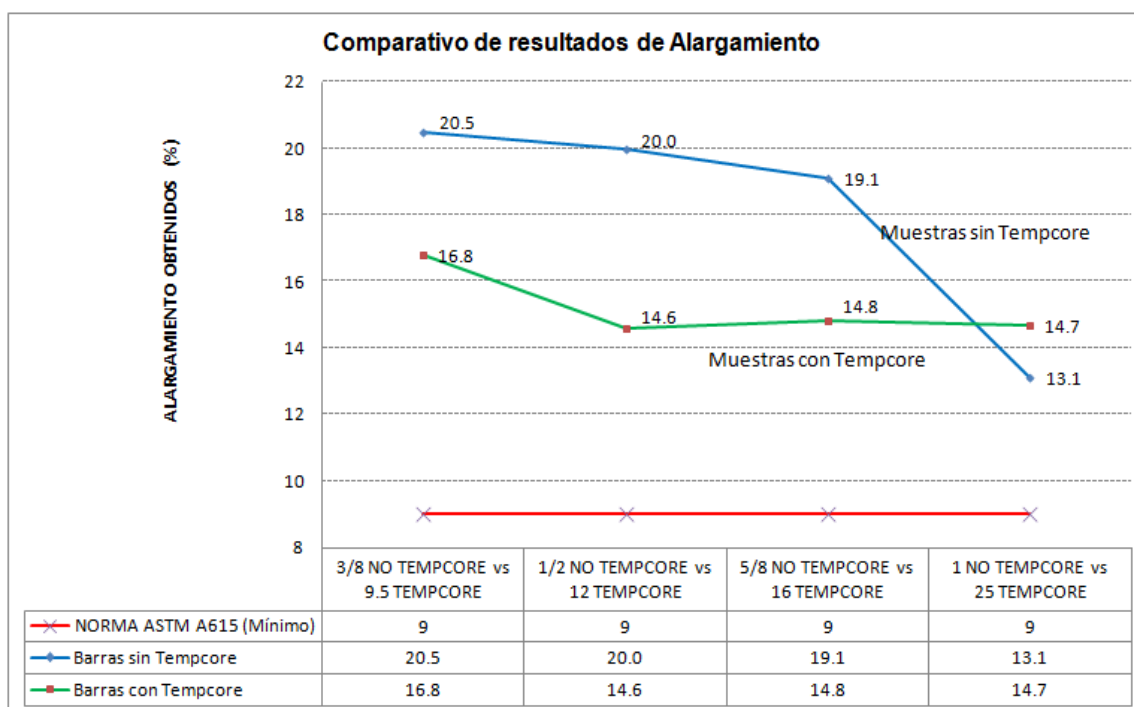
La performance mostrada para estas dos características (Límite de Fluencia y Resistencia a la tracción) suelen ser bastante parecidas por lo general, ya que a medida que va subiendo el punto de fluencia para una determinada barra de construcción sometida a un esfuerzo de tracción, también subirá la resistencia límite a la rotura que este material ofrece. Esto se debe a la acción y relevancia de algunos elementos químicos que juegan un rol importante y directo con la ductilidad de los

aceros tales como el carbono, el manganeso, el silicio, el fósforo y el cromo; los 3 primeros fomentando y mejorando estas propiedades mientras que los 2 últimos perjudicando y contrarrestando las mismas propiedades. Aunque también, estas características junto con el alargamiento, que será analizado en el siguiente cuadro, pueden ser modificadas con otro tipo de aplicaciones como son los tratamientos térmicos posteriores a la laminación en caliente.

### Análisis de resultados de alargamiento

El siguiente cuadro muestra la performance del alargamiento en el ensayo de tracción de las barras de construcción evaluadas:

**Tabla 3.3: Cuadro comparativo de resultados de Alargamiento**



En el caso del alargamiento, los resultados obtenidos corresponden a la zona plástica que existe entre el punto límite de fluencia y la carga máxima que soporta la barra de construcción evaluada hasta antes de que se rompa. Es así que las barras de construcción que no tienen Tempcore arrojaron resultados de alargamiento de hasta 11 puntos porcentuales por encima del mínimo especificado en norma de referencia ASTM A615, habiéndose detectado un considerable descenso para el diámetro de 1”.

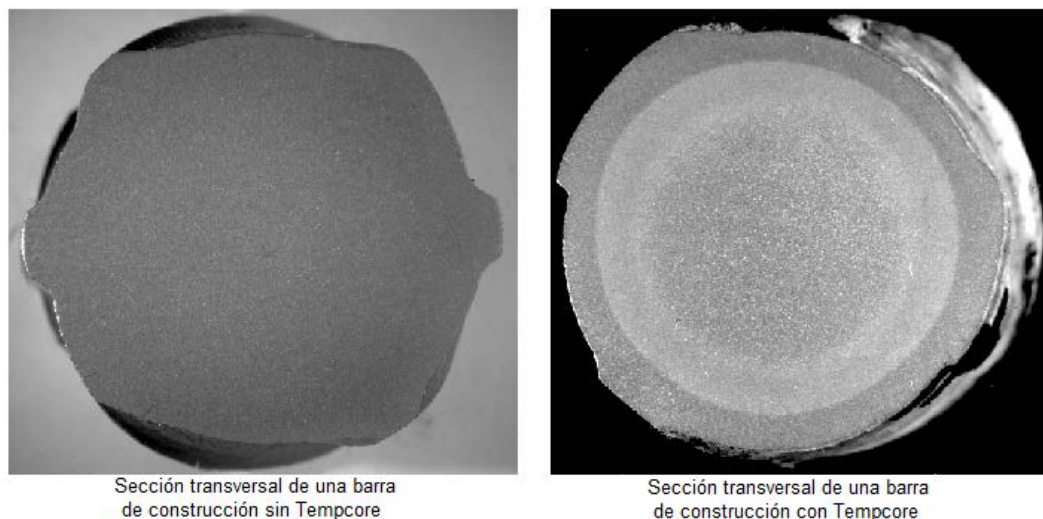
En cambio, los resultados de las barras de construcción que si tienen Tempcore arrojaron resultados de hasta casi 8 puntos porcentuales por encima del mínimo especificado según la misma norma de referencia. El comportamiento de ambos tipos de barras para esta característica va acorde a los dos primeros resultados obtenidos de Fluencia y Tracción para cada uno de los grupos, ya que el alargamiento guarda una relación directa con la diferencia de carga entre el punto límite de fluencia hasta el punto límite de rotura de una barra de construcción ensayada. Las barras que poseen mayor diferencia entre estos dos puntos son aquellas que tienen una mayor zona plástica y en consecuencia tendrán un mayor alargamiento. Debido a esto y bajo este sustento, se puede definir que las barras de construcción que no tienen Tempcore poseen una zona plástica mayor que las detectadas en las barras de construcción que tienen Tempcore.

Luego de haber realizado el análisis de estas 3 características, se tiene como evidencia que las barras de construcción sin Tempcore evaluadas en este estudio poseen mejores propiedades mecánicas que las barras de construcción con Tempcore.

### **3.2 Análisis comparativo de estructura metalográfica**

Dentro de la estructura metalográfica ya evaluada en todas las muestras en el punto 2.4, se evidenció que la microestructura de las barras de construcción sin Tempcore es marcadamente diferente con respecto a la microestructura que presenta las barras de construcción con Tempcore, cabe resaltar que para todos los pares de diámetros evaluados, la diferencia viene a ser la misma.

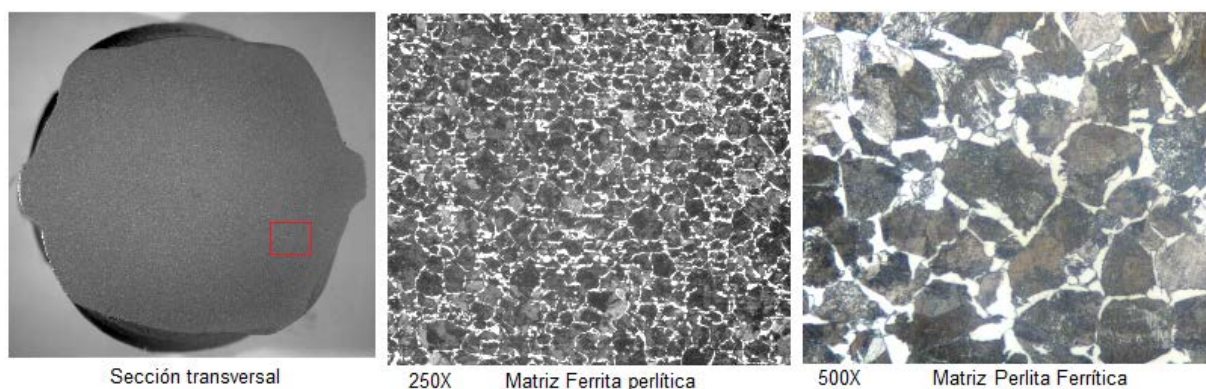
El siguiente análisis explica y pone en evidencia las principales causas de estas diferencias sustanciales que se encuentran íntimamente relacionadas con las primeras evaluaciones hechas en el punto 2.3, estas se refieren a los tratamientos termomecánicos a los que las barras de construcción pueden someterse bajo condiciones controladas sin contravenir con las especificaciones impuestas en las normas de fabricación.



***Figura 3.1: Sección transversal de las barras de construcción con y sin Temcore***

Tal como se puede apreciar en la figura, las imágenes de cada una de estas dos secciones transversales son marcadamente distintas. A simple inspección se puede detectar que las barras de construcción que no tienen Temcore poseen una estructura oscurecida uniforme en toda la superficie de análisis, mientras que las barras de construcción que si tienen Temcore poseen hasta 3 zonas diferentes que ponen en evidencia cambios en la microestructura de dicha barra de acero. Para poder identificar cada una de estas zonas será necesario llevar a estas muestras a un análisis microscópico, de tal modo que nos permitirán reconocer el tipo de microestructura y analizar el origen de cada una de ellas.

Análisis metalográfico para la muestra de barra de construcción sin Temcore con código 5/8 NO TEMPCORE:



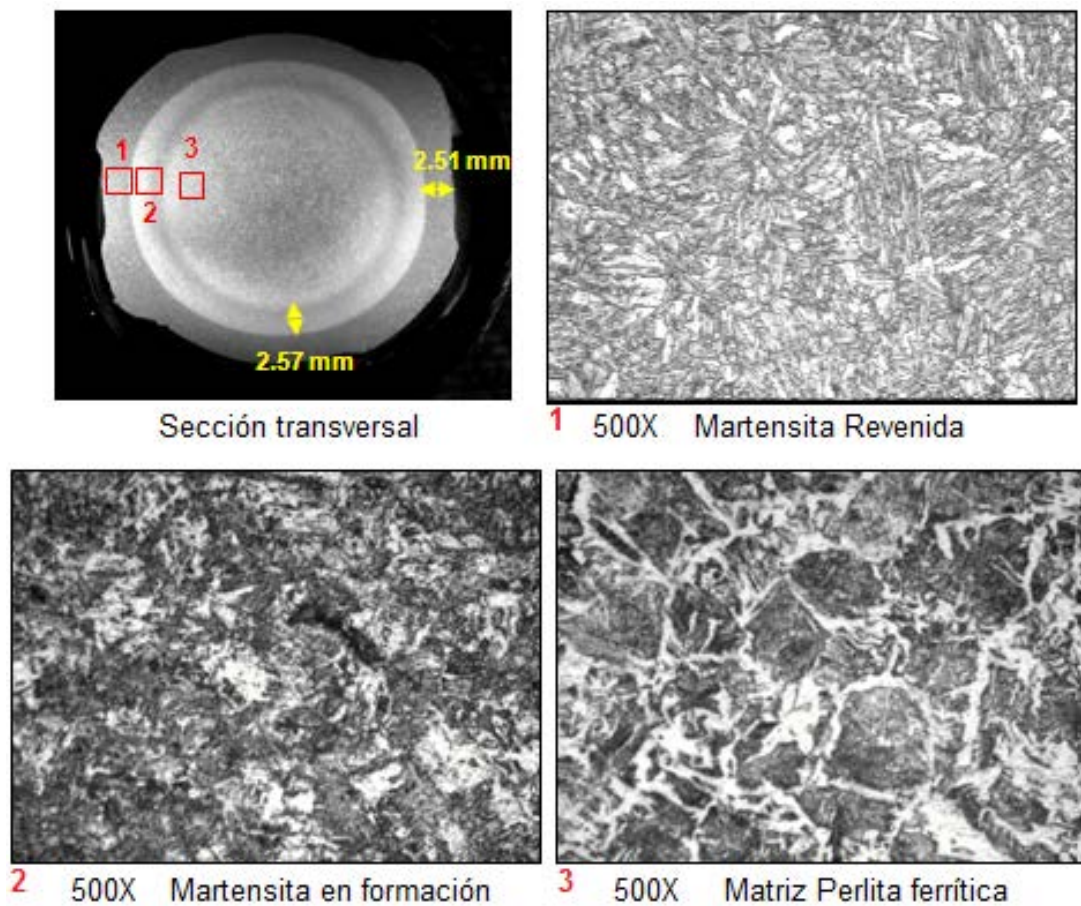
***Figura 3.2: Microestructura de la muestra 5/8 NO TEMPCORE***



Estas barras poseen una estructura de ferrita con perlita en toda la superficie de toda la sección transversal evaluada, esto es típico de un acero de medio carbono cuya estructura ha enfriado lentamente al medio ambiente sin ningún agente que acelere este proceso. Debido a este enfriamiento lento y espontáneo es que predominan estos dos microconstituyentes la Perlita como cristales y la Ferrita como una matriz que delimita el crecimiento de estos mismos cristales.

Para este caso, las propiedades mecánicas que tendrá el material serán las que también caracteriza la combinación de la ferrita y perlita en toda su estructura.

Análisis metalográfico para la muestra de barra de construcción con Tempcore con código 25 TEMPCORE:



**Figura 3.3: Microestructura de la muestra 25 TEMPCORE**

Estas barras poseen hasta 3 zonas bastante bien diferenciadas a lo largo de toda la superficie en evaluación, esto es evidencia de que se realizaron tratamientos térmicos posteriores al proceso de laminación en caliente. Se analizarán cada una de estas 3 zonas que fueron detectadas en las evaluaciones previas.

Zona 1.- Pertenece a la aureola oscurecida de la parte externa de la sección transversal de la barra, esta zona está constituida por un microconstituyente denominado Martensita originado por un enfriamiento rápido de este acero en su estado austenítico a una temperatura de 900 a 1000°C, temperatura en la que sale las barras de construcción luego de la laminación. Para que esto suceda, las barras son expuestas en toda su superficie a disparos de chorros de agua a alta presión con el fin de acelerar su enfriamiento lográndose de este modo la formación de la Martensita que es un constituyente caracterizado por tener una elevada dureza y ser bastante frágil. La martensita presente en la microestructura de esta muestra se encuentra revenida producto del calor residual en el núcleo de la misma barra.

Zona 2.- Es una zona intermedia donde la Martensita, que se encuentra ya formada, y con las barras en la mesa de enfriamiento aún calientes, se produce un fenómeno denominado revenido debido al calor residual que todavía quedaba en el núcleo de la barra de construcción. Este proceso se inicia inmediatamente después de que las barras fueron expuestas con agua a alta presión y comienzan a enfriarse en la mesa donde se les recepciona luego de este tratamiento.

La acción de este fenómeno se da en dirección radial partiendo del núcleo hacia para parte exterior de la barra encontrándose con la Martensita a medida que va avanzando a la zona exterior.

Zona 3.- Es la zona donde se encuentra la microestructura de perlita ferrítica común en los aceros sin tratamiento térmico, esta zona se formó debido al enfriamiento lento de la austenita residual que se encontraba en el núcleo y que no llegó a ser afectado por el agua a alta presión como sí ocurrió en la zona exterior. Como este proceso se lleva a cabo en la parte interna donde predomina un enfriamiento lento del núcleo, esto favorece a toda la estructura ya que simula un proceso de revenido y que, como

consecuencia, se reducen considerablemente las tensiones generadas en el proceso de formación de la martensita en la parte externa de la barra, de este modo toda la estructura se cohesionará mejor haciendo que sus propiedades mecánicas mejoren y sean las requeridas para una barra de construcción.

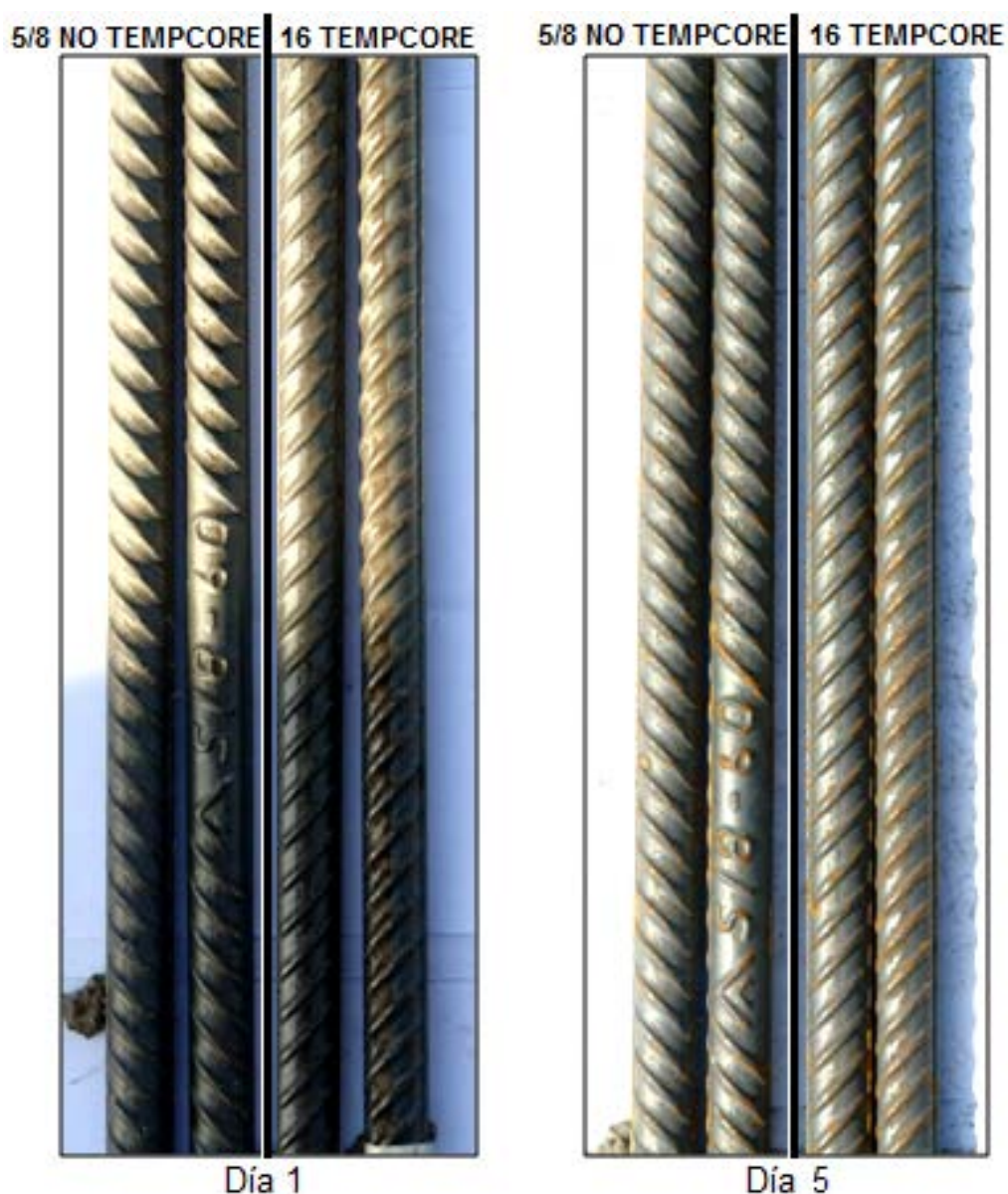
La combinación de estas tres zonas dentro de la estructura de la barra de construcción que tiene Tempcore hace que las propiedades mecánicas, inicialmente bajas para el tipo de composición química que posee, se eleven a tal punto que puedan llegar a cumplir las exigencias impuestas en dicha norma, esto es una alternativa que se viene aplicando en muchas plantas siderúrgicas a través del mundo, el objetivo de esto es la de adoptar nuevas estrategias que ayuden a obtener un producto cada vez más versátil y con mayor funcionalidad y que para el caso de estas barras de construcción, la gran ventaja se encuentra en la reducción en cantidad de los elementos químicos ligados directamente a brindar las propiedades mecánicas típicas a las barras de construcción. Esta estrategia no solo genera ahorros en el uso de estos elementos químicos sino que también permite que estas barras puedan usarse como elementos soldables debido al bajo contenido de carbono equivalente que tienen, caso que no sucede con las barras de construcción que no tienen Tempcore pues las propiedades mecánicas dependen únicamente de su composición química (no apta para soldadura) y de las condiciones operacionales de su laminación en caliente.

### **3.3 Análisis comparativo de resistencia de la oxidación superficial**

La oxidación es un fenómeno inherente a todo producto de acero cada vez que este se encuentre expuesto a la intemperie del medio ambiente o a alguna sustancia capaz de fomentar este fenómeno. Técnicamente, la oxidación es una reacción química en la que un metal, en este caso el Hierro, pierde electrones aumentando así su estado de oxidación. El elemento oxidante por excelencia es el oxígeno que se encuentra presente en casi todos los ambientes y que por lo tanto el acero siempre será propenso a experimentar este fenómeno.

El siguiente estudio comparativo muestra el comportamiento que tuvieron las barras de construcción con Tempcore y sin Tempcore frente a un ambiente donde la oxidación se dará de manera natural. Este estudio consistió en colocar un par de muestras de cada una de estas dos normas al medio ambiente durante una temporada en un lugar donde llegue la inclemencia del tiempo las 24 horas del día. Se hizo un seguimiento de casi un mes. Los resultados y su análisis se brindan a continuación:

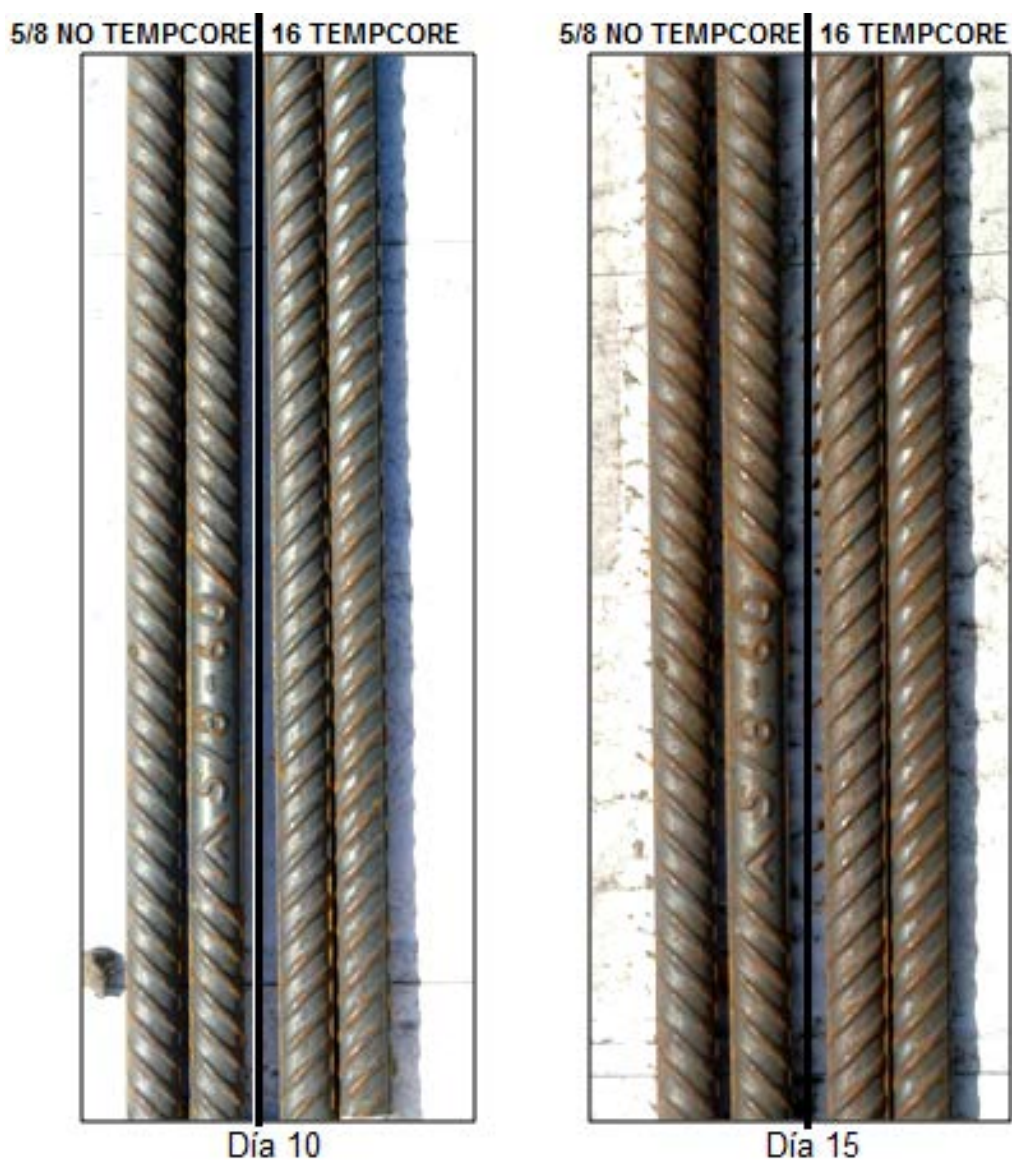
Periodo de evaluación de resistencia a la oxidación – días del 1 al 5:



*Figura 3.4: Barras de construcción oxidadas días del 1 al 5*

Las barras de construcción fueron colocadas en un lugar al aire libre para que así estén expuestas a la inclemencia del tiempo, esto hace que se vayan oxidando paulatinamente. En el día 5 ya se puede notar que existe rastros de oxidación en la parte superior de las corrugas para las barras que tienen Tempcore mientras que las barras de construcción que no tienen Tempcore poseen tan sólo pequeños rastros de oxidación en la intersección de las corrugas con el resalte longitudinal.

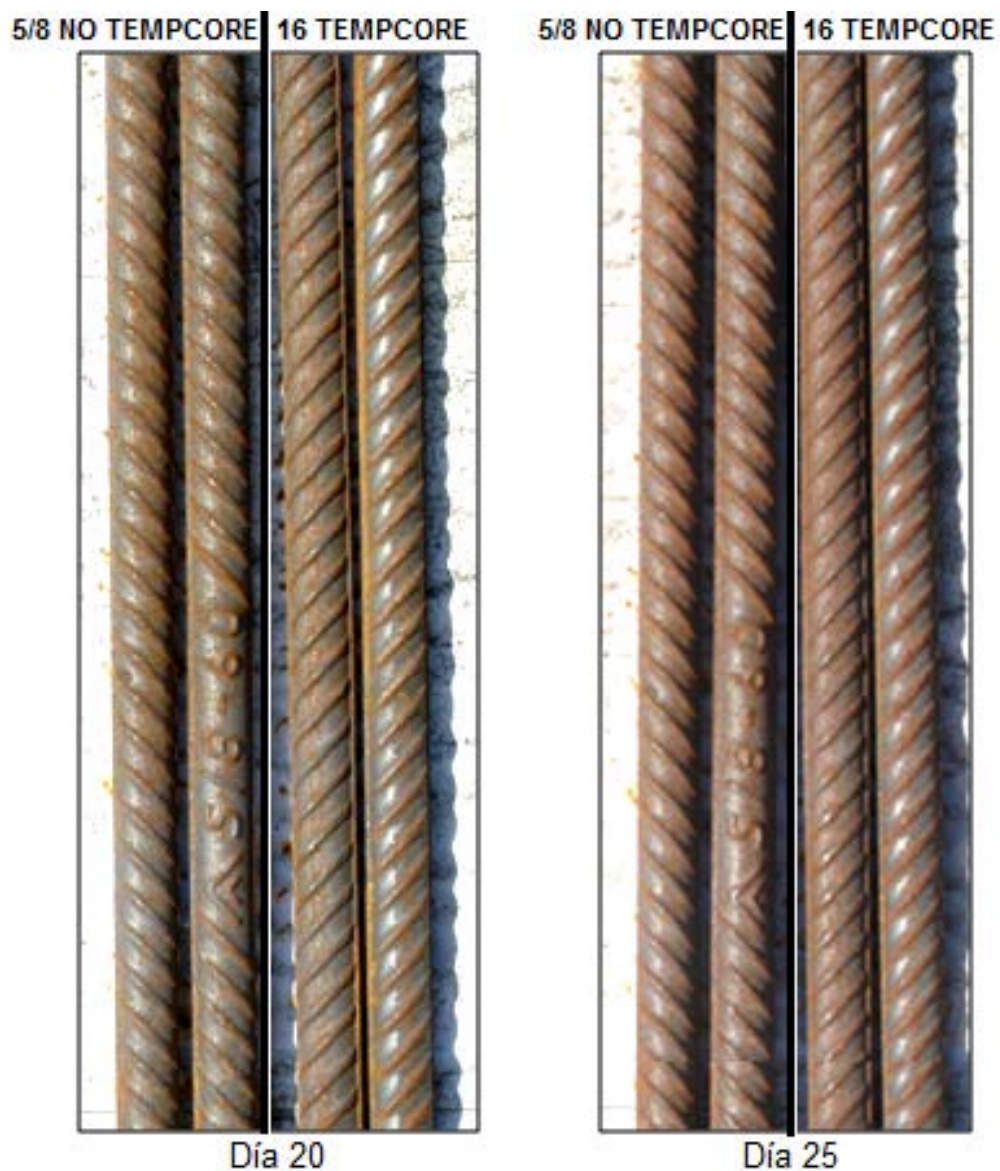
Periodo de evaluación de resistencia a la oxidación – días del 10 al 15:



*Figura 3.5: Barras de construcción oxidadas días del 10 al 15*

Las barras de construcción con y sin Tempcore comienzan a presentar mayor oxidación en toda su superficie, esta oxidación va avanzando de manera uniforme sobre todas las corrugas de las barras, la imagen de las barras en el día 15 pone en evidencia que la oxidación superficial ha llegado a penetrar entre las corrugas de la barras aunque con mayor alcance a las barras que tienen Tempcore. Cabe resaltar que la oxidación en las barras de construcción con Tempcore es más evidente y se encuentra más avanzada.

Periodo de evaluación de resistencia a la oxidación – días del 20 al 25:



*Figura 3.6: Barras de construcción oxidadas días del 20 al 25*

En este periodo, las barras han presentado una oxidación más pronunciada, en el día 20 se puede apreciar que la capa de óxido ya ha recubierto el 80% de la superficie de estas; en el día 25 una delgada capa de óxido ya predomina en toda la superficie y su intensidad en cada una de las barras es más fuerte habiendo cubierto todas las corrugas y también la zona interna entre estas. En este último día se puede notar que la oxidación superficial de las barras que tienen Tempcore y las que no, han llegado a ser relativamente iguales a pesar de que las barras de construcción con Tempcore se comenzaron a oxidar primero en los días anteriores.

Luego de la evaluación y seguimiento de todas estas barras de construcción en oxidación, se evidencia que aquellas barras que tienen Tempcore son propensas a oxidarse más rápido que aquellas barras que no tienen Tempcore. Esto se debe a que las barras que han sido sometidas a tratamientos termomecánicos luego del proceso de laminación en caliente pierden la cascarilla de laminación formada en el enfriamiento lento de las barras cuando terminan de ser laminadas a una temperatura de 900 a 1000°C. Esta cascarilla de laminación no es más que una película de óxido formada a alta temperatura que brinda a las barras que no son tratadas térmicamente una protección natural contra la oxidación. Es por esto que las barras de construcción que no tienen Tempcore presentan una mejor performance frente a la oxidación al medio ambiente.

Es importante mencionar que este estudio sólo ha sido llevado a cabo durante un tiempo en el que las barras de construcción sólo mostraron oxidación sin que esto implique una corrosión más agresiva o extrema por parte del medio, a tal extremo de que pueda haberse presentado picaduras en las mismas muestras de acero.

### **3.4 Análisis comparativo de adherencia al concreto**

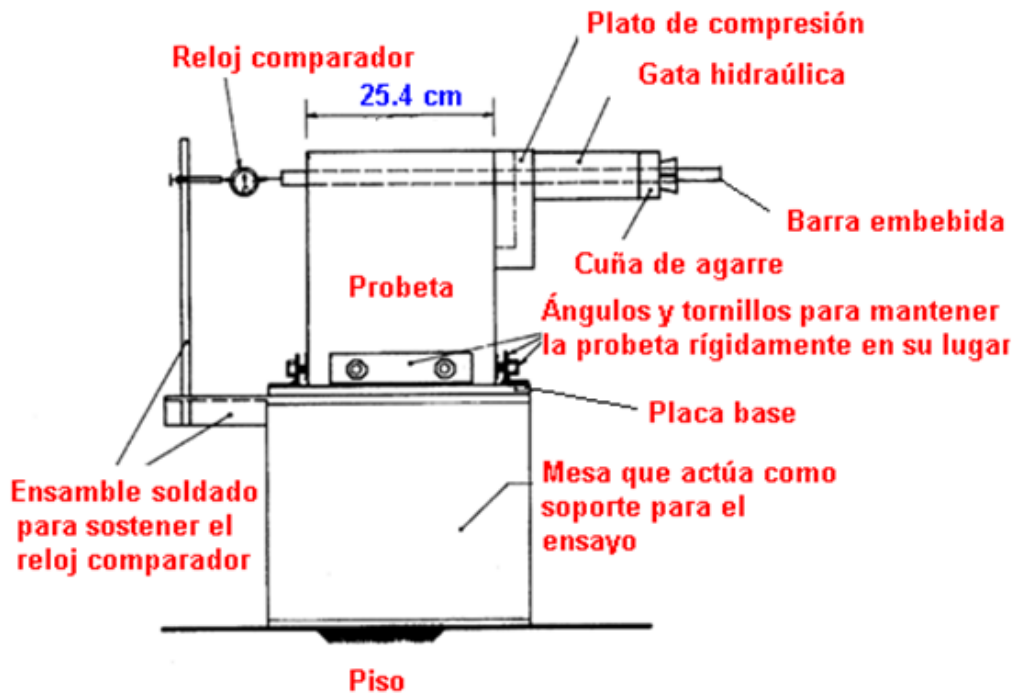
Un estudio complementario a todo lo anteriormente visto, es el estudio de adherencia que las barras de construcción tienen con las estructuras de concreto reforzado. La adherencia es una característica que consiste en medir el grado de unión que hay

entre toda la superficie de la barra con la estructura de concreto donde esta se encuentra. Es precisamente esta característica de las barras de construcción que ha sido el punto de partida para definir, diseñar y configurar toda una geometría que caracteriza a las barras de construcción y que para estas evaluaciones y comparaciones serán las que se pongan a prueba y que se detallan a continuación:

Para ello se ha dispuesto de unas 2 muestras de barras de construcción del diámetro de 1/2" (Código de muestra: 1/2 NO TEMPCORE) y otras 2 muestras más del diámetro de 12mm (Código de muestra: 12 TEMPCORE). Estas muestras serán sometidas a un ensayo denominada Eccentric Pullout que consiste en aplicar una carga de tracción creciente a una barra de construcción embebida a una probeta de concreto, de este modo se podrá controlar la carga aplicada y medir los deslizamientos relativos.

Para poder hacer efectivo este ensayo, se requiere de una gata hidráulica para aplicar la fuerza de tracción que debe aumentar progresivamente cada 500kg-f, esta fuerza es aplicada en la misma dirección donde se encuentra la barra insertada en la probeta de concreto; después de cada incremento de carga se mide el desplazamiento que pueda haber experimentado la barra con respecto a la posición fija del concreto, el ensayo termina cuando la barra termina cediendo por completo del concreto. El esquema de este ensayo de encuentra graficado a continuación:





*Figura 3.7: Vista de perfil del esquema del ensayo Eccentric Pullout*

Los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos a las 2 muestras de barras de construcción que no tienen Tempcore con diámetro de 1/2" y a las 2 muestras de barras de construcción que tienen Tempcore con diámetro de 12mm se muestran a continuación en los siguientes cuadros:

*Tabla 3.4: Resultados de Adherencia para las barras de construcción sin Tempcore: Muestras con código 1/2 NO TEMPCORE*

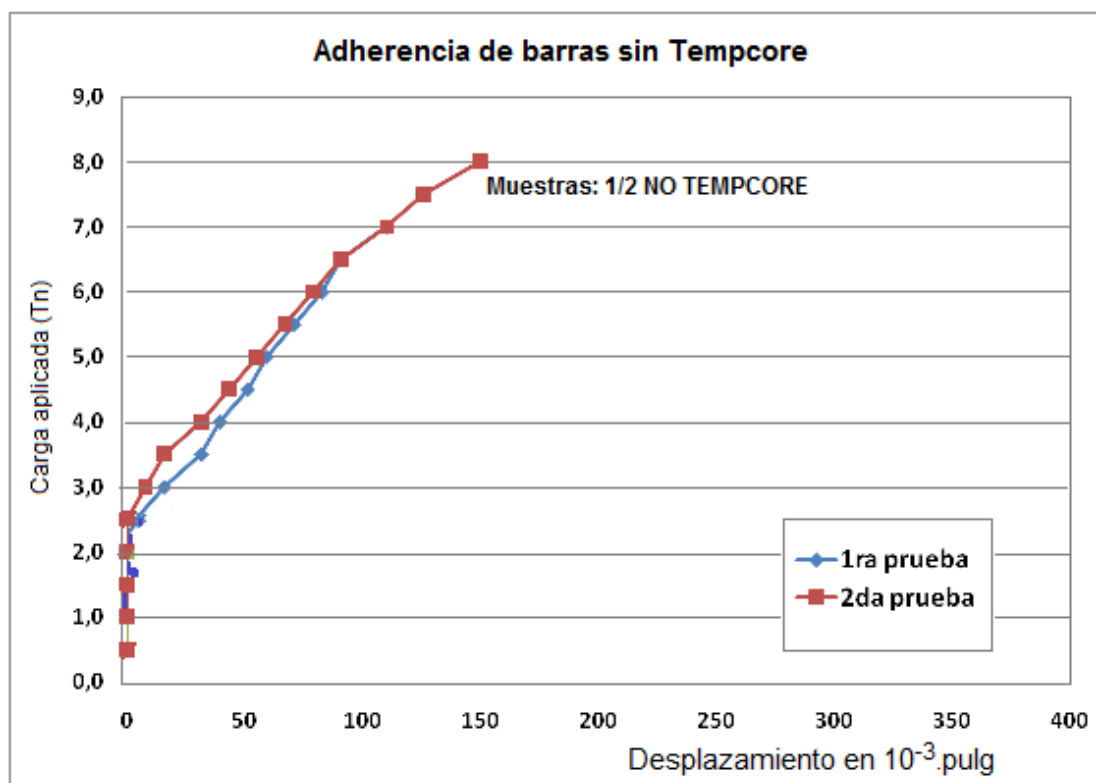


Gráfico de Carga-Desplazamiento para las barras de construcción sin Tempcore se alcanza una carga máxima de 8tn y un desplazamiento máximo de  $160 \times 10^{-3}$  pulgadas.

**Tabla 3.5: Resultados de Adherencia para las barras de construcción con Tempcore: Muestras con código 12 TEMPCORE**

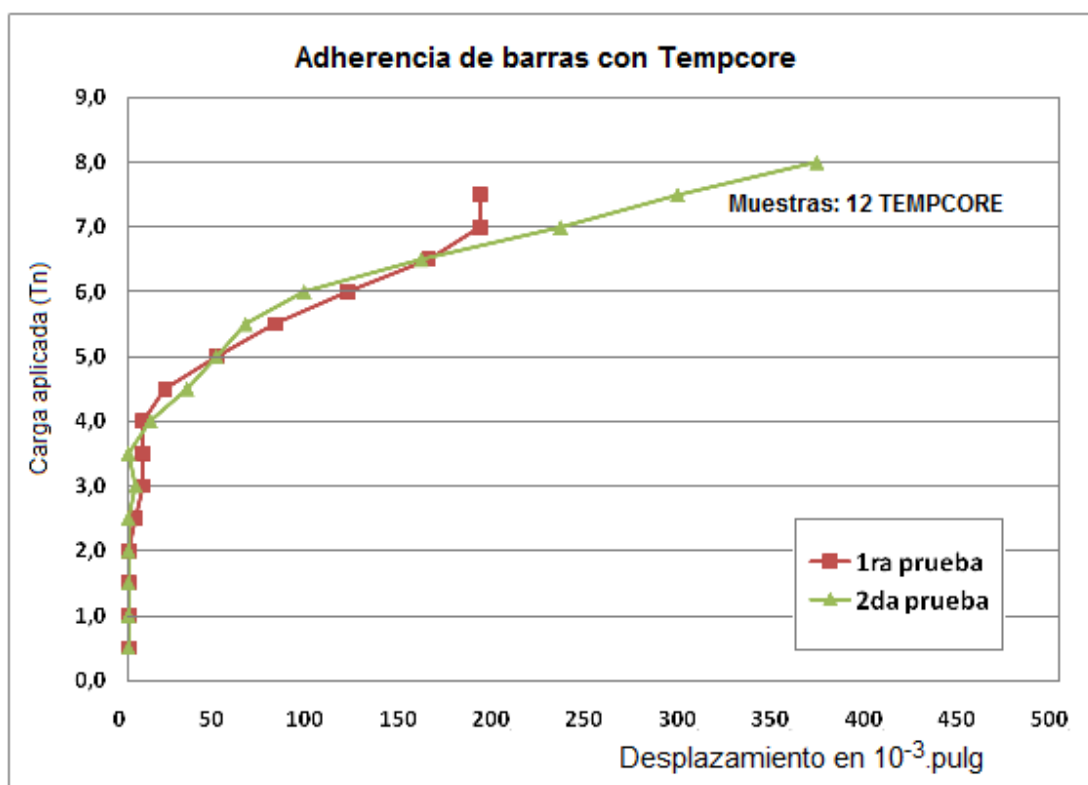


Gráfico de Carga-Desplazamiento para las barras de construcción con Tempcore donde se alcanza una carga máxima de 8tn y un desplazamiento máximo de  $370 \times 10^{-3}$  pulgadas.

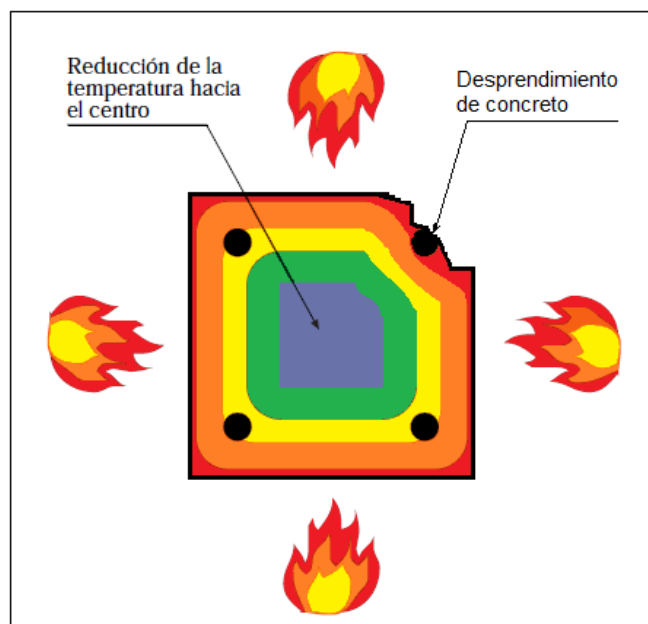
Los resultados de cada uno de los dos cuadros anteriores muestran un comportamiento bastante similar en cuanto al ensayo de adherencia de las barras de construcción tanto con Tempcore y sin Tempcore, ya que en ambos casos de evaluación estas barras presenten una buena adherencia hasta las 6tn de carga de aplicación, luego de esta carga los desplazamientos registran un incremento considerable especialmente las barras de construcción con Tempcore evidenciando que las muestras están a punto de ceder de la probeta de concreto que los alberga.

La razón por la cual estos comportamientos son bastante parecidos hasta la carga de 6Tn es por la similitud en la configuración geométrica de estas barras de construcción que está comprobado que es la principal causa de la adherencia de las barras de construcción, sobresaliendo principalmente las características de altura de la corruga y el espaciamiento de estas para que se de una buena adherencia. Donde se puede concluir que a mayor definición de corruga, altura de corruga y menor espaciamiento permisible entre estas, la adherencia mejorará considerablemente.

### **3.5 Resistencia a altas temperaturas – Incendios**

La resistencia a altas temperaturas de las barras de construcción se debe calificar según el criterio de capacidad de carga que este debe soportar, la estanqueidad y el aislamiento de este. Estos dos últimos términos se refiere a la inexistencia de grietas o fisuras en las construcciones donde las barras de construcción se encuentran como componentes, esto con el fin de evitar la propagación de llamas y gases. Los incendios en las construcciones son casos donde puede medirse la resistencia a altas temperaturas de las barras de construcción.

Los incendios en espacios donde se encuentran elementos estructurales pueden llegar a ser sumamente severos, llegando a sobrepasar los 1000°C de temperatura más aún si estos espacios son confinados como es el caso de túneles y pasillos. Es precisamente en estos lugares donde se pone a prueba la performance de las barras de construcción más aún cuando existe algún desprendimiento de concreto poniendo en contacto directo a las barras de construcción con el fuego.



**Figura 3.8: Esquema de reacción de barras sometidas a alta temperatura**

Según estudios de ingeniería civil, los espacios confinados donde se alcanzan temperaturas extremas debido a incendios, son los túneles cuyas siguientes características hacen que se agrave aún más la situación llegando a sobrepasar los 1000°C:

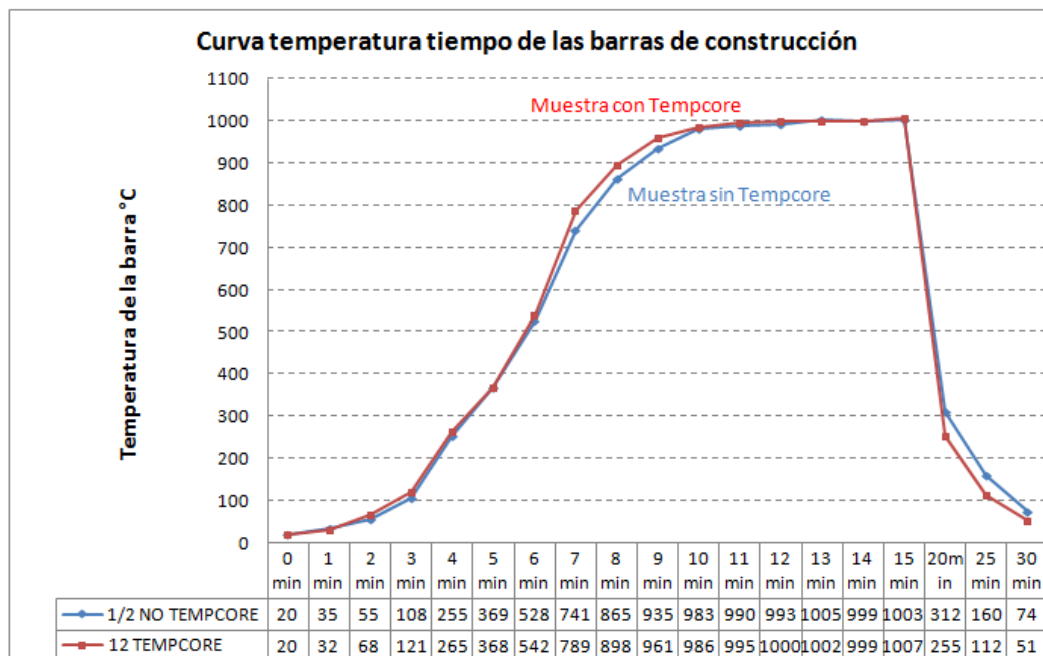
- Túneles con curvas en su estructura
- Las malas condiciones del recubrimiento protector contra incendios dentro de los túneles
- Túneles con mayor pendiente en su calzada.
- Túneles con un pobre asfalto usado como pavimento de la carretera dentro del mismo.

Debido a todas estas condiciones mencionadas, la evaluación realizada en laboratorio sólo se remite a simular las elevadas temperaturas que pueden registrarse en un incendio severo dentro de un túnel con desprendimiento de concreto en el foco del incendio lo cual pone en exposición directa a las barras de construcción a las temperaturas máximas registradas.

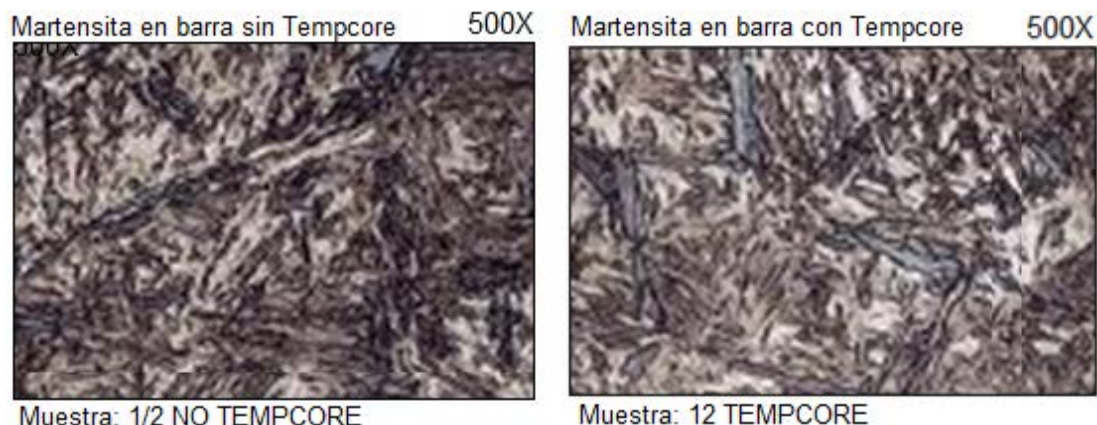
Para esta simulación, se usaron las mismas barras de construcción colocadas en las probetas de concreto del ensayo de adherencia del punto anterior y sometimos a las

barras a una exposición de calor por medio de un soplete de oxicrote durante 15 minutos, se controló su temperatura a distancia con un pirómetro tratando de mantenerla a un promedio de 1000°C. Luego de esto, el paso final fue retirar el soplete de oxicrote y exponer la superficie a un enfriamiento rápido que es cuando se llega a controlar el incendio, esto se realizó echando polvo químico seco sobre la superficie de toda la zona de la barra puesta al rojo vivo. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 3.6: Cuadro de seguimiento de temperaturas a barras de construcción**



Una vez enfriadas las muestras se procedió a realizar una evaluación de metalografía a cada una de las dos muestras obtenidas luego de esta simulación obteniéndose los siguientes resultados:



***Figura 3.9: Estructura metalográfica de las barras expuestas a altas temperaturas y enfriadas súbitamente***

Tal como era de esperarse, los resultados muestran una similitud en cuanto a la metalografía realizada a ambas barras de construcción (con y sin Tempcore). Esto se debe a que ambas muestras fueron llevadas a calentarse a unos 1000°C, temperatura en la que, según el gráfico de hierro – carbono, el acero de medio carbono que está puesto en estudio, pasa a convertirse en estado de Austenita.

Ya como austenita, manteniéndose en esta fase durante aproximadamente unos 5 minutos, ambas barras afectadas y al rojo vivo fueron enfriadas rápidamente con el polvo químico seco del extintor utilizado y también con agua haciendo que su estado cambie a Martensita y, al no haber habido ninguna otro tratamiento adicional para liberación de tensiones, estas barras quedan con esta microestructura modificada a martensita que se caracteriza por ser bastante dura y considerablemente frágil.

Ambas muestras de barras de construcción tanto la que tiene Tempcore como la que no tiene, tuvieron los mismos resultados para la misma evaluación, lo cual indica que definitivamente la calidad y performance de las barras de construcción directamente expuestas a focos de incendio severos, sea en toda su estructura o parte de ella, y luego enfriadas rápidamente compromete su uso y deberá ser reemplazada ya que pierde las propiedades mecánicas que inicialmente se les brindó durante su proceso de fabricación por laminación en caliente.

## CONCLUSIONES

1. Las barras de construcción que poseen mayor diferencia entre el punto de fluencia y la resistencia límite de tracción son aquellas que tienen una mayor zona plástica y, en consecuencia, tendrán un mayor alargamiento. Por tanto, luego de haber realizado el análisis del límite de fluencia, resistencia a la tracción y alargamiento; se tiene como evidencia que las barras de construcción que no tienen Tempcore evaluadas en este estudio poseen mejores propiedades mecánicas que las barras de construcción que sí tienen Tempcore.
2. Con respecto a la elasticidad que presentaron estas barras estudiadas en el ensayo de tracción, se concluye que aquellas barras sin Tempcore mostraron resultados más uniformes que aquellos obtenidos para las barras con Tempcore, ya que para este último grupo, la elasticidad disminuía a medida que las barras en el ensayo aumentaban de diámetro, mientras que en las barras sin Tempcore, la elasticidad se mantiene en el mismo resultado para todos los diámetros de barra ensayados.
3. La aplicación del Tempcore hace que las propiedades mecánicas, inicialmente bajas para el tipo de composición química que posee, se eleven a tal punto que puedan llegar a cumplir las exigencias impuestas según norma, esto es una alternativa que se aplica con el objetivo de obtener un producto cada vez más versátil y con mayor funcionalidad y que para el caso de estas barras de construcción, la gran ventaja se encuentra en la reducción en cantidad de los elementos químicos ligados directamente a brindar las propiedades mecánicas típicas a las barras de construcción.
4. Luego de la evaluación y seguimiento de todas estas barras de construcción en su proceso de oxidación, se evidencia que aquellas barra que tienen Tempcore son propensas a oxidarse más rápido que aquellas barras que no tienen Tempcore. Esto se debe a que las barras que han sido sometidas a tratamientos

termomecánicos luego del proceso de laminación en caliente (barras con Tempcore) pierden la cascarilla de laminación formada en el enfriamiento lento al término de su laminación entre 900 a 1000°C. Esta cascarilla de laminación no es más que una película de óxido que brinda a las barras una protección natural contra la oxidación. Es por esto que las barras de construcción que no tienen Tempcore presentan una mejor performance frente a la oxidación al medio ambiente.

5. Tanto las barras de construcción con Tempcore como aquellas sin Tempcore, mostraron una performance muy similar en los ensayos de adherencia al concreto y esto se debe a la configuración geométrica de estas barras de construcción, pues son barras cuyas características de diseño son bastante parecidas. Esto refuerza lo indicado en la bibliografía pues está comprobado que la configuración geométrica de la barra de construcción es la principal causa de la adherencia de esta al concreto, donde se puede concluir que a mayor definición de corruga, altura de corruga y menor espaciamiento permisible entre estas, la adherencia mejorará considerablemente.
6. Ambas muestras de barras de construcción tanto las que tienen y no tienen Tempcore, tuvieron los mismos resultados en cuanto a la resistencia a altas temperaturas, lo cual indica que definitivamente la calidad y performance de las barras de construcción directamente expuestas a focos de incendio severos, sea en toda su estructura o parte de ella y luego enfriadas rápidamente, poseen los mismos resultados lo cual compromete su uso y deberá ser reemplazada ya que pierde las propiedades mecánicas que inicialmente se les brindó durante su proceso de fabricación por laminación en caliente.
7. Según este estudio realizado, se concluye que tanto las barras de construcción con Tempcore y aquellas sin Tempcore, poseen ciertas ventajas una sobre la otra en cada una de los ensayos realizados. Lo más crucial e importante en los temas de calidad de los productos estructurales, es que cumplan estrictamente con lo indicado en la norma bajo el cual se fabrican estos materiales.



## BIBLIOGRAFIA

1. Norma ASTM A615/A615M Año 2012, Especificación Normalizada para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto.
2. Norma NBR 7480:2007; Acero destinado a armaduras para estructuras de concreto armado - Especificación
3. Norma ASTM A370 Año 2012; Especificación para métodos de ensayo, terminología y definiciones en los ensayos mecánicos para productos de acero.
4. The American Rust Standard Guide, guía para la evaluación del grado de oxidación en superficies de productos de acero.
5. Manual de Armaduras de refuerzo para concreto reforzado, Fabricación – Instalación – Protección.
6. <http://www.steeluniversity.org/content/html/eng/default.asp?catid=113&pageid=2081271369> (17 de setiembre del 2013)  
  
Aplicaciones de los aceros en la industria de la construcción.
7. [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-quezada\\_ar/pdfAmont/cf-quezada\\_ar.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-quezada_ar/pdfAmont/cf-quezada_ar.pdf) (23 de mayo del 2013)  
Tesis sobre los efectos de la soldadura en empalmes de las barras de construcción. Universidad de Chile
8. <http://eprints.ucm.es/4619/1/ucm-t25335.pdf> (23 de mayo del 2013)  
Tesis doctoral sobre la caracterización de un acero hipereutectoide.  
Universidad Complutense de Madrid.

## ANEXOS

**Anexo N°1:** Reporte de la evaluación metalográfica de muestras de barras de construcción bajo norma NBR 7480.

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD</b>	CODIGO : PRDM001LM REVISION : 01 PAGINA : 1 de 2 APROBADO : VGR FECHA : 2009/11
	<b>8.2.4. REPORTE METALOGRAFICO N° 183-10</b> DEPARTAMENTO METALÚRGICO – LABORATORIO METALOGRAFICO	

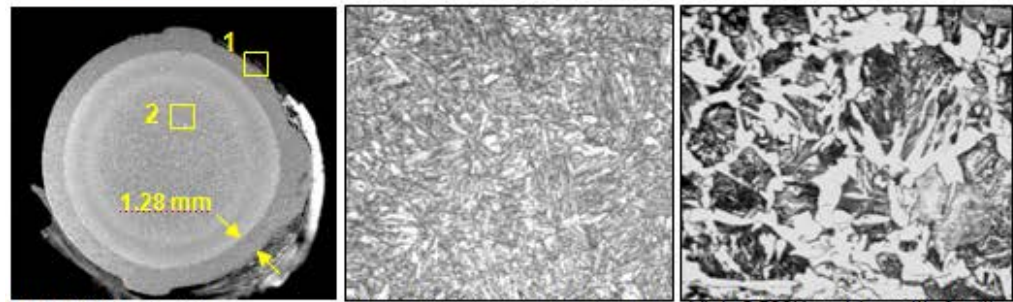
Detalles de la Muestra	
Procedencia:	SEDE 2 PISCO
Material:	BACO Ø 16mm.
Identificación de Origen:	IMPORTADO
Código interno:	M-216-10
Fecha de Ingreso/Cierre:	24-10-2010
Servicio solicitado por:	DEPARTAMENTO METALURGICO

Detalles del Ensayo o Análisis	
Operador:	G. Muñante
Ensayo / análisis:	OBERVACIÓN MACRO
Sección analizada:	TRANSVERSAL
Preparación:	PULIDO
Ataque químico:	NITAL 3%
Magnificación:	INDICADAS

Información inicial de la muestra:
08 muestras de BACO de Ø16mm, provistas por el Departamento Metalúrgico para su observación, si presentan corona superficial.

Resultados de la evaluación:
De acuerdo a la observación macro de las muestras se aprecia corona de tratamiento térmico superficial ( <u>Tempcore</u> ) en las muestras compuesta por martensita revenida, la estructura matriz esta compuesta por Perlita y Ferrita acicular. Siendo el espesor máximo de la corona de 1.28 mm.

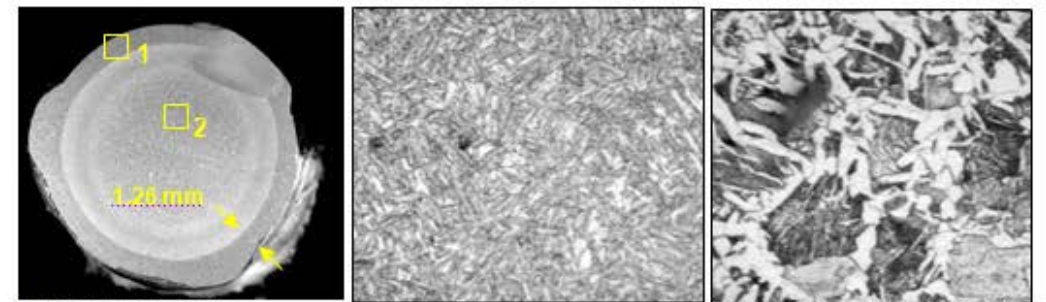
## BACO Ø 16mm



MUESTRA 1 6X

Vista 1 500X, martensita revenida

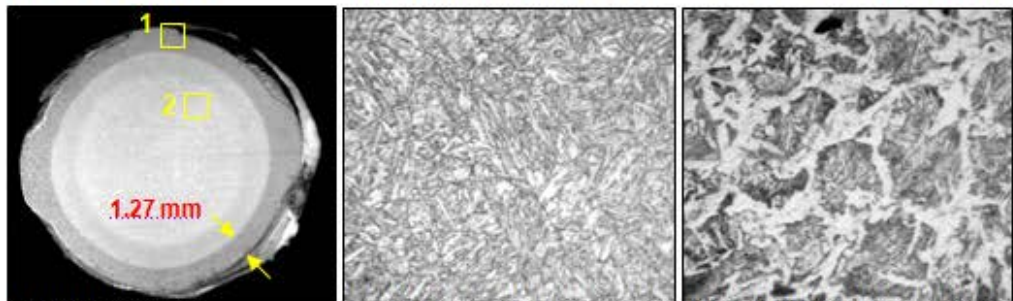
Vista 2 500X, matriz perlita ferrítica



MUESTRA 2 6X

Vista 1 500X, martensita revenida

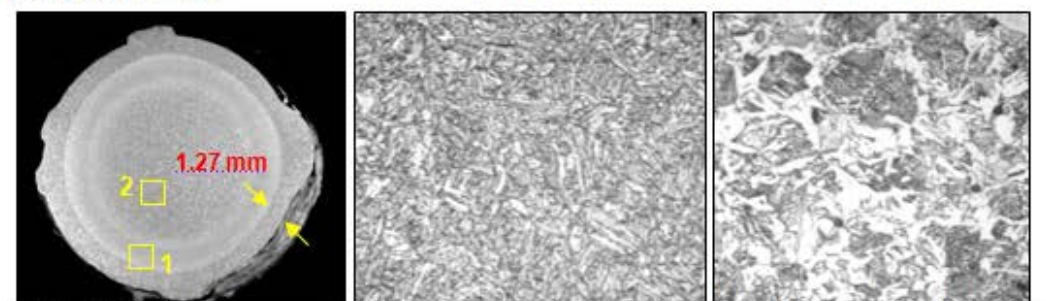
Vista 2 500X, matriz perlita ferrítica



MUESTRA 3 6X

Vista 1 500X, martensita revenida

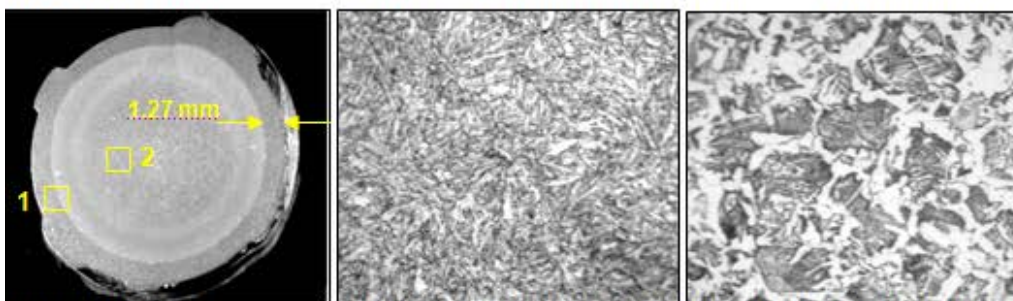
Vista 2 500X, matriz perlita ferrítica



MUESTRA 4 6X

Vista 1 500X, martensita revenida

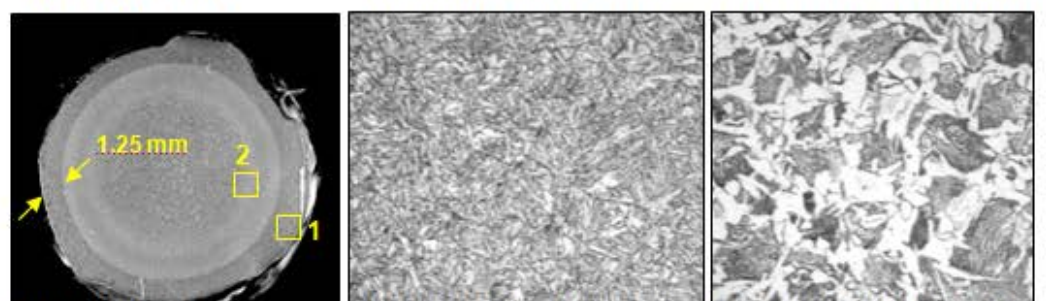
Vista 2 500X, matriz perlita ferrítica



MUESTRA 5 6X

Vista 1 500X, martensita revenida

Vista 2 500X, matriz perlita ferrítica



MUESTRA 6 6X

Vista 1 500X, martensita revenida

Vista 2 500X, matriz perlita ferrítica

**Anexo N° 2:** Reporte de la evaluación metalográfica de muestras de barras de construcción bajo norma ASTM A615.

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD</b>	CODIGO :PRDM001LM REVISION :01 PAGINA : 1 de 2 APROBADO :VGR FECHA :2009/11
	<b>8.2.4. REPORTE METALOGRAFICO N° 419-12</b> DEPARTAMENTO METALÚRGICO – LABORATORIO METALOGRAFICO	

<b>Detalles de la Muestra</b>	
Procedencia:	SEDE 2 PISCO
Material:	BARRA CORRUGADA Ø 5/8
Identificación de Origen:	COL 250653, COL 251415
Código interno:	M-419-12
Fecha de Ingreso/Cierre:	30-11-2012
Servicio solicitado por:	CONTROL DE CALIDAD LAMINACION

<b>Detalles del Ensayo o Análisis</b>	
Operador:	Tco. C. Ortiz
Ensayo / análisis:	EVALUACION DEL MATERIAL
Sección analizada:	TRANSVERSAL / LONGITUDINAL
Preparación:	Pulido Espejo
Ataque químico:	Nital 3%
Magnificación:	Indicadas

#### **Información inicial de la muestra:**

03 muestras de barras corrugadas Ø 5/8 (Prueba de Laminación), provista por control de calidad laminación, para realizar la evaluación de las muestras y posibles defectos superficiales detectados en la inspección del material.

#### **Resultados de la evaluación:**

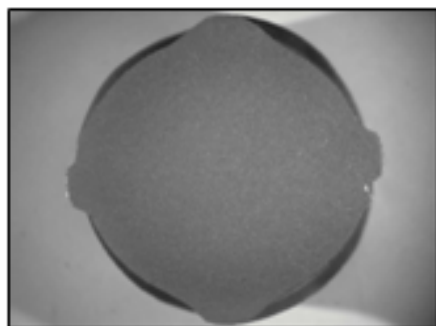
La evaluación de las muestras indica que este presenta micro inclusiones del tipo Sulfuro Nivel 3 Serie fina, la micro estructura matriz es de Perlita y Ferrita (borde de grano) con tamaño de grano promedio según ASTM G 6.0/6.5.

La evaluación de calidad superficial indica que no hubieron defectos superficiales en las muestras evaluadas.

#### **Análisis complementarios:**

No aplica.

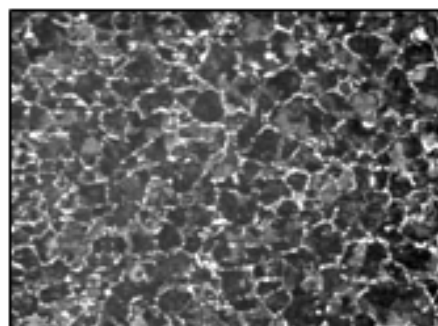
BACO Ø 5/8"



Col 250653, Nital, 4X

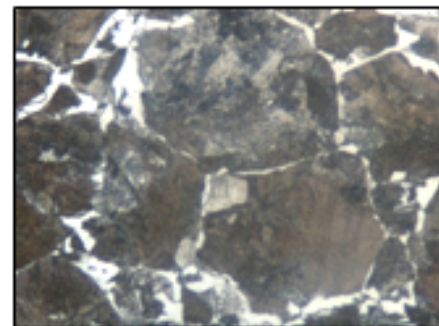


250653, limpieza sulfuros Nivel 3 / serie fina

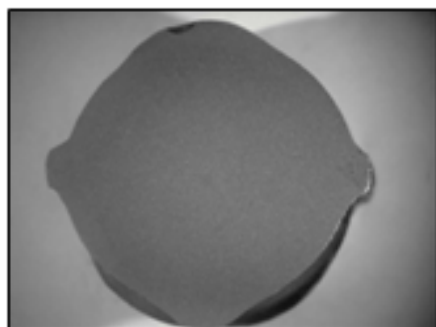


250653

ASTM G = 5.75  
 $\mu\text{m} = 49.93$



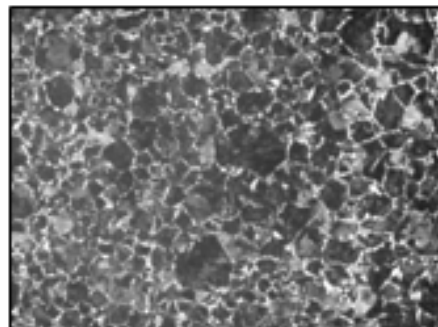
250653, Matriz ferrita perlítica 500X



Col 251415-1, Nital, 4X

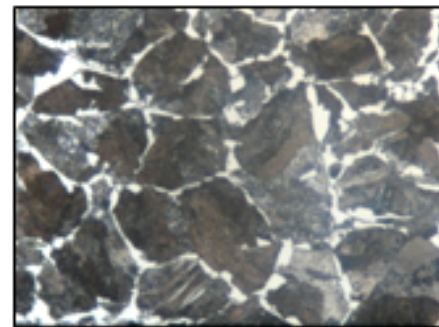


251415-1, limpieza sulfuros Nivel 3 / serie fina

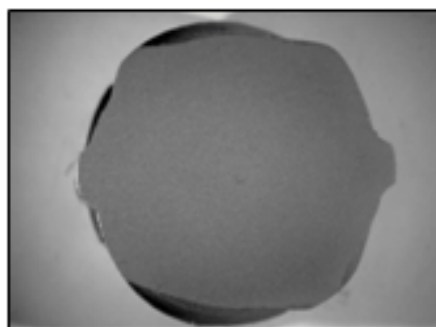


251415-1

ASTM G = 6.00  
 $\mu\text{m} = 41.95$



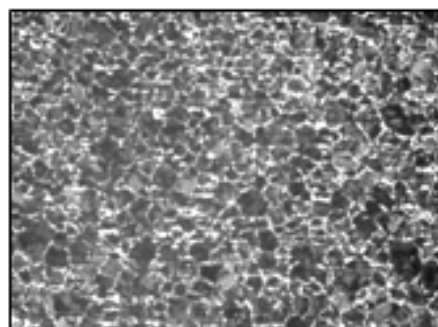
251415-1, Matriz ferrita perlítica 500X



Col 251415-2, Nital, 4X

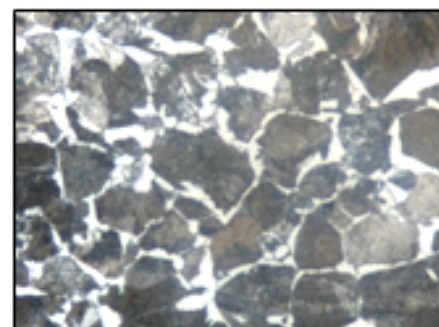


251415-2, limpieza sulfuros Nivel 3 / serie fina




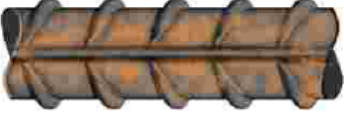



251415-2

ASTM G = 6.50  
 $\mu\text{m} = 38.97$



251415-2, Matriz ferrita perlítica 500X

### Anexo N° 3: Tabla de patrones de oxidación en las barras de construcción

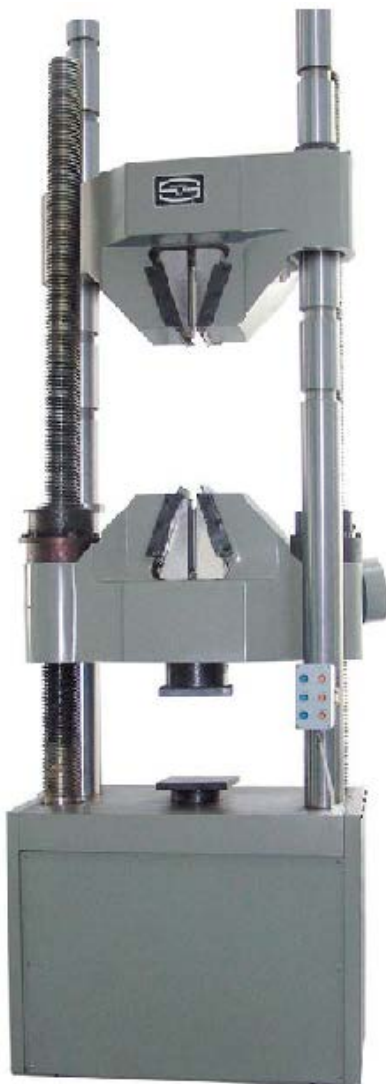
Grados de Corrosión en Barras Individuales Oxidadas		
	Descripción de la visualización	Recomendaciones previas a su uso
<p>Grado A<sub>0</sub>: Barra recién laminada</p> 	<p>Superficie lisa y uniforme color gris oscuro o gris acero, con firmes y delgadas películas adheridas producto de la laminación (laminillas) y sin nada de óxido aparente.</p>	<p>Sin restricción de uso</p>
<p>Grado A<sub>1</sub>: Barra levemente oxidada</p> 	<p>Superficie lisa y uniforme color gris oscuro o gris acero, con firmes y delgadas películas adheridas producto de la laminación (laminillas), pero con algunas zonas manchadas con un polvillo color pardo amarillento, producto de una oxidación superficial por condensación de la humedad del medio ambiente mezclada con elementos de naturaleza orgánica o química poco agresivos. Este polvillo se pierde generalmente con la manipulación.</p>	<p>Sin restricción de uso</p>
<p>Grado B: Barra poco oxidada</p> 	<p>Superficie con zonas mayoritariamente de color pardo rojizo, donde algunas poquisimas costras y laminillas comienzan a soltarse, pero el núcleo, todos los resaltes y los nervios longitudinales se notan relativamente sanos. Las barras presentan pocas, pequeñas e insignificantes picaduras (puntos de corrosión) y prácticamente no pierde óxido suelto por manipulación.</p>	<p>Sin restricción de uso, salvo que en algunos casos se podría requerir una leve limpieza superficial con herramienta manual o mecánica (SP-2 o SP-3).</p>
<p>Grado C: Barra oxidada</p> 	<p>Superficie de color pardo rojizo, donde un porcentaje de los resaltes y nervios longitudinales se notan dañados y casi han perdido su forma original. Tiene varias costras y laminillas sueltas y solo unas pocas aún están adheridas, a simple vista presenta herrumbre y varias picaduras y cráteres (puntos de corrosión), pero pierde un poco de óxido suelto por manipulación.</p>	<p>Estas barras requieren obligatoriamente de limpieza superficial manual o motriz enérgica y profunda (SP2 o SP-3), y por ello su uso está condicionado a una verificación previa de la masa y características dimensionales de sus resaltes y nervios longitudinales, para verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos exigidos por la norma oficial chilena NCh204.Of77.</p>
<p>Grado D: Barra muy oxidada</p> 	<p>Superficie de color rojizo y en ocasiones con zonas manchadas con matices de otros colores, producto del hollín y de otros agresivos del medio ambiente. La laminilla se ha desprendido en su totalidad y presenta muchas costras, muchas de las cuales se desprenden solas o con escobillado manual. El núcleo, los resaltes y los nervios longitudinales con bastantes cráteres o picaduras. Los resaltes y nervios desaparecen en algunas partes confundidos con los elementos de la corrosión. Las barras pierden bastante óxido y herrumbre por manipulación.</p>	<p>No sería recomendable el uso de estas barras, ya que al ser manipuladas y tratadas mediante cualquier método de limpieza superficial, es altamente probable una pérdida importante de su masa o de las características dimensionales de los resaltes, no cumpliendo así con los requisitos mínimos exigidos por la norma oficial chilena NCh204.Of77.</p>

**Anexo N° 4:** Equipos utilizados en las evaluaciones y ensayos a las barras de construcción en el presente estudio.

**Medidor de perfil**



**Microscopio Metalográfico**



**Máquina de ensayos de tracción**

**Balanza**



## Anexo N°5: Información de la Norma ASTM A615 tomada como referencia para el estudio.



Designación: A615/A615M – 12

American Association State  
Highway and Transportation Officials  
Norma AASHTO No.: M 31

### Especificación Normalizada para Barras de Acero al Carbono Lisas y Corrugadas para Refuerzo de Concreto<sup>1</sup>

Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija A 615/A 615M; el número inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción inicial o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Una epsilon (ε) como superíndice indica una modificación editorial desde la última revisión o reaprobación.

*Esta norma ha sido aprobada para su utilización por agencias del Departamento de Defensa.*

#### 1. Alcance<sup>1</sup>

1.1 Esta especificación trata sobre barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto en tramos cortados y rollos. Se permiten las barras de acero que contienen adiciones de aleaciones, tales como con las series de aceros aleados del Instituto Americano del Hierro y el Acero, y de la Sociedad de Ingenieros del Automotor, si el producto resultante cumple todos los otros requisitos de esta especificación. Los tamaños y dimensiones normalizadas de barras corrugadas y sus designaciones de números son dados en la Tabla 1. El texto de las referencias, notas y notas al pie de página de esta especificación suministra material explicativo. Esas notas y notas al pie de página (excluyendo las de tablas) no deben ser consideradas como requisitos de esta especificación.

1.2 Las barras tienen cuatro niveles mínimos de límite de fluencia: a saber, 40 000 [280 MPa], 60 000 [420 MPa], 75 000 psi [520 MPa], y 80 000 [550 MPa], designadas como Grado 40 [280], Grado 60 [420], Grado 75 [520], y Grado 80 [550], respectivamente.

1.3 Las barras lisas, en tamaños de hasta 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in. [63.5 mm] de diámetro, incluidos, en rollos o tramos cortados, cuando son ordenadas, deben ser suministradas bajo esta especificación en Grado 40 [280], Grado 60 [420], Grado 75 [520], y Grado 80 [550]. Para propiedades de ductilidad (alargamiento y flexión), deben aplicarse las disposiciones de ensayo del tamaño de barra corrugada del diámetro nominal más pequeño que esté más cercano. No son aplicables los requisitos dados para corrugación y etiquetado.

NOTA 1—La soldadura del material en esta especificación debería ser abordada con cuidado debido a que no han sido incluidas disposiciones específicas para mejorar su electrosoldabilidad. Cuando el acero va a ser electrosoldado, debería usarse un procedimiento de soldadura adecuado para la composición química y el uso o servicio previsto. Se recomienda el uso de la última edición de AWS D 1.4/D 1.4M. Este documento describe la selección apropiada de los metales de relleno y temperaturas de precalentamiento/interpaso, como así también requisitos de calificación de desempeño y procedimiento.

1.4 Esta especificación es aplicable para ordenes de compra en unidades pulgada-libra (como la Especificación A 615) o en unidades SI (como la Especificación A 615M).

1.5 Los valores indicados en unidades pulgada-libra o en unidades SI deben ser considerados como los estándares. Dentro del texto, las unidades SI se muestran entre corchetes. Los valores indicados en cada sistema no son exactamente equivalentes; por eso, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la especificación.



1.6 Esta norma no pretende dirigir todas las inquietudes sobre seguridad, si las hay, asociadas con su utilización. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

## 2. Documentos Citados

### 2.1 Normas ASTM:<sup>2</sup>

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

A 510 Specification for General Requirements for Wire Rods and Coarse Round Wire, Carbon Steel

A 510M Specification for General Requirements for Wire Rods and Coarse Round Wire, Carbon Steel [Metric]

A 700 Practices for Packaging, Marking, and Loading Methods for Steel Products for Shipment

A 706/A 706M Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement

A 751 Test Methods, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

### 2.2 Normas AWS:<sup>3</sup>

AWS D 1.4/D 1.4M Structural Welding Code—Reinforcing Steel

### 2.3 Normas Militares de U.S.:<sup>4</sup>

MIL-STD-129 Marking for Shipment and Storage

### 2.4 Norma Federal de U.S.:<sup>4</sup>

Fed. Std. N°123 Marking for Shipment (Civil Agencies)

TABLA 1 Números de Designación de Barras Corrugadas, Pesos [Masas] Nominales, Dimensiones Nominales, y Requisitos de Corrugaciones

Designación de barra N <sup>o</sup> A	Peso nominal, lb/ft [Masa Nominal, kg/m]	Dimensiones Nominales <sup>a</sup>			Requisitos de Corrugaciones, in. [mm]		
		Diámetro, in. [mm]	Sección Transversal, in. <sup>2</sup> [mm <sup>2</sup> ]	Perímetro, in. [mm]	Espaciamiento Promedio Máximo	Altura Promedio Mínima	Intervalo máximo (Cuerda del 12.5 % del Perímetro Nominal)
3 [10]	0.376 [0.560]	0.375 [9.5]	0.11 [71]	1.178 [29.9]	0.262 [6.7]	0.015 [0.38]	0.143 [3.6]
4 [13]	0.668 [0.994]	0.500 [12.7]	0.20 [129]	1.571 [39.9]	0.350 [8.9]	0.020 [0.51]	0.191 [4.9]
5 [16]	1.043 [1.552]	0.625 [15.9]	0.31 [199]	1.963 [49.9]	0.437 [11.1]	0.028 [0.71]	0.239 [6.1]
6 [19]	1.502 [2.235]	0.750 [19.1]	0.44 [284]	2.356 [59.8]	0.525 [13.3]	0.038 [0.97]	0.286 [7.3]
7 [22]	2.044 [3.042]	0.875 [22.2]	0.60 [387]	2.749 [69.8]	0.612 [15.5]	0.044 [1.12]	0.334 [8.5]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.000 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.700 [17.8]	0.050 [1.27]	0.383 [9.7]
9 [29]	3.400 [5.060]	1.128 [28.7]	1.00 [645]	3.544 [90.0]	0.790 [20.1]	0.056 [1.42]	0.431 [10.9]
10 [32]	4.303 [6.404]	1.270 [32.3]	1.27 [819]	3.990 [101.3]	0.889 [22.6]	0.064 [1.63]	0.487 [12.4]
11 [36]	5.313 [7.907]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]	4.430 [112.5]	0.987 [25.1]	0.071 [1.80]	0.540 [13.7]
14 [43]	7.65 [11.38]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]	5.32 [135.1]	1.185 [30.1]	0.085 [2.16]	0.648 [16.5]
18 [57]	13.60 [20.24]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]	7.09 [180.1]	1.58 [40.1]	0.102 [2.59]	0.864 [21.9]

<sup>a</sup>Las dimensiones nominales de una barra corrugada son equivalentes a aquellas de una barra redonda lisa que tiene el mismo peso [masa] por pie [metro] de la barra corrugada.

## 3. Terminología

### 3.1 Definiciones de Términos Específicos para Esta Norma:

3.1.1 *corrugaciones, n*—protuberancias transversales sobre una barra corrugada.

3.1.2 *barra corrugada, n*—barra de acero con protuberancias, una barra que está prevista para usar como refuerzo en construcciones de concreto reforzado.

3.1.2.1 *Discusión*—La superficie de la barra está provista con rebordes o protuberancias que inhiben el movimiento longitudinal de la barra relativo al concreto que circunda la barra en tal construcción. Los rebordes o protuberancias cumplen las disposiciones de esta especificación.

---

#### 4. Información de la Orden de Compra

4.1 Debe ser responsabilidad del comprador especificar todos los requisitos que son necesarios para el material ordenado según esta especificación. Tales requisitos deben incluir, sin limitarse a ello, lo siguiente:

- 4.1.1 Cantidad (peso) [masa],
- 4.1.2 Nombre del material (barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto),
- 4.1.3 Tamaño,
- 4.1.4 Tramos cortados o rollos,
- 4.1.5 Lisa o corrugada,
- 4.1.6 Grado,
- 4.1.7 Empaquetado (vea Sección 20),
- 4.1.8 Designación ASTM y año de edición, y
- 4.1.9 Informes de ensayos de fábrica certificados (si se desea). (Vea Sección 16.)

#### 5. Materiales y Fabricación

5.1 Las barras deben ser conformadas a partir de hornadas identificadas en forma apropiada, ya sea por lingotes o por colada continua, usando el proceso de horno eléctrico, oxígeno básico, u horno de hogar abierto.

#### 6. Composición Química

6.1 Se debe determinar el análisis químico de cada hornada de acero de acuerdo con los Métodos de Ensayo, Prácticas, y Terminología A751. El fabricante debe realizar el análisis a partir de muestras de ensayo tomadas preferentemente durante el vertido de las hornadas. Se deben determinar los porcentajes de carbono, manganeso, fósforo y azufre. El contenido de fósforo así determinado no debe exceder de 0.06 %.

6.2 Un control del producto respecto al fósforo hecho por el comprador no debe exceder lo especificado en 6.1 en más del 25 %.

#### 7. Requisitos para Corrugaciones

7.1 Las corrugaciones deben estar espaciadas a lo largo de la barra a distancias sustancialmente uniformes. Las corrugaciones sobre lados opuestos de la barra deben ser similares en tamaño, forma y patrón.

7.2 Las corrugaciones deben estar ubicadas con respecto al eje de la barra tal que el ángulo incluido no sea menor a 45°. Donde la línea de las corrugaciones forma un ángulo incluido con el eje de la barra de 45 a 70° inclusive, las corrugaciones deben revertirse en su dirección alternativamente sobre cada lado, o aquellos sobre un lado deben revertirse en dirección de los del lado opuesto. Donde la línea de corrugaciones está a más de 70°, no debe requerirse una reversión de la dirección.

7.3 El espaciamiento promedio o distancia entre corrugaciones sobre cada lado de la barra no debe exceder siete décimos del diámetro nominal de la barra.

7.4 La longitud total de las corrugaciones debe ser tal que el intervalo (medido como una cuerda) entre los extremos de las corrugaciones no debe exceder 12.5 % del perímetro nominal de la barra. Donde los extremos terminan en un ribete, el ancho del ribete debe ser considerado como el intervalo entre esos extremos. La suma de los intervalos no debe exceder 25 % del perímetro nominal de la barra. El perímetro nominal de la barra debe ser 3.1416 veces el diámetro nominal.

7.5 El espaciamiento, altura, e intervalo de las corrugaciones deben cumplir con los requisitos prescritos en la Tabla 1.

#### 8. Mediciones de Corrugaciones

8.1 El espaciamiento promedio de las corrugaciones debe ser determinado midiendo la longitud de un mínimo de diez espacios y dividiendo la longitud por el número de espacios incluidos en la medición. La medición debe comenzar desde un punto sobre una corrugación al comienzo del primer espacio hasta un punto correspondiente sobre una corrugación posterior al último espacio incluido. Las mediciones de espaciamiento no deben ser hechas sobre un área de una barra que contenga marcas de identificación de barra que involucren letras o números.

8.2 La altura promedio de las corrugaciones debe ser determinada a partir de mediciones hechas sobre no menos de dos corrugaciones típicas. Las determinaciones deben estar basadas sobre tres mediciones por corrugación, uno al centro de la longitud total y las otras dos en los cuartos de la longitud total.

## 9. Requisitos de Tracción

9.1 El material, representado por los especímenes de ensayo, debe cumplir con los requisitos de propiedades de tracción prescritos en la Tabla 2.

9.2 El punto o límite de fluencia debe ser determinado por uno de los métodos siguientes:

9.2.1 El punto de fluencia debe ser determinado por caída o detención del indicador de la máquina de ensayo, donde el acero ensayado tenga quiebre agudo o un tipo de punto de fluencia bien definido.

9.2.2 Donde el acero ensayado no tenga un punto de fluencia bien definido, se debe determinar el límite de fluencia mediante el método de desplazamiento (desplazamiento al 0.2%), como se describe en los Métodos de Ensayo y Definiciones A 370. También debe ser requerido un segundo resultado de ensayo de tracción como se indica en 9.2.2.1.

9.2.2.1 Cuando el método del desplazamiento se use para determinar el límite de fluencia, el material representado por los especímenes de ensayo debe cumplir con un requisito adicional: el esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.0035 debe ser como mínimo de 60 000 psi [420 MPa] para Grado 60 [420], como mínimo de 75 000 psi [520 MPa] para Grado 75 [520], y como mínimo de 80 000 psi [550 MPa] para Grado 80 [550]. El valor de esfuerzo correspondiente a una deformación en tracción de 0.0035 debe ser informado en el informe de ensayo (16.1.2).

9.3 Cuando el material es suministrado en rollos, el espécimen de ensayo debe ser tomado del rollo y debe ser estirado antes de la colocación del mismo en las mordazas de la máquina de ensayo de tracción. El estiramiento de los especímenes de ensayo debe hacerse cuidadosamente para evitar la formación de doblados agudos locales y minimizar el trabajo en frío. (Vea Nota 3).

9.3.1 Los especímenes de ensayo tomados de material previamente fabricado no deben ser usados para determinar el cumplimiento con esta especificación.

NOTA 3— Un estiramiento insuficiente antes de fijar el extensómetro puede resultar en lecturas de límite de fluencia menores que las reales. La distorsión múltiple por flexión debida al estiramiento mecánico y las máquinas de fabricación pueden conducir a un excesivo trabajo en frío, resultando en límites de fluencia más altos, menores valores de alargamiento, y a una pérdida de altura de corrugación.

9.4 El porcentaje de alargamiento debe ser como se prescribe en la Tabla 2.

TABLA 2 Requisitos de Tracción

	Grado 40 [280] <sup>a</sup>	Grado 60 [420]	Grado 75 [520]	Grado 80 [550]
Resistencia a tracción, min., psi [MPa]	60 000 [420]	90 000 [620]	100 000 [690]	150 000 [725]
Límite de fluencia, min., psi [MPa]	40 000 [280]	60 000 [420]	75 000 [520]	80 000 [550]
Alargamiento en 8 in. [200 mm], min., %:				
Designación de Barra N <sup>o</sup>				
3 [10]	11	9	7	7
4, 5 [13, 16]	12	9	7	7
6 [19]	12	9	7	7
7, 8 [22, 25]	...	8	7	7
9, 10, 11 [29, 32, 36]	...	7	6	6
14, 18 [43, 57]	...	7	6	6

<sup>a</sup>Las barras de Grado 40 [280] solo son suministradas en tamaños 3 hasta 6 [10 hasta 19].

## 10. Requisitos de Doblado

10.1 El espécimen de ensayo de doblado debe resistir ser doblado alrededor de una clavija sin fisurarse sobre el radio externo de la porción doblada. Los requisitos para el grado de doblado y tamaños de clavija son prescritos en la Tabla 3. Cuando se suministra el material en rollos, el espécimen de ensayo debe ser estirado antes de colocarlo en el ensayador de doblado.

10.2 Se debe realizar el ensayo de doblado sobre especímenes de longitud suficiente para asegurar un doblado libre y con aparatos que den:

## 11. Variación Admisible en Peso [Masa]

11.1 Las barras de refuerzo corrugadas deben ser evaluadas sobre la base del peso [masa] nominal. El peso [masa] determinado usando el peso [masa] medido del espécimen de ensayo y redondeando de acuerdo con la Práctica E 29, debe ser como mínimo el 94 % del peso [masa] aplicable por unidad de longitud prescrito en la Tabla 1. En ningún caso el sobrepeso [exceso de masa] de cualquier barra corrugada debe ser causa de rechazo.

11.2 La variación de peso [masa] para barras lisas debe ser computada sobre la base de la variación admisible del diámetro. Para barras lisas menores que  $\frac{3}{8}$  in. [9.5 mm] de diámetro, use la Especificación A 510 [Especificación A 510M]. Para barras mayores de hasta  $2\frac{1}{2}$  in. [63.5 mm] de diámetro, incluido este último, use la Especificación A 6/A 6M.

## 12. Acabado

12.1 Las barras deben estar libres de imperfecciones superficiales perjudiciales.

12.2 El óxido, las costuras, las irregularidades superficiales o las cascarrillas de laminación no deben ser causa de rechazo, siempre que el peso, dimensiones, área de sección transversal y propiedades de tracción de un espécimen de ensayo cepillado a mano con cepillo de alambre no sean menores que los requisitos de esta especificación.

12.3 Las imperfecciones superficiales o defectos diferentes de los especificados en 12.2 deben ser considerados perjudiciales cuando los especímenes que contengan tales imperfecciones fallan en el cumplimiento de cualquiera de los requisitos de tracción o doblado. Algunos ejemplos, entre otros, son los pliegues, costuras, escamas, hojas (sojas), grietas por enfriamiento o colada y marcas de laminación o de guiado.

NOTA 4—Las barras de refuerzo corrugadas previstas para aplicaciones de recubrimiento con epoxi deberían tener superficies con un mínimo de bordes agudos para lograr una cobertura apropiada. Debería darse atención particular a las etiquetas y corrugaciones de las barras cuando hay propensión a que ocurran dificultades de recubrimiento.

NOTA 5—Las barras de refuerzo corrugadas destinadas a ser empalmadas mecánicamente o soldadas a tope pueden requerir un cierto grado de redondeado para que los empalmes cumplan adecuadamente los requisitos de resistencia.

**TABLA 3 Requisitos de Ensayo de Doblado**

Designación de Barra N°	Diámetro de Clavija para Ensayos de Doblado <sup>a</sup>			
	Grado 40 [280]	Grado 60 [420]	Grado 75 [520]	Grado 80 [550]
3, 4, 5 [10, 13, 16]	$3\frac{1}{2}d^b$	$3\frac{1}{2}d$	$5d$	$5d$
6 [19]	$5d$	$5d$	$5d$	$5d$
7, 8 [22, 25]	...	$5d$	$5d$	$5d$
9, 10, 11 [29, 32, 36]	...	$7d$	$7d$	$7d$
14, 18 [43, 57] (90°)	...	$9d$	$9d$	$9d$

<sup>a</sup> Ensayo doblado a 180° a menos que se indique de otro modo.  
<sup>b</sup>  $d$  = diámetro nominal del espécimen.

## 13. Número de Ensayos

13.1 Para barras de tamaños N° 3 a 11 [10 a 36] inclusive, se debe realizar un ensayo de tracción y un ensayo de doblado de las laminadas de mayor tamaño de cada hornada. Sin embargo, si el material de una hornada difiere por tres o más números de designación, se debe realizar un ensayo de tracción y un ensayo de doblado de ambos números de designación, el mayor y el menor, de las barras corrugadas laminadas.

13.2 Para tamaños de barra N° 14 y 18 [43 y 57], se debe realizar un ensayo de tracción y un ensayo de doblado de cada tamaño laminado de cada hornada.

13.3 Para todos los tamaños de barra se debe realizar un conjunto de ensayos de propiedades dimensionales incluyendo el peso [masa] de la barra y espaciamiento, altura, e intervalo de corrugaciones sobre cada tamaño de barra laminada de cada hornada.

#### 14. Reensayos

14.1 Si los resultados de un espécimen a tracción original fallan en el cumplimiento de los requisitos mínimos especificados y están dentro de 2000 psi [14 MPa] de la resistencia a tracción requerida, dentro de 1000 psi [7 MPa] del límite de fluencia requerido, o dentro de dos unidades porcentuales del alargamiento requerido, se debe permitir un reensayo sobre dos especímenes al azar por cada falla de espécimen a tracción original del lote. Ambos especímenes de reensayo deben cumplir con los requisitos de esta especificación.

14.2 Si un ensayo de doblado falla por razones distintas de las mecánicas o defectos en el espécimen, como los descritos en 14.4.2 y 14.4.3, se debe permitir un reensayo sobre dos especímenes al azar del mismo lote. Ambos especímenes de reensayo deben cumplir con los requisitos de esta especificación. El reensayo debe ser realizado sobre especímenes de ensayo que estén a temperatura ambiente, pero no a menos de 60°F [16°C].

14.3 Si falla un ensayo de peso [masa] por razones distintas a defectos en el espécimen como es descrito en 14.4.3, se debe permitir un reensayo sobre dos especímenes al azar del mismo lote. Ambos especímenes de reensayo deben cumplir con los requisitos de esta especificación.

14.4 Si el ensayo original o cualquiera de los reensayos al azar fallan por cualquiera de las razones listadas en 14.4.1, 14.4.2, o 14.4.3, el ensayo debe considerarse inválido:

#### 15. Especímenes de Ensayo

15.1 Todos los ensayos mecánicos deben ser conducidos de acuerdo con los Métodos de Ensayo y Definiciones A 370 incluyendo el Anexo A9.

15.2 Los especímenes de ensayo a tracción deben tener la sección completa de la barra laminada. La determinación del esfuerzo unitario debe estar basada sobre el área nominal de la barra.

15.3 Los especímenes de ensayo de doblado deben tener la sección completa de la barra laminada.

#### 16. Informes de Ensayo

16.1 Cuando se especifique en la orden de compra, se debe suministrar la siguiente información sobre una base por hornada. Informe los ítems adicionales como sea solicitado o como se desee.

16.1.1 Análisis químico incluyendo carbono, manganeso, fósforo y azufre.

16.1.2 Propiedades de tracción.

16.1.3 Ensayo de doblado.

16.2 Se debe considerar que un Informe de Ensayo de Materiales, Certificado de Inspección, o documento similar impreso o utilizado en forma electrónica a partir de una transmisión de intercambio de datos electrónicos (EDI) tiene la misma validez que un homólogo impreso en las instalaciones del certificador. El contenido del documento EDI transmitido debe cumplir con los requisitos de la(s) norma(s) ASTM invocada(s) y cumplir con todo acuerdo EDI entre el comprador y el proveedor. A pesar de la falta de una firma, la organización que envía la transmisión EDI es responsable por el contenido del informe.

NOTA 7—La definición industrial invocada aquí es: EDI es el intercambio de computadora a computadora de información comercial en un formato estandarizado tal como ANSI ASC X12.

#### 17. Inspección

17.1 El inspector que represente al comprador debe tener entrada libre, en todo momento mientras estén siendo realizados los trabajos sobre el contrato con el comprador, a todas las partes de los trabajos del fabricante que conciernan a la fabricación del material ordenado. El fabricante debe proporcionar al inspector todas las facilidades razonables para satisfacer a éste que el material está siendo suministrado de acuerdo con esta especificación. Todos los ensayos (excepto el análisis del producto) e inspecciones, deben ser realizados en el lugar de fabricación antes del envío, a menos que se especifique de otra forma, y deben ser realizados de modo tal de no interferir innecesariamente con la operación de los trabajos.

17.2 *Solamente para Aprovisionamiento del Gobierno*— Excepto que se especifique de otro modo en el contrato, el contratista es responsable por el desempeño de todos los requisitos de inspección y ensayo especificados aquí. Se debe permitir al contratista usar sus propias instalaciones o cualquier otra instalación adecuada para el desempeño de la inspección y los requisitos de ensayo especificados aquí, a menos que sea desaprobado por el comprador en el momento de la compra. El comprador debe tener el derecho de realizar cualquier inspección y ensayo a la misma frecuencia establecida en esta especificación, donde tales inspecciones sean consideradas necesarias para asegurar que el material cumple con los requisitos prescritos.