

6  
20



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



U. N. A. M.

“PROPIEDADES MECANICAS DE VARILLA DE ACERO PARA  
REFUERZO DE CONCRETO FABRICADA EN MEXICO”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
HORACIO ALBERTO BAUTISTA CRUZ

ASESOR: ING. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO R.

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

Abril de 1994

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Propiedades mecánicas de varilla de acero para refuerzo  
de concreto fabricada en México"

que presenta el pasante: Horacio Alberto Bautista Cruz

con número de cuenta: 8406312-9 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 16 de Marzo de 1994

PRESIDENTE Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez

VOCAL Ing. Enrique Cortés González

SECRETARIO Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

PRIMER SUPLENTE Ing. Jesús García Lira

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Ma. del Pilar Zepeda Moreno

A

**LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
Y FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
Con todo respeto e infinito agradecimiento.

A

**EL ING. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ**  
Por su dedicación y compromiso con nuestra facultad  
y por su ayuda en la dirección de esta tesis.

A

**SUS MAESTROS**  
Por todos sus conocimientos  
y experiencias compartidas.

**A MIS PADRES**

Sé que lo que pudiera decir o escribir, sería nada comparado con lo que siento por ustedes, sin embargo, me atrevo a decir ; Los amo... !

**A mi madre**

**SRA. GALDINA CRUZ CRUZ**

Por todo su amor y comprensión.

**A mi padre**

**SR. ABEL BAPTISTA RAMIREZ**

Quien su ejemplo y esfuerzo, siempre me ha mostrado el camino de la superación.

A mis hermanos

CARMEN, ABEL, JULIO, ALEJANDRO

ANGEL Y VERONICA

Las personas más maravillosas, con quienes he  
compartido momentos difíciles, pero también  
los momentos más felices de mi vida.

A la pequeña

ISABEL ALEJANDRA

Quien es como un bello amanecer.

A mis abuelitos

SR. ERASTO BAPTISTA Y SRA. CARMEN RAMIREZ

SR. PASCUAL CRUZ Y SRA. INOCENCIA CRUZ

Con mucho cariño.

A

**TODOS MIS FAMILIARES**

*Por su incondicional apoyo.*

A

**EL ING. ROBERTO ANAYA MARTINES**

*Por su invaluable ayuda para  
la realización de este trabajo.*

A

**JORGE MALDONADO, ARTURO GRACIA,  
JUSTINO LOPEZ Y A TODOS MIS AMIGOS**  
*Quienes con su amistad, siempre me  
han motivado para seguir adelante.*

# INDICE

	PAG.
INTRODUCCION.....	1
<b>I. METALES.</b>	
1.1 ESTRUCTURA CRISTALINA.....	3
1.2 ALEACION Y DIAGRAMAS DE FASE.....	5
1.3 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	7
1.4 ACEROS.....	14
<b>II. VARILLA CORRUGADA DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO.</b>	
2.1 MATERIA PRIMA.....	19
2.2 CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS RESPECTO A NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM).....	21
<b>III. PRUEBAS PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS.</b>	
3.1 FABRICACION DE PROBETAS.....	28
3.2 APLICACION DE PRUEBAS MECANICAS.....	29
3.3 COMPARACION DE PROPIEDADES.....	39
<b>IV. ANALISIS METALOGRAFICO.</b>	
4.1 PREPARACION DE PROBETAS.....	45
4.2 ATAQUE QUIMICO.....	45
4.3 ESTUDIO DE LA MICROESTRUCTURA.....	46
4.4 DETERMINACION DEL CONTENIDO APROXIMADO DE CARBONO.	54
<b>CONCLUSIONES.....</b>	59
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	61

## **INTRODUCCION**

En todas las áreas de la industria, se requiere del estudio y análisis de métodos y procesos para poder realizar su actividad con resultados satisfactorios.

En lo que respecta a el área de la construcción, es necesario un estudio profundo de todos los factores que lo involucran como: la mecánica de suelos, diseño estructural, cargas, vientos, características sísmicas del lugar y los materiales empleados, ya sea concreto, acero de refuerzo o estructural.

Las pérdidas sufridas en nuestro país, durante los sismos de septiembre de 1985, motivaron el estudio sobre el diseño, mecánica de suelos y materiales utilizados.

Algunos de los factores que influyeron en los derrumbes de casas y edificios, fueron las estructuras de acero, se observo que en algunas de estas, ocurrieron fallas en las uniones de los componentes y en los cordones de soldadura. Con respecto a la varilla de refuerzo, presento limitaciones en su ductilidad y tenacidad ya que esta ultima fue insuficiente para disipar la energía sísmica, también se observo, que en muchos casos el contenido de aleantes (carbono) en el acero rebasa los limites técnicamente establecidos. Se recomendó el desarrollo de varilla de baja aleación y alta ductilidad.

Por esto, es necesario que se tenga la información suficiente sobre la calidad de la varilla para refuerzo de concreto, que actualmente se produce en nuestro país, tanto por grandes empresas,

como por pequeños productores.

Para obtener esta información, elegimos cuatro marcas de fabricantes de acero para refuerzo, que fácilmente se pueden conseguir en el mercado. Realizaremos las pruebas mecánicas y el análisis metalográfico, para determinar si las varillas cumplen con las especificaciones indicadas en las Normas Oficiales Mexicanas.

Es importante que todos los sectores involucrados en el área de la construcción, realicen investigaciones sobre sus procesos de producción, para así poder mejorarlos e implementar nuevas tecnologías y ofrecer al mercado nacional e internacional, materiales de máxima calidad.

Esperamos que este estudio sea de utilidad, tanto para las industrias, los investigadores y para todas las personas relacionadas con esta área; para que tengan parámetros que les permitan elegir y poder asegurar una alta calidad en la fabricación de acero y en el proceso de construcción.

## CAPITULO I

### METALES

#### 1.1 ESTRUCTURA CRISTALINA.

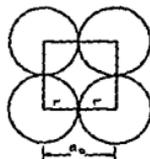
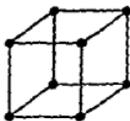
El arreglo de los átomos en un material sólido cristalino determina las propiedades físicas y mecánicas. Los átomos muestran un arreglo atómico que se distribuye homogéneamente en todo el material, formando un patrón reticular repetitivo; la red o retícula que la compone es un conjunto de puntos denominados puntos reticulares o *nodos*; la parte más pequeña de una red que conserva las características generales de la misma, se le conoce como *celda unitaria*.

Existen 7 estructuras cristalinas, que a su vez dividen en 14 celdas unitarias, como se muestra en la tabla No. 1.1.

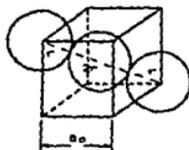
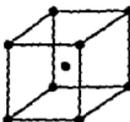
Tabla No. 1.1 Clasificación de las estructuras cristalinas.	
Estructura	Celda Unitaria
CUBICA	Cubica Simple Cubica Centrada en las Caras Cubica Centrada en el Cuerpo
TETRAGONAL	Tetragonal Simple Tetragonal Centrada en las Caras
OTORRÓMBICA	Otorrómbica Simple Otorrómbica Centrada en el Cuerpo Otorrómbica Centrada en las Bases Otorrómbica Centrada en las Caras
HEXAGONAL	Hexagonal Compacta
ROMBOEDRICA	Romboédrica
MONOCLÍNICA <sup>3</sup>	Monoclínica Simple Monoclínica Centrada en las Caras
TRICLÍNICA	Triclínica

En los metales las estructuras cristalinas más comunes que se presentan son:

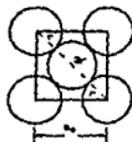
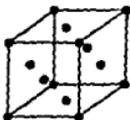
1. Cubica Simple.



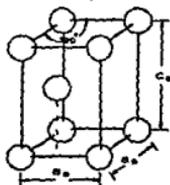
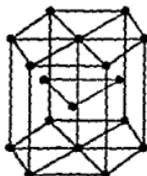
2. Cubica Centrada en el Cuerpo.



3. Cubica Centrada en las Caras.



4. Hexagonal Compacta



En la tabla 2.1. se resumen las características principales de estas estructuras cristalinas.

Tabla 1.2 Características de las estructuras cristalinas.				
Estructura	$a_0$ en función de $r$	No. de coordinación	Factor de empaquetamiento	No. de átomos
Cubica Simple (CS)	$a_0 = 2 r$	6	0.52	1
Cubica Centrada en el Cuerpo (BCC)	$a_0 = 4 r / \sqrt{3}$	8	0.68	2
Cubica Centrada en las Caras (FCC)	$a_0 = 4 r / \sqrt{2}$	12	0.74	4
Hexagonal Compacta (HC)	$a_0 = 2 r$ $c_0 = 1.633 a_0$	12	0.74	6

$a_0$  = Parámetro de la red en Å ( $10^{-8}$  cm)

$r$  = Radio del átomo.

## 1.2 ALEACION Y DIAGRAMAS DE FASE.

Aunque los metales puros son utilizados en la industria, generalmente se requieren materiales con mejores propiedades mecánicas, por lo cual se utilizan aleaciones de los mismos. Para una mejor comprensión, definiremos los siguientes términos:

**Aleación:** Es una mezcla de dos o más elementos en la cual, al menos uno de ellos debe ser un metal y además debe tener características metálicas.

**Fase:** Es una porción de material que presenta la misma estructura y ordenamiento atómico, además tiene la misma composición y propiedades.

**Solución sólida:** Es una fase cristalina constituida por dos

elementos, un soluto (material disuelto) y un solvente (metal base). Estas soluciones pueden presentarse en cualquiera de las tres condiciones siguientes:

- 1) No saturada. Cuando el solvente disuelve menos del soluto que podría disolver a una temperatura y presión dadas.
- 2) Saturada. Cuando se disuelve la cantidad límite del soluto.
- 3) Sobresaturada. Cuando se disuelve más del soluto del que debiera en condiciones de equilibrio.

Existen varios factores que se deben considerar para controlar el intervalo de solubilidad en los sistemas de aleación, que son las reglas de Hume-Rothery; aunque estas reglas deben cumplirse, no son necesariamente suficientes para que se presente una solubilidad sólida ilimitada.

**Reglas de Hume-Rothery:**

- a) Los átomos de los metales deben ser de tamaño similar, con no más del 15 % de diferencia en el radio atómico, para minimizar la deformación de la red.
- b) Deben tener la misma estructura cristalina.
- c) Deben tener la misma valencia y electronegatividad similar; de lo contrario, tienden a formarse compuestos.

Las soluciones sólidas se dividen en dos tipos:

1. *Solución Sólida Sustituta*. Es una solución en la cual los átomos del soluto sustituyen a átomos del solvente en la estructura reticular, siendo la distribución al azar.
2. *Solución Sólida Intersticial*. Se forma cuando los pequeños átomos del soluto se acomodan en los espacios o intersticios

de la estructura reticular del solvente.

Este tipo de solución tiene una solubilidad limitada y es de poca importancia, con excepción de el carbono en hierro, que es la base para el endurecimiento del acero.

*Diagrama de Fase o de Equilibrio.* Es una representación gráfica (un mapa) que nos muestra las fases que se encuentran presentes al variar la temperatura y la composición química de un sistema de aleación.

También se dice que es un diagrama de equilibrio, por que las fases presentes en él, fueron obtenidas mediante condiciones de enfriamiento muy lentas, es decir, que se dio el tiempo suficiente para que los cambios se llevaran a cabo completamente.

De los diagramas de fase, se puede obtener información importante del sistema de aleación, como las condiciones bajo las cuales existen las fases que forman el sistema, condiciones bajo las cuales ocurrirá un cambio en la fase; también nos indica los cambios estructurales debidos a la variación de temperatura y la composición, además se puede determinar la composición química de las fases, así como también las cantidades relativas de cada fase.

### 1.3 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-Fe<sub>3</sub>C.

#### 1.3.1 HIERRO PURO.

El hierro (Fe) es un metal que esta constituido por: Carbono (C) 0.012 %, Manganeso (Mn) 0.017 %, Fósforo (P) 0.005 %, Azufre (S) 0.025 % y Silicio (Si) insignificante.

El hierro es un metal alotrópico; esto significa que a ciertas

temperaturas cambia su estructura reticular. Fig. No. 1.1

Cuando el Fe solidifica a 1538 °C, se tiene una estructura BCC, llamada fase  $\delta$  (delta); a 1401 °C ocurre un cambio y los átomos se acomodan para dar forma a una estructura FCC, llamada fase  $\gamma$  (gamma) no magnética. A una temperatura de 908 °C nuevamente cambia a una estructura BCC, llamada fase  $\alpha$  (alfa) no magnética. Y finalmente a 768 °C la fase  $\alpha$  se vuelve magnética sin cambio en su estructura reticular.

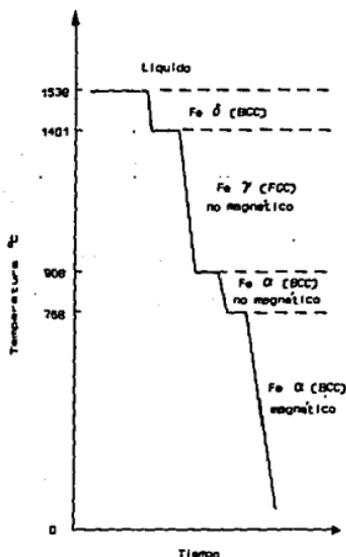


Fig. 1.1 Curva de enfriamiento para el hierro puro.

### 1.3.2 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-Fe<sub>3</sub>C.

Este diagrama se divide en varias regiones cuyos limites se determinan como se muestra en la fig. No. 1.2 La línea ABEF conocida como línea de liquidus, nos indica que por encima de ella se encuentra presente solo la fase líquida, y por debajo de esta da comienzo la precipitación, de la fase líquida a una fase sólida.

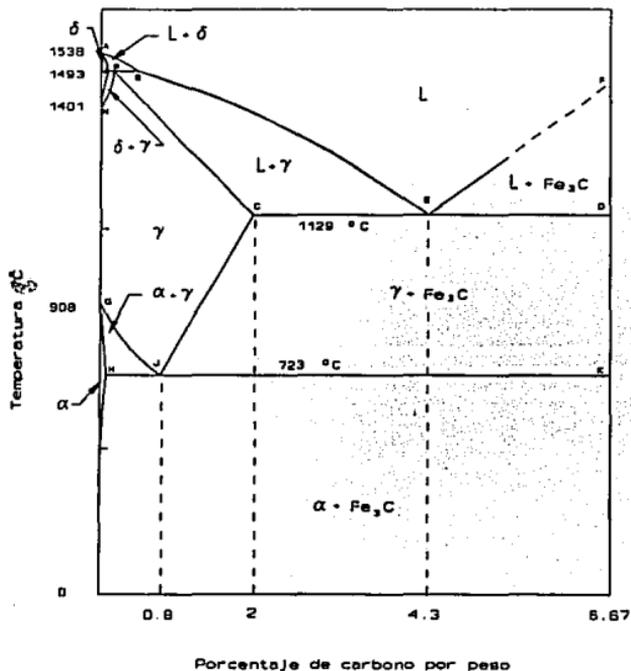
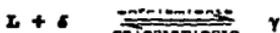


Fig. 1.2 Diagrama de equilibrio Fe-Fe<sub>3</sub>C

La línea AMPCED representa la línea solidus, que nos indica que por debajo de ella todas las fases presentes son sólidas; entre la línea de líquidus y la solidus las fases presentes son siempre una fase líquida y una fase sólida.

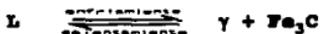
Entre los 1538 y los 1401 °C se encuentra la región delta ( $\delta$ ); la línea horizontal a 1493 °C representa la reacción peritética, cuya ecuación es:



La máxima cantidad de carbono que puede disolverse en el Fe  $\delta$  (BCC), es de 0.10 % (Punto M). A medida que se agrega carbono al hierro, la temperatura del cambio alotrópico aumenta de 1401 a 1493 °C, hasta un 0.10 % de C. La línea NM representa el cambio de estructura de Fe  $\delta$  a Fe  $\gamma$  (FCC) para aleaciones con menos del 0.10 % C. La línea MP representa el cambio de estructura cristalina por medio de una reacción peritética para aleaciones entre 0.10 % y 0.18 % de C; el fin del cambio de estructura esta dado por la línea NP. La línea PB representa el principio y el fin de una reacción peritética, es decir que para aleaciones entre el 0.18 % y 0.50 % de C, el cambio alotrópico empieza y termina a temperatura constante. Cualquier aleación con más del 0.50 % de C. cortara al diagrama a la derecha del punto B y solidificara en austenita directamente.

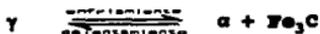
A una temperatura de 1129 °C se observa otra línea horizontal CDE, que nos representa la reacción eutéctica. El punto E es conocido como el punto del eutéctico y se localiza a 4.3 % de C. y

a una temperatura de 1129 °C. Cualquier líquido que cruce esta línea al enfriarse, debe solidificarse en la mezcla eutéctica de austenita y carburo de hierro (cementita), conocida con el nombre de ledeburita, cuya ecuación puede escribirse como:



Existe una pequeña área de solución sólida a la izquierda de la línea GH. A 908 °C, se presenta el cambio de estructura cristalina de Fe  $\gamma$  (FCC) a Fe  $\alpha$  (BCC) conocida como ferrita.

En el diagrama se muestra una tercera línea horizontal HJK, que indica una reacción eutéctica. El punto del eutéctico J se localiza a 0.80 % de C. y a 723 °C. Toda la austenita presente al cruzar esta línea, se debe transformar en la mezcla eutéctica de ferrita y carburo de hierro, conocida como perlita y cuya ecuación se representa como:



El diagrama se divide en base al contenido de carbono en la siguiente forma: aquellas aleaciones que contienen menos del 2 % de C se conocen como aceros y las que contienen más del 2 % de C como Hierros Fundidos. El intervalo de aceros se divide en base al contenido de carbono eutéctico (0.8 % C), los aceros que contienen menos del 0.8 % C se llaman aceros hipoeutécticos y los que contienen más de 0.8 % y hasta 2 % de C, se llaman aceros hipereutécticos. Los hierros fundidos se subdividen en, hierros

fundidos hipoeutéticos con menos del 4.3 % C, y en hierros fundidos hipereutéticos con más de 4.3 % de C.

### 1.3.3 TEMPERATURAS CRITICAS.

La línea GJ se conoce como línea de temperatura crítica superior del lado hipoeutectoide, se designa como  $A_3$  y nos representa el principio del cambio alótopico de Fe  $\gamma$  (FCC) a Fe  $\alpha$  (BCC).

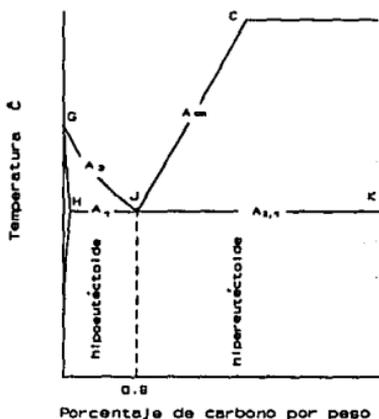


Fig. 1.3 Líneas de temperaturas críticas.

La línea HJ se conoce como la línea de temperatura crítica inferior en el lado hipoeutectoide y se designa como  $A_1$  y constituye la mínima temperatura a la que el Fe  $\gamma$  (FCC) puede

existir bajo condiciones de equilibrio.

La línea CJ se conoce como la línea de temperatura crítica superior en el lado hipereutécticoide y se designa como  $A_{cm}$ , que nos indica la máxima cantidad de carbono que puede disolverse en la austenita.

La línea JK se conoce como la línea de temperatura crítica inferior en el lado hipereutécticoide y se designa como  $A_{s,1}$ , que representa el principio y el fin del cambio alótopico de Fe  $\gamma$  (FCC) a Fe  $\alpha$  (BCC).

#### 1.3.4 CONSTITUYENTES PRESENTES EN EL DIAGRAMA Fe-Fe<sub>3</sub>C:

**Austenita ( $\gamma$ ).** Es el constituyente más denso de los aceros y esta formado por una solución sólida de carbono en hierro gamma. Su solubilidad de varia desde 0 a 2 % de C, correspondiendo este ultimo porcentaje a la máxima solubilidad a una temperatura de 1129 °C. La austenita esta formada por cristales cúbicos de hierro gamma con los átomos de carbono intercalados en las aristas y en el centro; tiene una dureza Brinell de 300, una resistencia a la tracción de 100 Kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento de un 30 %. No es magnética.

Como la austenita no es estable, con el tiempo se transforma en ferrita y perlita ó cementita y perlita.

**Cementita (Fe<sub>3</sub>C).** Llamada carburo de hierro, contiene 6.67 % de C y 93.33 % de Fe. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanza una dureza Brinell de 700 (68 RC).

Cristaliza en red ortorrómbica, es magnética hasta los 210 °C, temperatura a la cual pierde su magnetismo.

**Ledeburita ( $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ ).** Es una mezcla de austenita y cementita; contiene 4.3 % C y se forma a 1129 °C.

**Ferrita ( $\alpha$ ).** Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolver a 0.008 % de C. Por esto se considera a la ferrita como hierro alfa puro. La máxima solubilidad de carbono en el hierro alfa es de 0.02 % a 723 °C. La ferrita es el más blando y dúctil de los constituyentes de los aceros. Cristaliza en una red cubica centrada, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 Kg/mm<sup>2</sup> llegando hasta un alargamiento del 35 al 40 %. Es magnética.

**Perlita ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ).** Este constituyente está compuesto por el 86.5 % de ferrita y el 13.5 % de cementita; tienen una dureza aproximada de 200 Brinell, con una resistencia a la tracción de 80 Kg/mm<sup>2</sup> y un alargamiento del 15 %.

#### 1.4 ACEROS.

El acero es una aleación de Fe y carbono, con un contenido de este último en el rango de 0.025 al 2 % y pequeñas cantidades de otros elementos que se consideran impurezas, tales como: azufre, fósforo, silicio y manganeso.

##### 1.4.1 INFLUENCIA DEL CARBONO EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO.

Las propiedades mecánicas de una aleación, dependen de las

propiedades de las fases y de la forma en que estas estén ordenadas para formar la estructura.

La ferrita tiene baja resistencia tensil y es muy suave, en tanto que la cementita es dura y tiene una menor resistencia tensil, la combinación de estas dos fases en el punto eutécticoide (perlita) da como resultado una aleación de resistencia tensil mucho mayor que cualquiera de las fases.

Como la cantidad de perlita aumenta con el incremento en el contenido de carbono, en los aceros hipoeutécticos, la resistencia y la dureza Brinell también aumentan hasta la composición eutécticoide de 0.8 % C.

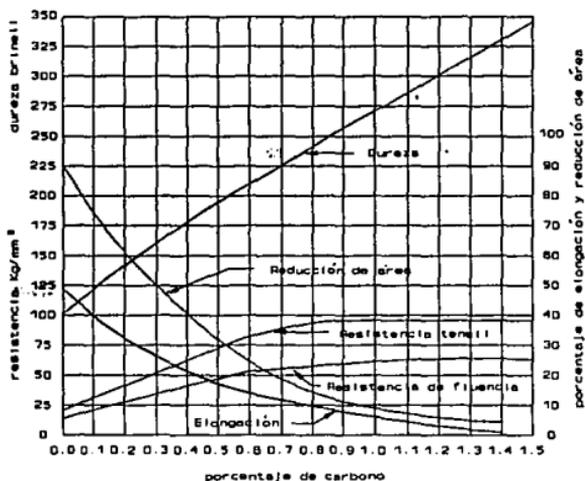


Fig. 1.4 Influencia del carbono en la propiedades del acero.

La ductilidad expresada por el porcentaje de elongación y reducción de área, disminuyen al aumentar el contenido de carbono. Mas allá de la composición eutéctode, la resistencia se nivela y aun puede decrecer, debido a la frágil red de cementita; sin embargo la dureza sigue aumentando, debido a la presencia de más cementita.

#### 1.4.2 CLASIFICACION DE LOS ACEROS.

Existen varias formas de clasificar a los aceros:

a) Debido a su contenido de carbono:

- Acero de bajo carbono: hasta 0.25 % de C.
- Acero de medio carbono: de 0.25 a 0.55 % de C.
- Acero de alto carbono: más de 0.55 % de C.

b) Debido a su composición química:

- Aceros al carbono.
- Aceros aleados.
- Aceros de alta aleación.

(Aceros inoxidable, Aceros para herramientas)

Los aceros simples y aleados se designan mediante un sistema numérico de cuatro (SAE) o cinco dígitos (AISI). El primer dígito indica el tipo al que pertenece el acero, 1 acero al carbono, 2 acero al níquel, etc. El segundo dígito indica al porcentaje del elemento predominante; los dos o tres últimos dígitos indican el porcentaje de carbono medio dividido entre 100. El sistema SAE emplea las mismas designaciones AISI, pero elimina toda literal,

que en el sistema AISI indica el proceso de manufactura del acero.

c) Debido a su aplicación:

- Aceros para Máquinas.
- Aceros para Herramientas.
- Aceros Estructurales.
- Aceros para la Construcción.

*(Varilla para refuerzo de concreto)*

#### 1.4.3. PROPIEDADES DE LOS ACEROS.

El acero al carbono es el más común, barato y aplicable de los metales que se emplean en la industria. Tiene una ductilidad excelente, lo que permite que se utilice en muchas operaciones de formado en frío. El acero también puede soldar con facilidad; es posible alcanzar niveles de resistencia más altos mediante trabajo en frío, con aleaciones y con tratamiento térmico.

Aceros de baja aleación. Estos aceros contienen uno o más agentes aleante para mejorar las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, por encima de los aceros al carbono. Por ejemplo, la presencia del níquel aumenta la tenacidad y la resistencia a la corrosión. El cromo y el silicio mejoran la dureza, la resistencia a la abrasión, la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación. El molibdeno proporciona resistencia a temperaturas elevadas.

La adición de cantidades pequeñas de materiales de aleación mejora considerablemente la resistencia a la corrosión en los

ambientes atmosféricos; pero no tiene efecto contra los líquidos corrosivos. Sin embargo, la resistencia mayor permite fabricar piezas de menor espesor que los hechos de acero de baja aleación.

Acero inoxidable. Existen más de 70 tipos de aceros inoxidables y muchas aleaciones especiales. En general, todos tiene como base al hierro, con 12 a 30 % de cromo, 0 a 22 % de níquel, y cantidades menores de carbono, molibdeno, selenio, tantalio y titanio. Estas aleaciones son muy utilizadas en la industria química, debido a su resistencia al calor y a la corrosión, son no contaminantes y de fabricación sencilla.

Aceros para herramientas. Son aceros de alta calidad que tienen elementos aleantes como molibdeno, cobalto, tungsteno, vanadio, níquel, cromo, manganeso. Principalmente son utilizados como herramientas de corte y formado. Para la mayoría de sus aplicaciones, la dureza, la tenacidad, resistencia al desgaste, así como su templabilidad, tratamiento térmico y maquinabilidad son los factores más importantes al elegir estos aceros. Aunque los aceros para herramientas pueden ser utilizados para cualquier trabajo, se consideran según la productividad esperada, la facilidad de fabricación y el costo.

## CAPITULO II

### VARILLA CORRUGADA DE ACERO PARA REFUERZO DE CONCRETO

Varilla corrugada. Es la varilla de acero que ha sido especialmente fabricada para usarse como refuerzo de concreto. La superficie de la varilla esta provista de bordes o salientes llamados *corrugaciones*, los cuales inhiben el movimiento relativo longitudinal entre la varilla y el concreto que la rodea.

#### 2.1 MATERIA PRIMA.

El acero que se utiliza para la fabricación de las varillas para refuerzo de concreto, se determina de acuerdo a la norma a que se someta cada caso particular.

En las normas existentes se indica el tipo de acero que se debe utilizar, así como también su proceso de obtención; normalmente todas las varillas se obtienen por cualquiera de los siguientes procesos:

- a) Horno de Hogar Abierto.
- b) Convertidor Básico de Oxígeno.
- c) Horno de Arco Eléctrico.

A continuación enunciaremos cada una de las normas oficiales vigentes:

#### 1. NOM B-6

"Varillas corrugadas y lisas de acero para refuerzo de concreto, procedentes de lingote o palanquilla".

Las varillas cubiertas por esta norma, se clasifican en dos grados<sup>1</sup>: 30 y 42.

**Material:**

Las varillas deben laminarse a partir de lingotes o palanquillas procedentes de coladas identificadas; estas coladas no deben exceder de 0.05 % en contenido de Fósforo, y en el análisis de producto terminado, no debe exceder en 0.0625 % de Fósforo.

**2. NOM B-18**

*"Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de riel, para refuerzo de concreto".*

Las varillas cubiertas por esta norma, se clasifican en dos grados: 35 y 42.

**Material:**

Estas varillas deben laminarse a partir de rieles T de sección normal. No se permite sustituir este material, por otros conocidos como: Relaminados, Equivalente de acero de riel, o Calidad acero de riel.

**3. NOM B-32**

*"Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de eje, para refuerzo de concreto".*

Las varillas cubiertas por esta norma, se clasifican en dos grados: 30 y 42.

---

<sup>1</sup> El grado se refiere al el límite mínimo de fluencia en Kg/mm<sup>2</sup>

**Material:**

Estas varillas deben laminarse de ejes de acero al carbono procedentes de carros de ferrocarril. No deben usarse otro tipo de ejes o materiales.

**4. NOM B-294**

*"Varillas corrugadas de acero torcidas en frío, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto".*

Las varillas torcidas en frío, son aquellas que provienen de la laminación en caliente de lingotes o palanquillas de coladas controladas, las cuales por su composición química y un posterior torcido en frío adquieren el límite de fluencia mínimo que se especifica en cada grado.

Las varillas cubiertas por esta norma, se clasifican en los grados: 42, 50 y 60.

**Material:**

Las varillas deben laminarse directamente de palanquillas o lingotes; las coladas no deben exceder de 0.05 % en contenido de Fósforo, y en el análisis de producto terminado, no debe exceder en 0.0625 % de Fósforo.

**2.2 CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS RESPECTO A  
NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM).**

**2.2.1 CARACTERISTICAS FISICAS.**

Como características físicas se entiende: la masa, diámetro,

área y dimensiones nominales de las corrugas, en la tabla 2.1 se presenta su número de designación<sup>2</sup> y sus características.

Tabla No. 2.1 números de designación, masas, dimensiones nominales y requisitos de corrugaciones para las varillas.							
Masa y dimensiones nominales					Requisitos de corrugación		
No	Masa en Kg/m	Díámetro en mm	Área de la sección transversal en mm <sup>2</sup>	Perímetro en mm	Distancia máxima promedio en mm	Altura mínima promedio en mm	distancia máxima entre extremos de corrugaciones transversales en mm
2	0.248	6.4	32	20.0	4.5	0.2	2.4
2.5	0.348	7.9	49	24.8	5.6	0.3	3.0
3	0.560	9.5	71	29.8	6.7	0.4	3.6
4	0.994	12.7	127	39.9	8.9	0.5	4.9
5	1.552	15.9	198	50.0	11.1	0.7	6.1
6	2.235	19.0	285	60.0	13.3	1.0	7.3
7	3.042	22.2	388	69.7	15.5	1.1	8.5
8	3.973	25.4	507	79.8	17.8	1.3	9.7
9	5.033	28.6	642	89.8	20.0	1.4	10.9
10	6.225	31.8	794	99.9	22.3	1.6	12.2
11	7.503	34.9	957	109.8	24.4	1.7	13.4
12	8.958	38.1	1140	119.7	26.7	1.9	14.6

**Corrugaciones.** Las corrugaciones deben estar distribuidas uniformemente en la varilla. Las corrugaciones en el lado opuesto de la varilla deben ser similares en tamaño y forma.

<sup>2</sup> El número de designación de las varillas corrugadas, corresponde al número de octavos de pulgada de su diámetro nominal.

Las corrugaciones deben estar colocadas de tal manera que formen un ángulo no menor de  $45^\circ$  con respecto al eje de la varilla, como se muestra en la fig 2.1.



*Fig. 2.1 Especificaciones de las corrugas.*

El espaciamento medio o la distancia entre corrugaciones sobre cada lado de la varilla, no deben exceder de siete décimos de su diámetro nominal. La longitud total de las corrugaciones debe ser tal, que la separación entre los extremos de las mismas, sobre lados opuestos de la varilla, no sea mayor del 12.5 % de su perímetro nominal. Cuando los extremos terminen en una costilla longitudinal, el ancho de la costilla debe considerarse como tal separación.

Cuando existan mas de dos costillas longitudinales, el ancho total de todas no debe exceder en 25 % del perímetro nominal; este perímetro debe ser 3.14 el diámetro nominal.

El espaciamento, la altura y la separación de las corrugaciones debe cumplir con los requisitos especificados en la tabla 2.1.

**Masa.** Las tolerancias en masa<sup>3</sup> de las varillas individuales no debe ser inferior al 6 % de lo especificado. Las varillas son evaluadas en base a su masa nominal. En ningún caso debe ser causa de rechazo el exceso de masa en cualquier varilla.

**Acabado.** Las varillas deben estar libres de imperfecciones que afecten su uso. Escamas, irregularidades o corrosión superficiales, no deben ser causa de rechazo siempre y cuando desaparezcan mediante la limpieza manual con un cepillo de alambre y la probeta así cepillada cumpla con los requisitos dimensionales y mecánicos especificados.

Imperfecciones superficiales diferentes a las especificadas, deben considerarse perjudiciales, cuando las contiene la probeta, y esta no cumple con los requisitos de tensión o de doblado.

**Oxidación.** La oxidación mejora siempre la adherencia, pero no debe ser tan alta que disminuya la masa por metro por debajo del 6 %, ni las dimensiones de las corrugaciones por debajo del mínimo especificado.

**Fabricante.** En el cuerpo de la varilla debe haber algún número, letra o símbolo con el que se identifique al fabricante y se especifique el diámetro de la varilla y el grado del acero.

## 2.2.2 PROPIEDADES MECANICAS.

### PRUEBA DE TENSION.

Para poder llevar a cabo esta prueba, las probetas deben ser

---

<sup>3</sup> El término masa a sustituido al término peso, usado erróneamente para representar la cantidad de materia que tienen los cuerpos.

de sección completa, excepto los tamaños 11 y 12 en los grados 30 y 42 que pueden ser de sección reducida ( $\phi = 19$  mm y  $l = 200$  mm). El material debe cumplir con los requisitos de tensión indicados en las normas oficiales; ver tabla 2.2.

Tabla 2.2 Requisitos de Tensión.		
Características	Grado 30	Grado 42
Resistencia mínima a la tensión Kg/mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	50 (490)	63 (617)

#### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLUENCIA.

La resistencia a la fluencia (límite de fluencia), se debe determinar por el método de la caída de la viga o detención de la aguja indicadora de la máquina de prueba.

El material debe cumplir con los requisitos de resistencia a la fluencia, indicados en la tabla 2.3.

Cuando el acero no tenga un límite de fluencia definido, debe determinarse por cualquiera de los siguientes métodos:

- a) Alargamiento bajo carga, usando divisores con una longitud calibrada de 200 mm. La carga de fluencia debe informarse cuando la longitud calibrada bajo carga, llegue a 204 mm.
- b) Alargamiento bajo carga por el método del diagrama autográfico o mediante un extensómetro. El alargamiento debe ser de 0.5 % para el grado 42.

Tabla No. 2.3 Resistencia a la fluencia.		
Características	Grado 30	Grado 42
Límite de fluencia mínimo Kg/mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	30 (294)	42 (412)
Alargamiento mínimo en 200 mm de longitud calibrada en %		
Varilla No.	GRADO 30	GRADO 42
2, 2.5 y 3	11	9
4, 5 y 6	11	9
7	11	8
8	10	8
9	9	7
10	8	7
11 y 12	7	7

La ductilidad expresada por el porcentaje de elongación que es capaz de soportar la varilla antes de fracturarse, debe ser superior a 14 en los calibres del 2 al 6, y mayor de 12 en los calibres del 7 al 12.

#### PRUEBA DE DOBLADO.

Para esta prueba, las probetas también deben ser de sección completa. Esta prueba debe efectuarse sobre probetas de suficiente longitud para asegurar un doblado libre, el dispositivo para esta prueba debe asegurar lo siguiente:

- a) Una aplicación continua y uniforme de la fuerza durante toda la operación.
- b) Debe permitirse movimiento sin restricción de la probeta en los puntos de contacto con el dispositivo de doblado, al rededor de un mandril con rotación libre.

c) La probeta debe estar en contacto con el mandril durante toda la operación.

Las probetas deben doblarse sin que se agriete la parte exterior de la zona doblada. Los requisitos deben cumplirse para el ángulo de doblado y los tamaños del mandril que se indican en la tabla 2.4. La prueba debe realizarse a una temperatura mínima de 16 °C y máxima de 25 °C.

Tabla No. 2.4 Requisitos de Doblado.		
Varilla No.	Diámetro de mandril para prueba de doblado a 180°	
	Grado 30	Grado 42
2, 2.5, 3, 4 y 5	$D = 3 \frac{1}{2} d$	$D = 3 \frac{1}{2} d$
6, 7 y 8	$D = 5 d$	$D = 5 d$
9 y 10	$D = 5 d$	$D = 7 d$
11 y 12	$D = 5 d$	$D = 8 d$

D = Diámetro del mandril.

d = Diámetro de la probeta.

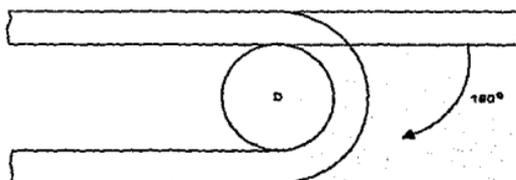


Fig. 2.2 Especificaciones de dobles a 180°

### CAPITULO III

#### PRUEBAS PARA LA OBTENCION DE PROPIEDADES MECANICAS

##### 3.1 FABRICACION DE PROBETAS.

Se utilizo varilla del No. 3 ( $\phi = 9.52$  mm). Para poder realizar la prueba de tensión, se maquinaron cinco probetas de cada fabricante, en la fig. 3.1 se muestran las dimensiones.

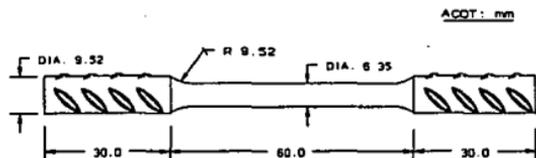


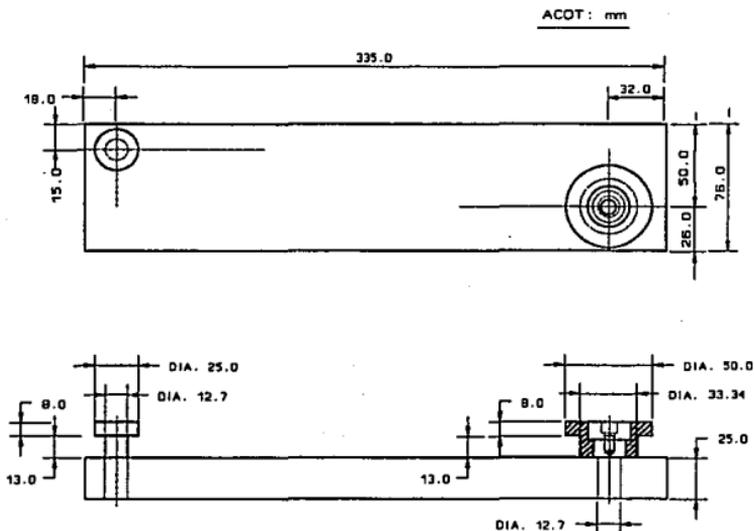
Fig. 3.1 Probeta para pruebas de tensión.

Aunque las normas indican que esta prueba se realice con probetas de sección completa, se opto por maquinaslas con el objeto de no sobrepasar el límite de la máquina de prueba, ya que su capacidad es de 5000 kg de carga; si suponemos que la resistencia mínima de las varillas es de 63 kg/mm<sup>2</sup> y tienen un  $\phi$  de 9.52 mm, entonces la carga mínima que se requiere para la prueba sería :  $P = 63[\pi(9.52)^2/4] = 4484.4$  kg, que estaría cerca del límite máximo.

Para la prueba de doblado, son dos probetas de sección

completa con una longitud de 1 m y se fabrico un dispositivo para hacer el dobles a 180°, como se indica en las normas. En la fig. 3.2 se presenta un dibujo general del dispositivo.

Se pide un mandril que gire libremente, con  $\phi 3.5D = 3(9.52)$ ,  $\phi = 33.34$  mm, como se muestra en el dibujo.



*Fig. 3.2 Dispositivo para dobles.*

### 3.2 APLICACION DE PRUEBAS MECANICAS.

#### PRUEBA DE TENSION Y DE FLUENCIA

Se utilizo una máquina de tensión Dylon con una capacidad de 5000 kg. En esta misma prueba se obtuvieron los datos para

determinar la resistencia de fluencia, mediante el método de detención de la aguja indicadora de la máquina de prueba. En las tablas siguientes se muestran los datos obtenidos.

TABLAS DE DATOS.

**FABRICANTE No. 1 (SERVERA)**

Probeta No.	Longitud inicial $l_1$ ( mm )	Díámetro inicial $d_1$ ( mm )	Area inicial $A_1$ ( mm <sup>2</sup> )	Carga de fluencia $P_{flu}$ ( Kg )	Carga máxima $P_{máx}$ ( Kg )	Carga de fractura $P_{frac}$ ( Kg )
1	50,00	6,50	33,18	1600	2500	1700
2	50,00	6,39	32,07	1450	2220	1600
3	50,00	6,19	30,09	1400	2160	1500
4	50,00	6,26	30,78	1500	2260	1600
5	50,00	6,29	31,07	1500	2280	1600

**FABRICANTE No. 2 (SICARTSA)**

Probeta No.	Longitud inicial $l_1$ ( mm )	Díámetro inicial $d_1$ ( mm )	Area inicial $A_1$ ( mm <sup>2</sup> )	Carga de fluencia $P_{flu}$ ( Kg )	Carga máxima $P_{máx}$ ( Kg )	Carga de fractura $P_{frac}$ ( Kg )
1	50,00	6,35	31,67	1600	2460	1800
2	50,00	6,26	30,78	1600	2400	1750
3	50,00	6,32	31,37	1700	2570	1900
4	50,00	6,27	30,88	1650	2500	1900
5	50,00	6,35	31,67	1600	2580	1850

**FABRICANTE No. 3 (SAN LUIS)**

Probeta No.	Longitud inicial $l_i$ ( mm )	Diámetro inicial $d_i$ ( mm )	Area inicial $A_i$ ( mm <sup>2</sup> )	Carga de fluencia $P_{flu}$ ( Kg )	Carga máxima $P_{máx}$ ( Kg )	Carga de fractura $P_{frac}$ ( Kg )
1	50,00	6,35	31,67	1550	2350	1900
2	50,00	6,35	31,67	1520	2320	1950
3	50,00	6,29	31,07	1500	2300	1820
4	50,00	6,41	32,27	1520	2350	1820
5	50,00	6,45	32,67	1520	2380	1850

**FABRICANTE No. 4 (HYLSA)**

Probeta No.	Longitud inicial $l_i$ ( mm )	Diámetro inicial $d_i$ ( mm )	Area inicial $A_i$ ( mm <sup>2</sup> )	Carga de fluencia $P_{flu}$ ( Kg )	Carga máxima $P_{máx}$ ( Kg )	Carga de fractura $P_{frac}$ ( Kg )
1	50,00	6,37	31,87	1580	2350	1750
2	50,00	6,35	31,67	1600	2380	1780
3	50,00	6,40	32,17	1550	2300	1700
4	50,00	6,35	31,67	1600	2300	1700
5	50,00	6,35	31,67	1560	2280	1650

Para obtener los resultados de las tablas que a continuación se presentan, se utilizaron las siguientes formulas:

Esfuerzo de fluencia:

$$\sigma_{flue} = \frac{P_{flue}}{A_1}$$

Esfuerzo máximo a la tensión:

$$\sigma_{máx} = \frac{P_{máx}}{A_1}$$

Esfuerzo de fractura:

$$\sigma_{frac} = \frac{P_{frac}}{A_1}$$

Elongación:

$$Elongación = 100 \frac{(L_f - L_i)}{L_i}$$

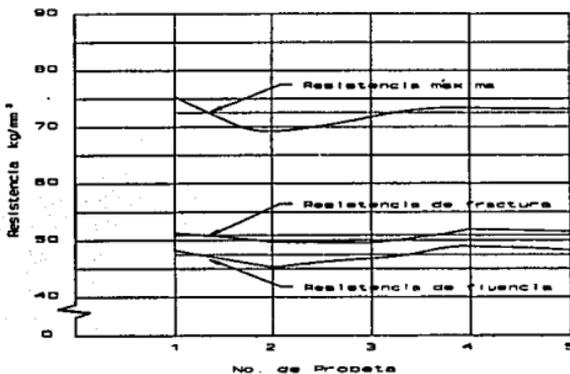
Reducción de área:

$$RA = 100 \left( \frac{A_i - A_f}{A_i} \right)$$

**FABRICANTE No. 1 (SERVERA)**

Probeta No.	Longitud final $l_f$ mm	Diámetro final $d_f$ mm	Area final $A_f$ mm <sup>2</sup>	Elong. $\epsilon$	Reduc. de área RA %	Esfuerzo de fluencia $\sigma_{fluc}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo máximo $\sigma_{máx}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fractura $\sigma_{frac}$ Kg/mm <sup>2</sup>
1	59,0	4,00	12,57	18,00	62,13	48,22	75,35	51,24
2	58,5	3,90	11,95	17,00	62,75	45,21	69,22	49,89
3	60,0	3,80	11,34	20,00	62,31	46,53	71,78	49,81
4	60,5	3,70	10,75	21,00	65,06	48,73	73,42	51,98
5	59,5	3,75	11,04	19,00	64,46	48,28	73,38	51,50
SUMA $\Sigma$				95,00	316,71	236,97	363,15	254,42
PROMEDIO $\Sigma/n$				19,00	63,34	47,39	72,63	50,88

En la fig. 3.3 se presenta una gráfica de estos resultados, la línea interrumpida representa el valor promedio.

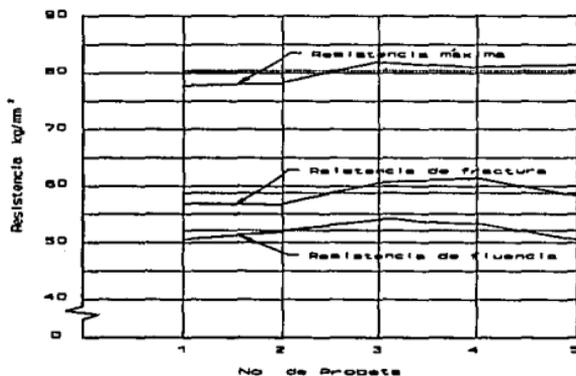


**Fig. No.3.3 Gráfica del comportamiento de las probetas.**

**FABRICANTE No. 2 (SICARTSA)**

Probeta No.	Longitud final $l_f$ mm	Diámetro final $d_f$ mm	Area final $A_f$ mm <sup>2</sup>	Elong. $\epsilon$	Reduc. de área RA	Esfuerzo de fluencia $\sigma_{flu}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo máximo $\sigma_{máx}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fractura $\sigma_{frac}$ Kg/mm <sup>2</sup>
1	57,80	4,00	12,57	15,60	60,32	50,52	77,68	56,84
2	58,00	3,95	12,25	16,00	60,18	51,98	77,97	56,85
3	58,20	4,10	13,20	16,40	57,91	54,19	81,92	60,57
4	57,90	4,00	12,57	15,80	59,30	53,43	80,96	61,53
5	58,40	3,95	12,25	16,80	61,30	50,52	81,47	58,41
SUMA $\Sigma$				80,60	299,01	260,64	400,00	294,20
PROMEDIO $\Sigma/n$				16,12	59,80	52,13	80,00	58,84

En la fig. No. 3.4 se presenta una gráfica de estos resultados, la línea interrumpida representa el valor promedio.

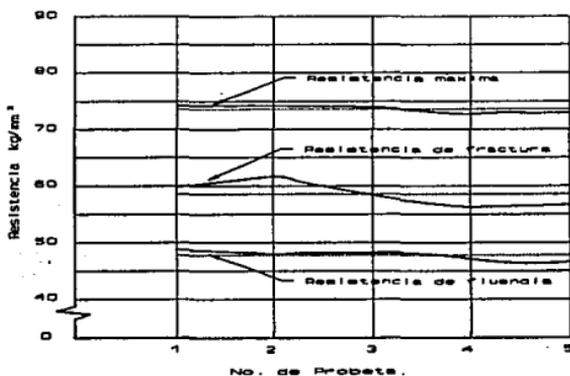


**Fig. No.3.4** Gráfica del comportamiento de las probetas.

**FABRICANTE No. 3 (SAN LUIS)**

Probeta No.	Longitud final $l_f$ mm	Diámetro final $d_f$ mm	Área final $A_f$ mm <sup>2</sup>	Elong. $\epsilon$	Reduc. de Área $RA$ %	Esfuerzo de fluencia $\sigma_{flu}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo máximo $\sigma_{máx}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fractura $\sigma_{frac}$ Kg/mm <sup>2</sup>
1	57,80	4,30	14,52	15,60	54,14	48,94	74,20	59,99
2	58,20	4,20	13,85	16,40	56,25	47,99	74,20	61,57
3	57,90	4,10	13,20	15,80	57,51	48,28	74,03	58,58
4	58,70	4,30	14,52	17,40	55,00	47,10	72,82	56,40
5	60,20	4,20	13,85	20,40	57,60	46,53	72,85	56,63
SUMA $\Sigma$				85,60	280,50	238,84	368,10	293,17
PROMEDIO $\Sigma/n$				17,12	56,10	47,77	73,62	58,63

En la fig. No. 3.5 se presenta una gráfica de estos resultados, la línea interrumpida representa el valor promedio.

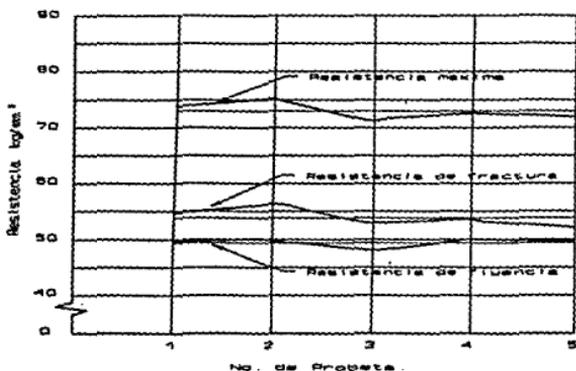


**Fig. No.3.5 Gráfica del comportamiento de las probetas.**

**FABRICANTE No. 4 (HYLSA)**

Probeta No.	Longitud final $l_f$ mm	Diámetro final $d_f$ mm	Área final $A_f$ mm <sup>2</sup>	Elong. $\epsilon$	Reduc. de área RA %	Esfuerzo de fluencia $\sigma_{fluc}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo máximo $\sigma_{máx}$ Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fractura $\sigma_{frac}$ Kg/mm <sup>2</sup>
1	58,25	4,40	15,21	16,50	59,29	49,58	73,74	54,91
2	59,30	4,20	13,85	18,60	56,25	50,52	75,15	56,20
3	59,20	4,10	13,20	18,40	58,96	48,18	71,50	52,80
4	60,50	4,20	13,85	21,00	56,25	50,52	72,62	53,68
5	59,90	4,10	13,20	19,80	58,31	49,26	71,99	52,10
S U M A $\Sigma$				94,30	289,06	248,06	365,00	269,69
P R O M E D I O $\Sigma/n$				18,86	57,81	49,61	73,00	53,94

En la fig. No. 3.6 se presenta una gráfica de estos resultados, la línea interrumpida representa el valor promedio.



**Fig. No.3.6 Gráfica del comportamiento de las probetas.**

### PRUEBA DE DOBLEZ

En la figura No. 3.7 se muestra el dispositivo utilizado para realizar la prueba de doblez a 180°. En las tablas siguientes se presentan los resultados obtenidos.



*Fig. No.3.7 Dispositivo para prueba de doblez.*

### RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DOBLEZ

#### **FABRICANTE No. 1 (SERVERA)**

Probeta No.	Observaciones
1	Sin grietas en el radio de doblez
2	Sin grietas en el radio de doblez

**FABRICANTE No. 2 (SICARTSA)**

Probeta No.	Observaciones
1	Sin grietas en el radio de doblar
2	Sin grietas en el radio de doblar

**FABRICANTE No. 3 (SAN LUIS)**

Probeta No.	Observaciones
1	Sin grietas en el radio de doblar
2	Sin grietas en el radio de doblar

**FABRICANTE No. 4 (HYLSA)**

Probeta No.	Observaciones
1	Sin grietas en el radio de doblar
2	Sin grietas en el radio de doblar

### 3.3 COMPARACION DE PROPIEDADES.

#### 3.3.1 COMPARACION CON RESPECTO A LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

Especificaciones mínimas:

$$\sigma_{\text{máx}} = 63 \text{ kg/mm}^2 \text{ mínimo.}$$

$$\sigma_{\text{flue}} = 42 \text{ kg/mm}^2 \text{ mínimo.}$$

$$\text{Elongación en 50 mm} = 14 \% \text{ mínimo.}$$

#### FABRICANTE No. 1 (SERVERA)

Valores promedio.

$$\sigma_{\text{máx}} = 72.63 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{flue}} = 47.39 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Elongación en 50 mm} = 19 \%$$

En resistencia de tensión con 15.29 % más, en resistencia de fluencia con 12.83 % más, y en elongación con 35.71 % más que lo especificado. Cumple con las normas oficiales.

#### FABRICANTE No. 2 (SICARTSA)

Valores promedio.

$$\sigma_{\text{máx}} = 80 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{flue}} = 52.13 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Elongación en 50 mm} = 16.12 \%$$

En resistencia de tensión con 26.98 % más, en resistencia de fluencia con 24.12 % más, y en elongación con 15.14 % más que lo especificado. Cumple con las normas oficiales.

**FABRICANTE No. 3 (SAN LUIS)**

Valores promedio.

$$\sigma_{\text{máx}} = 73.62 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{flué}} = 47.77 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Elongación en 50 mm} = 17.12 \%$$

En resistencia de tensión con 16.86 % más, en resistencia de fluencia con 13.64 % más, y en elongación con 22.29 % más que lo especificado. Cumple con las normas oficiales.

**FABRICANTE No. 4 (HYLSA)**

Valores promedio.

$$\sigma_{\text{máx}} = 73 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{flué}} = 49.61 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{Elongación en 50 mm} = 18.86 \%$$

En resistencia de tensión con 15.87 % más, en resistencia de fluencia con 18.12 % más, y en elongación con 34.71 % más que lo especificado. Cumple con las normas oficiales.

### 3.3.2 COMPARACION ENTRE FABRICANTES.

Resistencia máxima de tensión (kg/mm<sup>2</sup>)

F1 = 72.63      F2 = 80

F3 = 73.62      F4 = 73

Nota: para tener un manejo más fácil de información, designaremos al fabricante No. 1 como F1, al fabricante No. 2 como F2. etc.

F1, F3 y F4 tienen valores muy próximos, mientras el valor de F2 se eleva un poco, esto nos indica que F2 es el más resistente a la tensión. En la fig. No. 3.8 se puede observar un rango de 7.37 unidades entre el valor mínimo y el valor máximo.

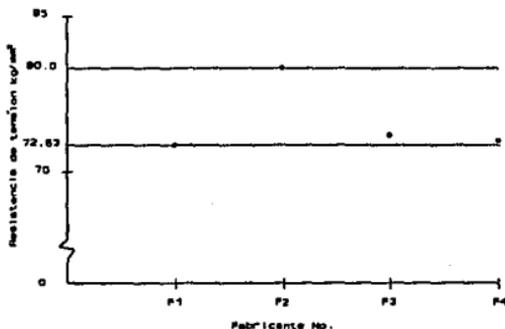


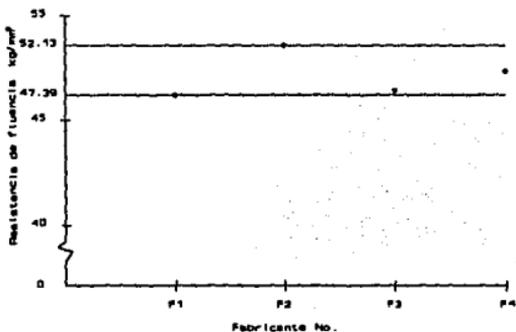
Fig. No.3.8 Variación de la resistencia a la tensión entre los diferentes fabricantes.

*Resistencia de fluencia (kg/mm<sup>2</sup>)*

F1 = 47.39      F2 = 52.13

F3 = 47.77      F4 = 49.61

F1, F3 y F4 tienen valores muy próximos, el valor de F2 es un poco mayor, en este caso se entiende que F2 es el más resistente a la fluencia. En la fig. No. 3.9 se puede observar un rango de 4.74 unidades entre el valor mínimo y el valor máximo.



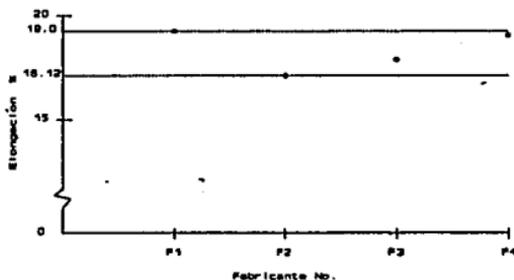
**Fig. No.3.9** Variación de la resistencia fluencia entre los diferentes fabricantes.

**Elongacion en 50 mm (%)**

**F1 = 19.00      F2 = 16.12**

**F3 = 17.12      F4 = 18.86**

F1 y F4 tienen valores muy próximos, en tanto el valor de F2 es el menor, esto significa que F1 y F4 son los más dúctiles. En la fig. No. 3.9 se puede observar un rango de 2.88 unidades entre el valor mínimo y el valor máximo.



**Fig. No.3.10 Variación de la elongación entre los diferentes fabricantes.**

### Reducción de área (%)

F1 = 63.34      F2 = 58.80

F3 = 56.10      F4 = 57.81

F1 tiene el valor alto, en tanto que los valores de F2, F3 y F4 son muy próximos, pero menores; esto significa que F1 es el más dúctil. En la fig. No. 3.11 se puede observar un rango de 7.24 unidades entre el valor mínimo y el valor máximo.

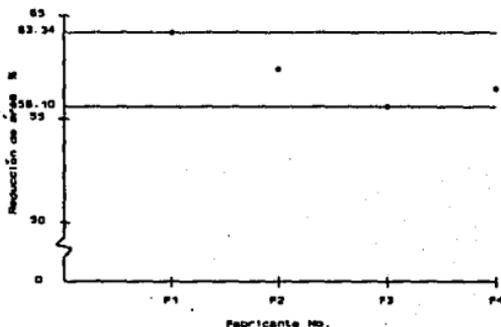


Fig. No.3.11 Variación de la reducción de área entre los diferentes fabricantes.

## CAPITULO IV

### ANALISIS METALOGRAFICO

#### 4.1 PREPARACION DE PROBETAS.

Se cortaron dos muestras de cada fabricante y se montaron en baquelita, para evitar que se formara un radio en los bordes ya que el diámetro de las varilla es muy pequeño.

Después se desbastaron con lijas de carburo de silicio del No. 220, 400 y 600; posteriormente se utilizo una máquina pulidora y abrasivo de óxido de aluminio (alumina), para obtener un acabado espejo.

#### 4.2 ATAQUE QUIMICO.

El ataque químico tiene como objetivo el mostrar las estructuras presentes en el metal.

Se utilizo nital (ácido nítrico y alcohol) como reactivo, cuya composición es la siguiente:

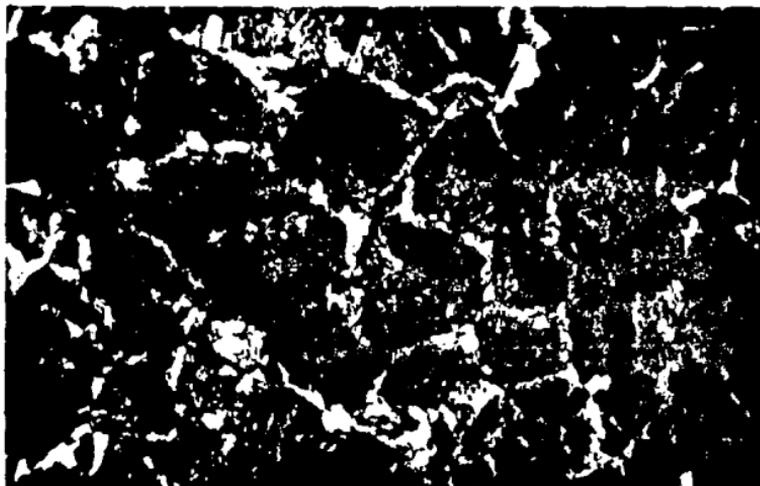
Acido nítrico blanco	2 ml.
Alcohol metílico o etílico	98 % o absoluto, 100 ml.

La función de este reactivo sobre estos aceros es la de oscurecer la perlita y revelar las fronteras de la misma, así como diferenciar la ferrita.

El ataque se realizo durante un tiempo aproximado de 8 s. Se observaron al microscopio y se tomaron fotografías de las estructuras.

### 4.3 ESTUDIO DE LA MICROESTRUCTURA.

**FABRICANTE No. 1 (SERVERA)**



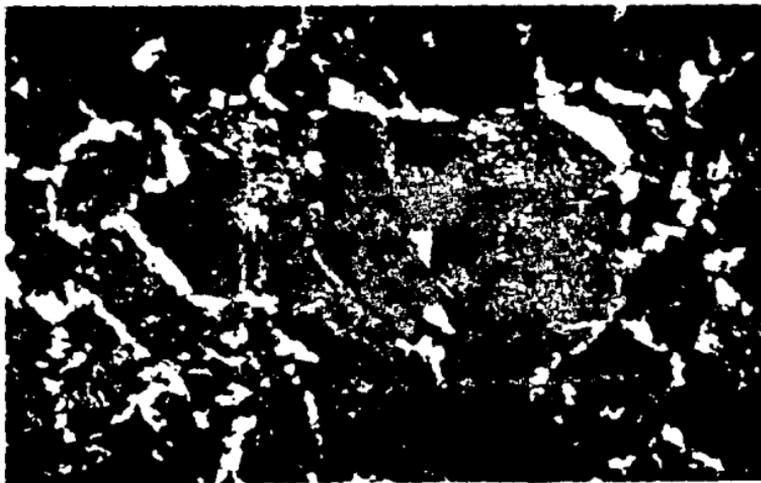
*Fig. No. 4.1 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 600 x.*

En la fig. 4.1 se pueden observar las estructuras presentes, las colonias más grandes son de perlita (zonas oscuras) y las más pequeñas son de ferrita (zonas claras), que limitan a la perlita.

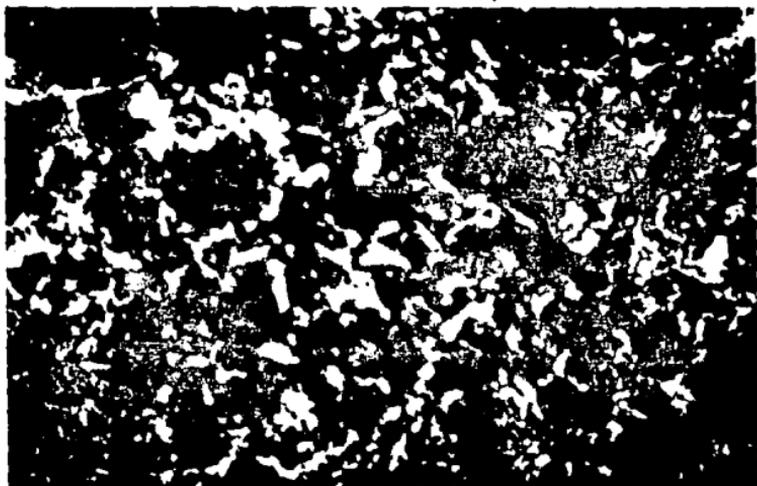
Se puede apreciar que la cantidad de perlita es muy alta, aproximadamente un 80 % de perlita y un 20 % de ferrita,

Por lo tanto, es de esperarse que el contenido de carbono sea alto, con respecto al 0.55 % que teóricamente se maneja para este tipo de varillas; sin embargo, en las pruebas se comprobó que cumple con los requisitos mecánicos, especificados en las normas.

En la fig. 4.2 se puede observar la estructura de este acero, amplificado a 900 x.



*Fig. No. 4.2 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 900 x.*



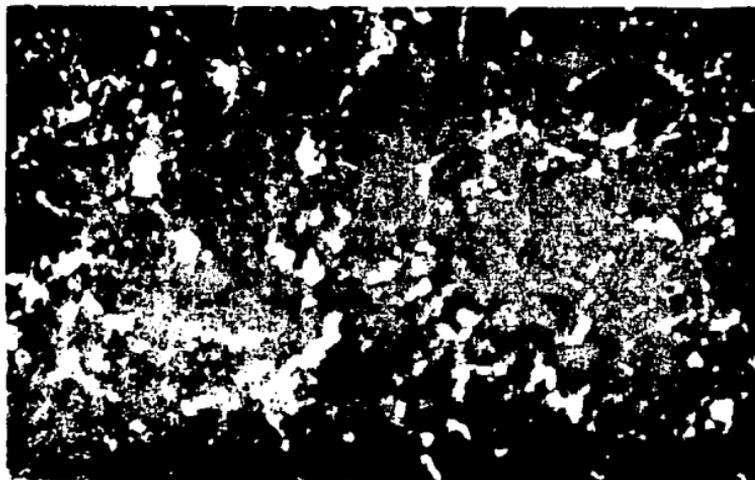
*Fig. No. 4.3 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 600 x.*

En la fig. 4.3 también se pueden observar las estructuras de perlita y ferrita, pero en comparación de la muestra anterior, las colonias de ferrita son menos definidas y más pequeñas, apreciamos un contenido de perlita de 85 % de perlita y 15 % de ferrita, aproximadamente.

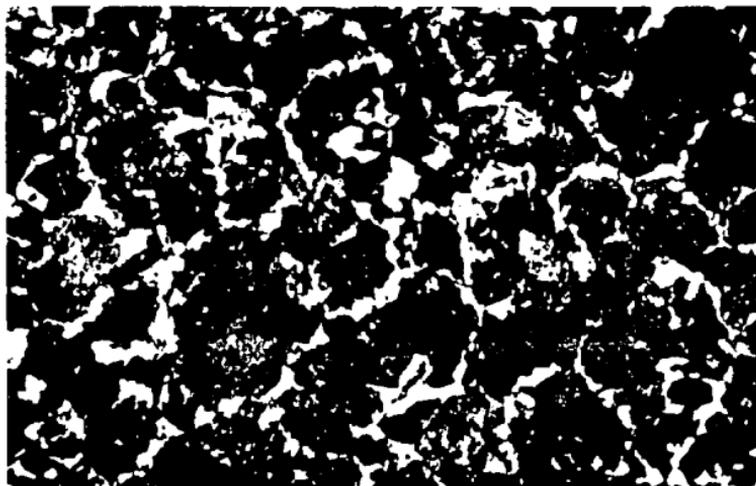
Podemos pensar que por esto, en las pruebas mecánicas esta varilla presento el más alto valor de resistencia a la tensión y resistencia a la fluencia; pero una menor ductilidad,

representado por la elongación y reducción de área. Pero también cumple con los requisitos mecánicos especificados normas.

En la fig. 4.4 se observa la estructura de este acero, amplificado a 900 x.



*Fig. No. 4.4 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 900 x.*



*Fig. No. 4.5 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 600 x.*

En la fig 4.5 se observan las estructuras de perlita y ferrita, en esta varilla, el contenido de ferrita es mucho mayor que en las muestras anteriores, consideramos un 75 % de perlita y 25 % de ferrita, aproximadamente.

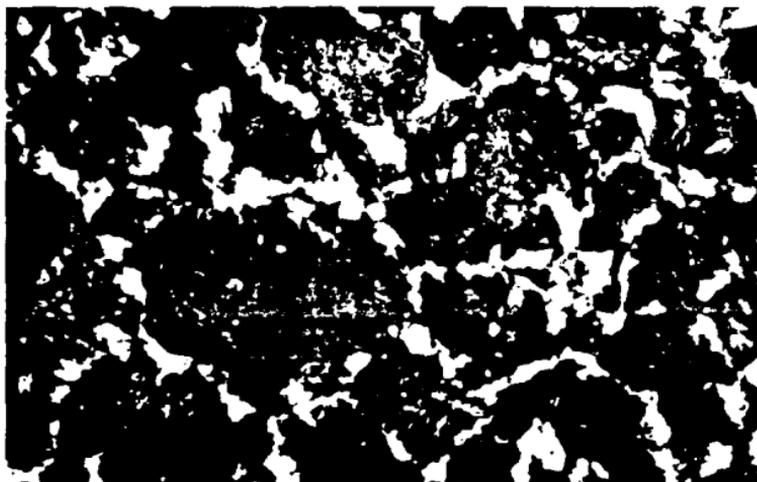
Las colonias de ambas estructuras están bien definidas, el tamaño de las colonias de perlita son relativamente grandes con respecto a las de ferrita.

Esta claro que su contenido de carbono es menor; por lo tanto

era de esperarse que su ductilidad fuera mucho mayor, sin embargo su ductilidad se encuentra por debajo de la primera muestra y ligeramente arriba de la segunda.

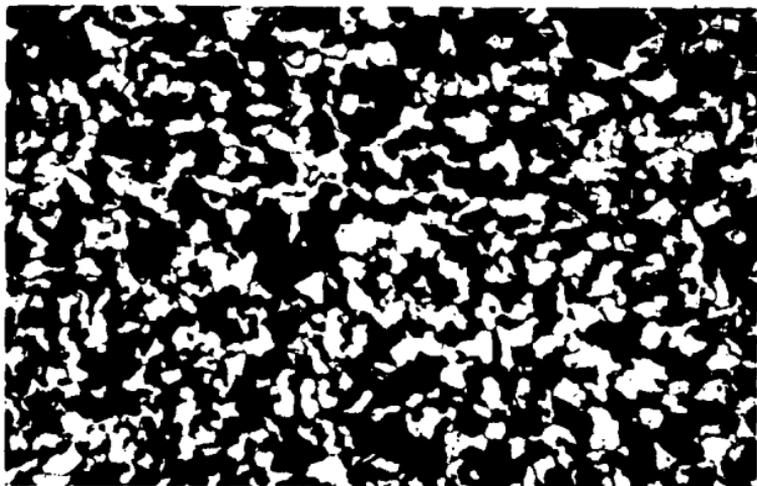
En cuanto a la resistencia a la tensión y resistencia a la fluencia, sus valores son muy similares a los de la primera muestra. También cumple con los requisitos mecánicos especificados en las normas.

En la fig. 4.6 se observa la estructura de este acero, amplificado a 900 x.



*Fig. No. 4.6 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 900 x.*

**FABRICANTE No. 4 (HYLSA)**



*Fig. No. 4.7 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 600 x.*

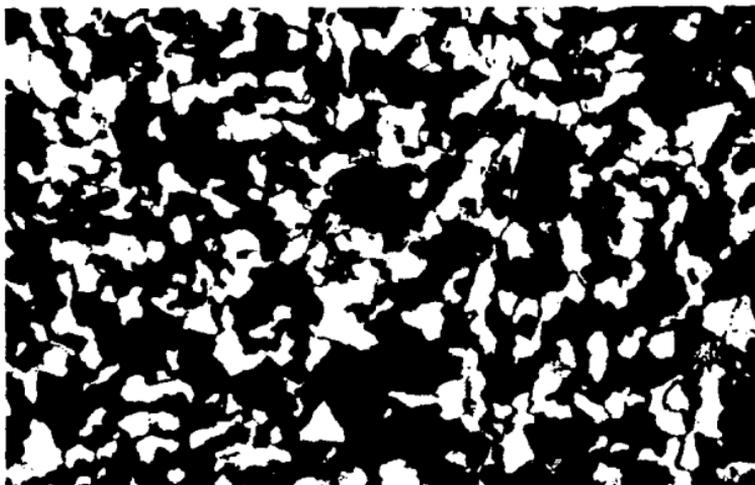
En la fig 4.7 se observan también las estructuras de perlita y ferrita, se puede apreciar que la cantidad de ambas es muy similar, consideramos un 50 % de perlita y 50 % de ferrita, aproximadamente.

Podemos decir que esta varilla es la de menor contenido de carbono. El tamaño de las colonias de ambas estructuras es muy parecido.

Era de esperarse que esta varilla presentara una ductilidad

mayor y una resistencia menor que cualquiera de las otras varillas, pero no es así; ya que las pruebas de tensión, fluencia y ductilidad, muestran que sus valores son muy próximos a las otras probetas. También cumple con los requisitos mecánicos especificados en las normas.

En la fig. 4.8 se puede observar la estructura de este acero, amplificado a 900 x.



*Fig. No. 4.8 Microestructura de varilla de acero para refuerzo de concreto, 900 x.*

#### 4.4 DETERMINACION DEL CONTENIDO APROXIMADO DE CARBONO.

Se utilizo un método que consiste en lo siguiente:  
se pesa la fotografía correspondiente, para obtener:

$$W_T = \text{peso total (perlita + ferrita)}.$$

se recorto la perlita (zonas oscuras), se peso y se obtuvo:

$$W_p = \text{peso aproximado de la perlita}.$$

Entonces el peso aproximado de ferrita será:

$$W_f = W_T - W_p$$

después se obtiene el contenido de perlita y de ferrita,  
expresado en porcentaje:

$$\% P = 100 [W_p / W_T]$$

$$\% F = 100 [W_f / W_T]$$

Y se utiliza la siguiente relación para determinar el  
contenido aproximado de carbono:

$$0.8 \% C \longrightarrow 100 \% \text{ de perlita.}$$

$$X \% C \longrightarrow \% P.$$

Entonces:

$$\underline{X = 0.8 [\% P / 100]}$$

**FABRICANTE No. 1 (SERVERA)**

Peso total:

$$W_t = 3.9157 \text{ g}$$

Peso aproximado de perlita:

$$W_p = 3.0856 \text{ g}$$

Peso aproximado de ferrita:

$$W_f = 0.8301 \text{ g}$$

Porcentaje de ferrita y perlita:

$$\% F = 100 [0.8301 / 3.9157] = 21.2 \%$$

$$\% P = 100 [3.0856 / 3.9157] = 78.8 \%$$

El contenido aproximado de carbono es:

$$X = 0.8 [78.8 / 100]$$

$$\underline{X = 0.63 \% \text{ de C.}}$$

**FABRICANTE No. 2 (SICARTSA)**

Peso total:

$$W_t = 4.0284 \text{ g}$$

Peso aproximado de perlita:

$$W_p = 3.1109 \text{ g}$$

Peso aproximado de ferrita:

$$W_f = 0.9175 \text{ g}$$

Porcentaje de ferrita y perlita:

$$\% F = 100 [0.9175 / 4.0284] = 22.8 \%$$

$$\% P = 100 [3.1109 / 4.0284] = 77.2 \%$$

El contenido aproximado de carbono es:

$$X = 0.8 [77.2 / 100]$$

$$\underline{X = 0.62 \% \text{ de C.}}$$

**FABRICANTE No. 3 (SAN LUIS)**

Peso total:

$$W_t = 3.9855 \text{ g}$$

Peso aproximado de perlita:

$$W_p = 2.9931 \text{ g}$$

Peso aproximado de ferrita:

$$W_f = 0.9924 \text{ g}$$

Porcentaje de ferrita y perlita:

$$\% F = 100 [0.9924 / 3.9855] = 24.9 \%$$

$$\% P = 100 [2.9931 / 3.9855] = 75.1 \%$$

El contenido aproximado de carbono es:

$$X = 0.8 [75.1 / 100]$$

$$\underline{X = 0.60 \% \text{ de C.}}$$

**FABRICANTE No. 4 (HYLSA)**

Peso total:

$$W_T = 3.9779 \text{ g}$$

Peso aproximado de perlita:

$$W_p = 2.1579 \text{ g}$$

Peso aproximado de ferrita:

$$W_f = 1.8200 \text{ g}$$

Porcentaje de ferrita y perlita:

$$\% F = 100 [1.8200 / 3.9779] = 45.8 \%$$

$$\% P = 100 [2.1579 / 3.9779] = 54.2 \%$$

El contenido aproximado de carbono es:

$$X = 0.8 [54.2 / 100]$$

$$\underline{X = 0.43 \% \text{ de C.}}$$

### CONCLUSIONES

Se puede observar en nuestro análisis que todas las varillas cumplen con los requisitos mecánicos.

Sabemos que la cantidad de carbono en el acero, tiene efectos sobre sus propiedades; hasta cierto límite, una mayor cantidad de carbono, aumenta la resistencia de tensión y la resistencia de fluencia, pero disminuye la ductilidad.

En este caso, la varilla F1 tiene el mayor contenido de carbono; sin embargo presentó una mayor ductilidad, expresada mediante el porcentaje de elongación y reducción de área; incluso mayor que la varilla F4, que es la de menor contenido de carbono, aunque la diferencia es muy pequeña.

En cuanto a la resistencia a la tensión, esta misma varilla F1, resultó ser la de menor valor; en cambio la varilla F2 con menos contenido de carbono, presentó un valor más alto. Las varillas F3 y F4 tienen valores muy cercanos.

En cuanto a la resistencia de fluencia, las varillas F1, F3 y F4 tienen valores muy similares; la varilla F2 tiene un valor un poco mayor, pero también la diferencia es pequeña.

Analizando la varilla F2, que presentó los mayores valores de resistencia de tensión, de fluencia, y la ductilidad menor; en su microestructura se observan las áreas más pequeñas de ferrita.

En tanto que las varillas F1 y F3 presentan áreas más grandes de perlita, limitadas por áreas relativamente grandes de ferrita, que hacen que su resistencia de tensión y de fluencia sean menores,

pero con una ductilidad mayor.

La varilla F4 tiene propiedades muy similares a las otras varillas, aun teniendo menos carbono, quizá debido a que las colonias de ferrita y de perlita tienen tamaños muy parecidos, además que su distribución es bastante homogénea.

De el análisis de la microestructura de estos aceros, podemos decir, aunque es importante el contenido de carbono, también es de considerarse la distribución de sus constituyentes. Ya que la forma en que se encuentran distribuidas tanto la ferrita como la perlita, influyen en sus propiedades.

Podemos decir que en nuestro país, se fabrica varilla de acero para refuerzo de concreto, que esta por encima de lo especificado en las normas oficiales.

## BIBLIOGRAFIA

1. Avner, Sydney H., "Introducción a la Metalurgia Física", McGraw-Hill, México D.F., 1985.
2. Askeland, Donald R., "La Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Grupo Editorial Iberoamérica, México D.F., 1989.
3. González, R., "Metales Puros y sus Aleaciones", I.M.P., México D.F., 1981.
4. Doyle, Lawrence E., "Proceso de Manufactura y Materiales", Diana, México D.F., 1980.
5. Arze, E., "Comportamiento de barras de refuerzo de hormigón", Congreso Latinoamericano de Siderurgia, ILAFA-27, México D.F., octubre de 1986.
6. Estévez F., Martínez L., "Varilla de acero de alta ductilidad para zonas sísmicas", Ciencia y Desarrollo, núm. 75, año XIII, 1987, pp 31-39.

7. Norma Oficial Mexicana: NOM-B-6-1988, "varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de lingote o palanquilla para refuerzo de concreto". Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1988.
  
8. Norma Oficial Mexicana: NOM-B-18-1988, "varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de riel para refuerzo de concreto". Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1988.
  
9. Norma Oficial Mexicana: NOM-B-32-1988, "varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de eje para refuerzo de concreto". Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1988.
  
10. Norma Oficial Mexicana: NOM-B-294-1986, "varillas corrugadas y lisas de acero, torcidas en frío, procedentes de lingote o palanquilla para refuerzo de concreto". Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1986.