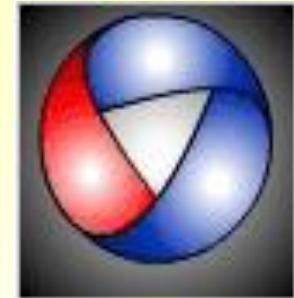




Universidad Nacional de Cuyo  
Facultad de Ingeniería

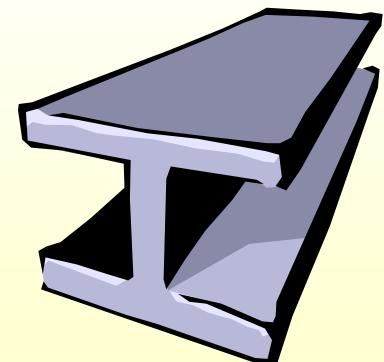


**Unidad N° 6:**

# **ALEACIONES FERROSAS**

**Parte 1: Diagrama Hierro Carbono**

**Dra. Ana María Furlani**



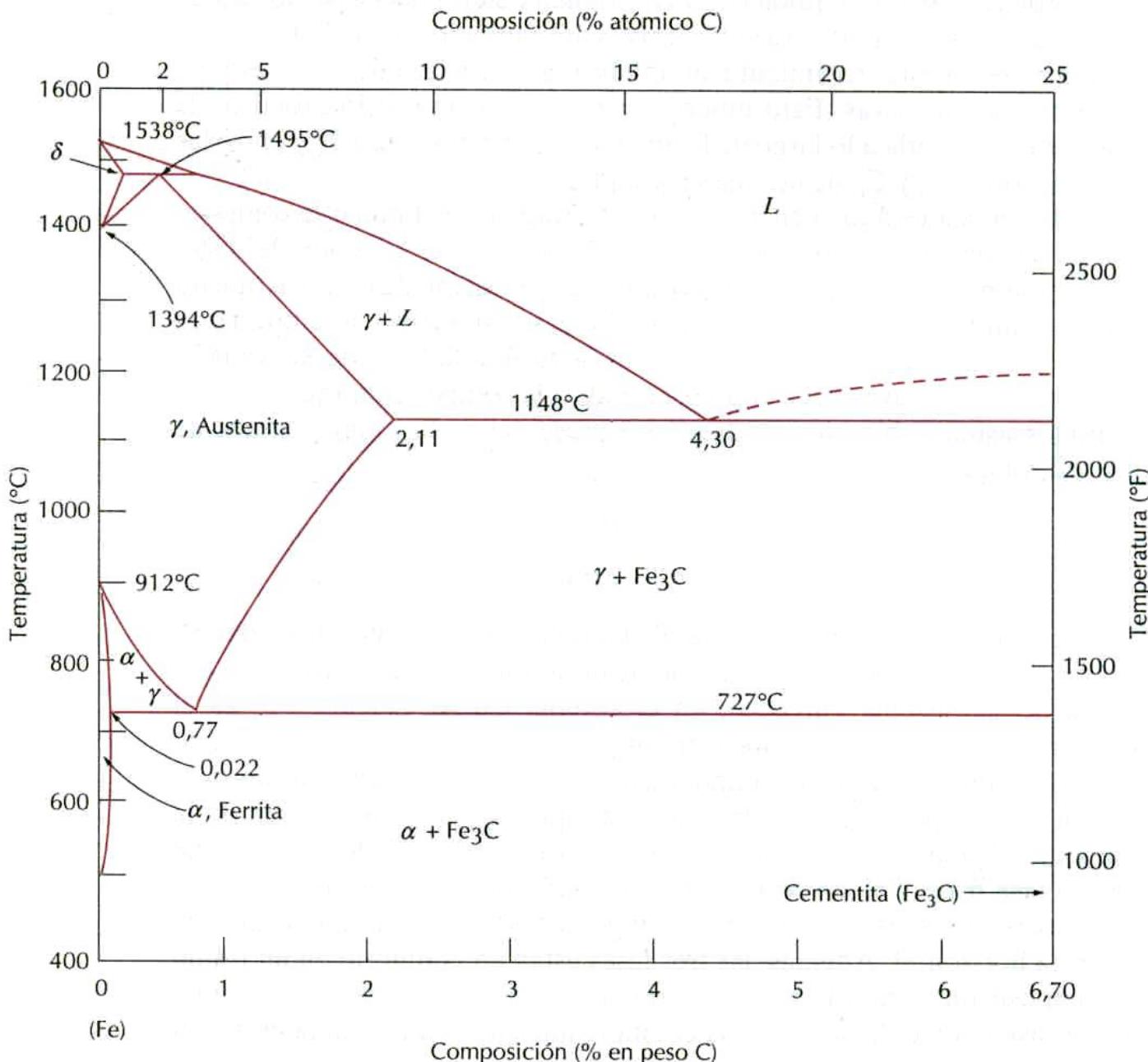
# ***Plan de la Exposición***

## A.Diagrama Hierro Carbono

- A.Microestructura acero hipoeutectoide
- B.Microestructura acero eutectoide
- C.Microestructura acero hipereutectoide

## B. Fundiciones

# DIAGRAMA HIERRO-CARBONO



# DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

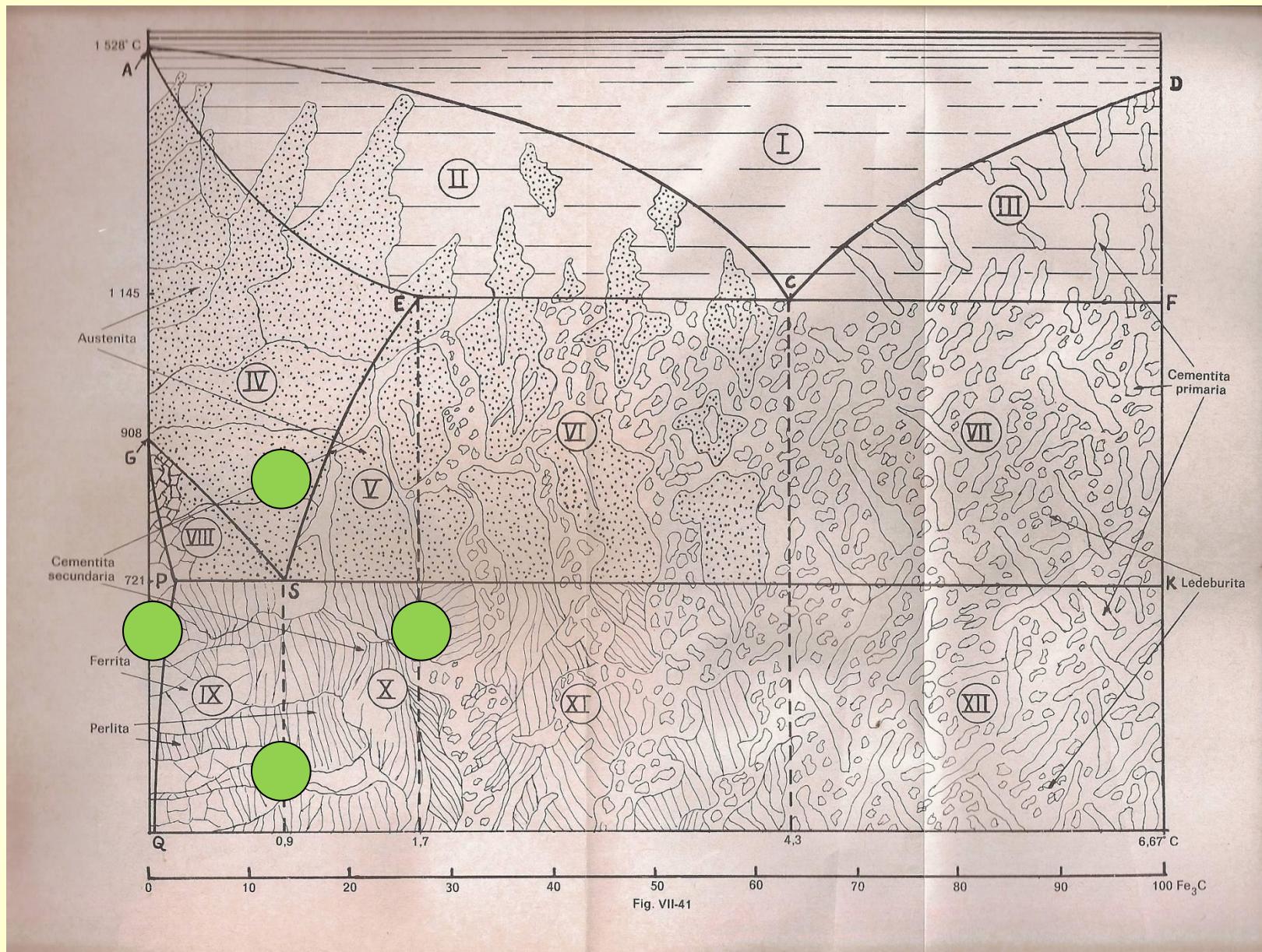
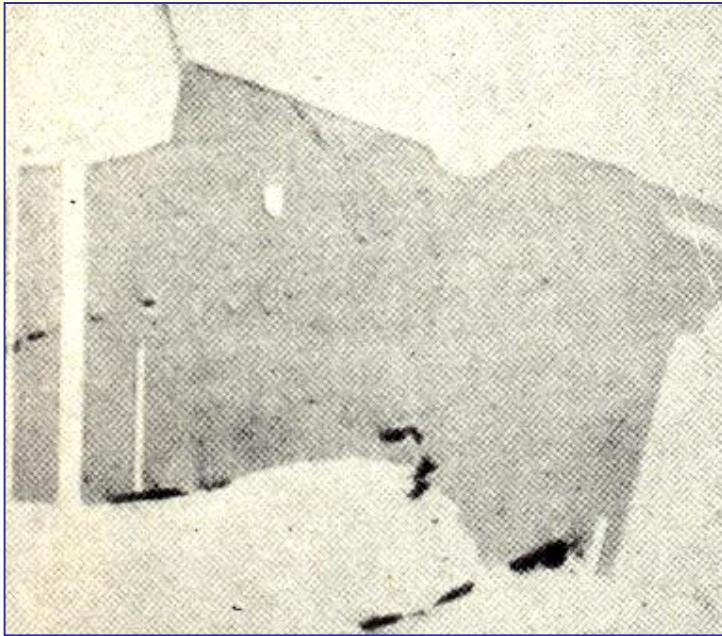


Fig. VII-41

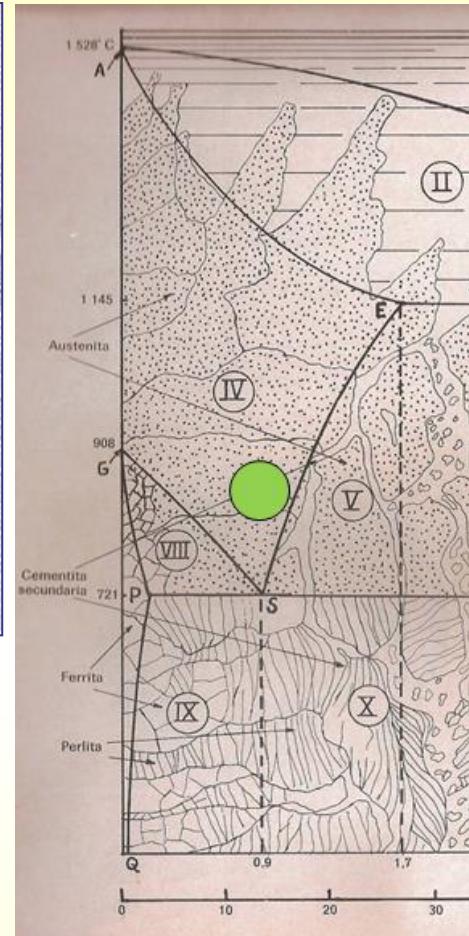
# Austenita



Granos de austenita que muestran una estructura interna de martensita en un acero al tungsteno; composición: carbono 1,2% y tungsteno 3%; calentado a 1200°C, enfriado lentamente hasta 750°C y después al aire. (x500)

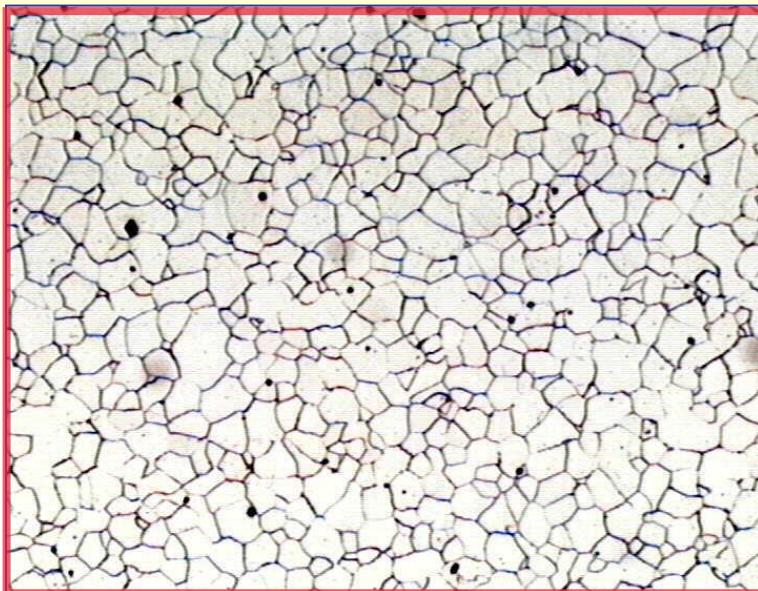


Austenita mostrando maclado, en un acero con carbono 0,5% y níquel 24,4% (x100)

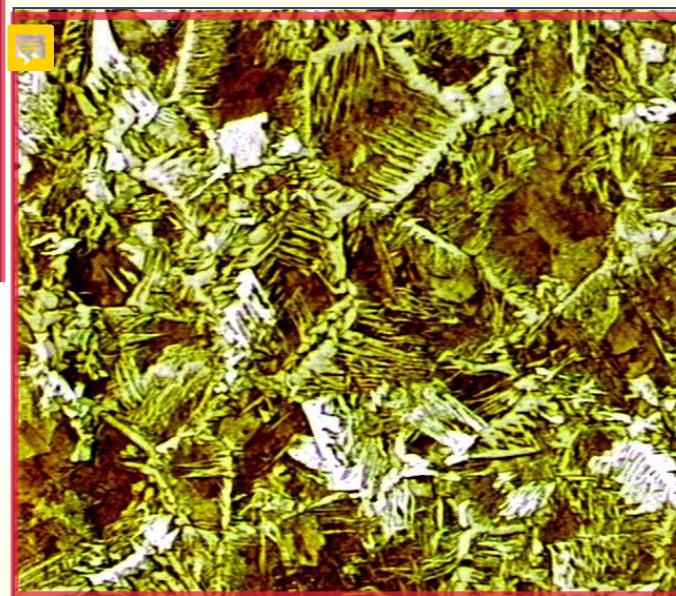


VOLVER

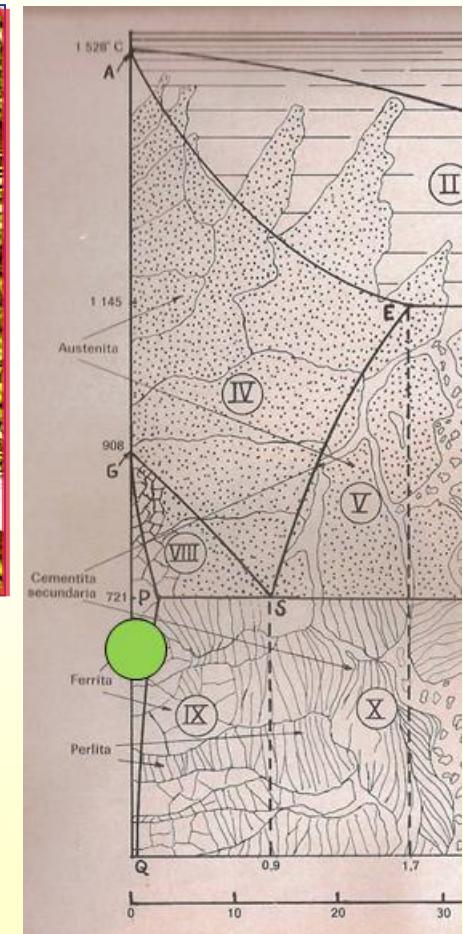
# Ferrita



Morfología Equiaxial. (x100)



Estructura de Widmstatten.  
(x100)



VOLVER

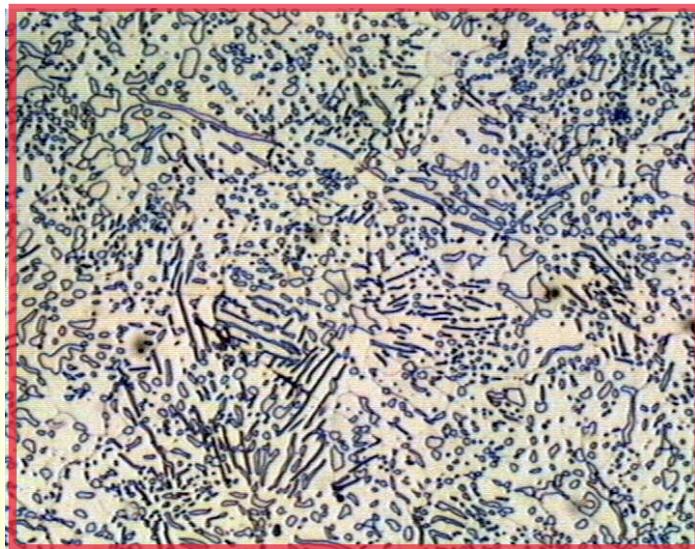
# Perlite



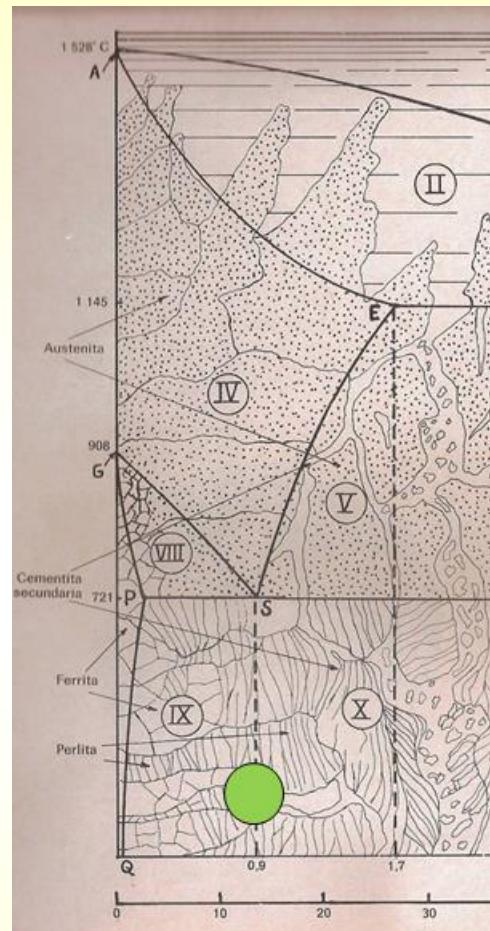
Micrografía de Perlita laminar (x400)

El color oscuro o negro lo producen el gran número de límites de grano existentes entre la matriz ferrítica y las láminas de cementita.

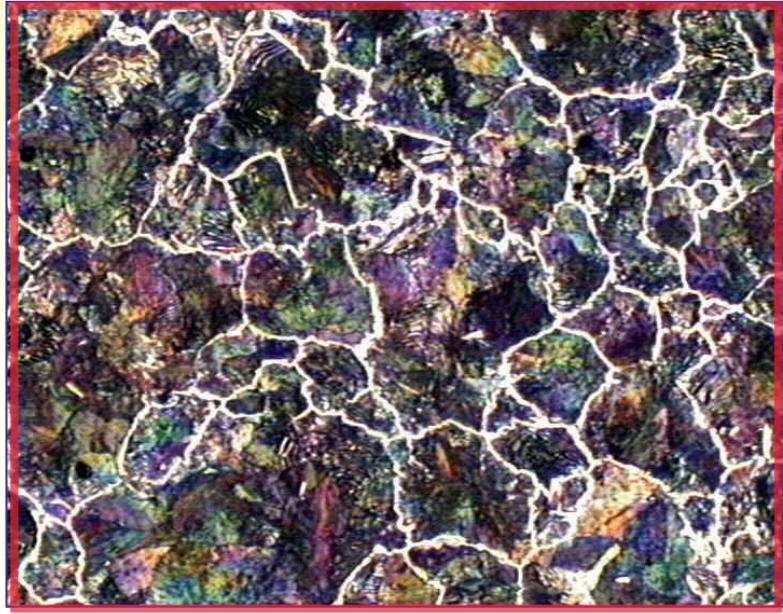
Cuando la transformación eutectoide se realiza lentamente o cuando tras la formación de perlita se da un tratamiento de esferoidización la cementita no aparece en forma laminar, sino en forma globular de menor contenido energético.



Micrografía de Perlita Globular-esferoidita (x400)



# Cementita



Acero hipereutectoide (x100)

La cementita secundaria forma una red continua enmarcando una estructura granular formada por colonias de perlita

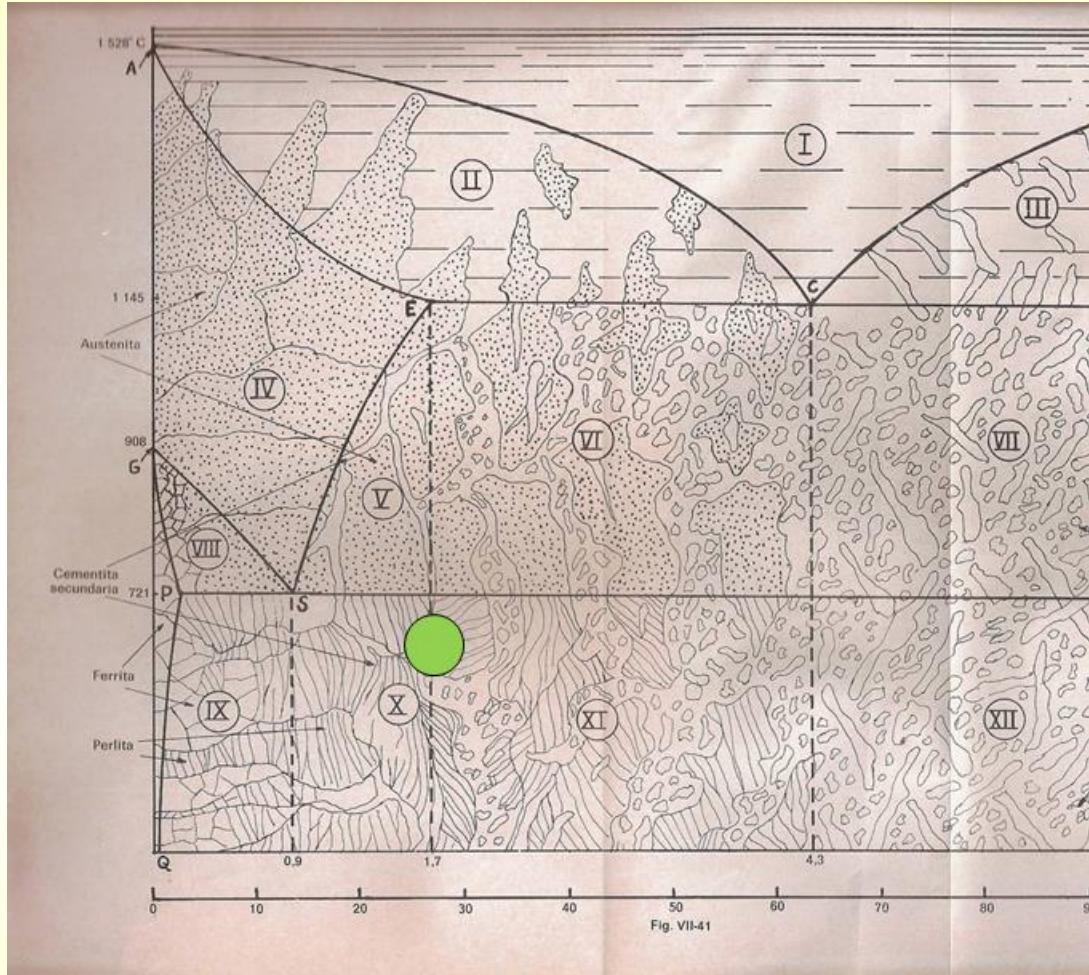
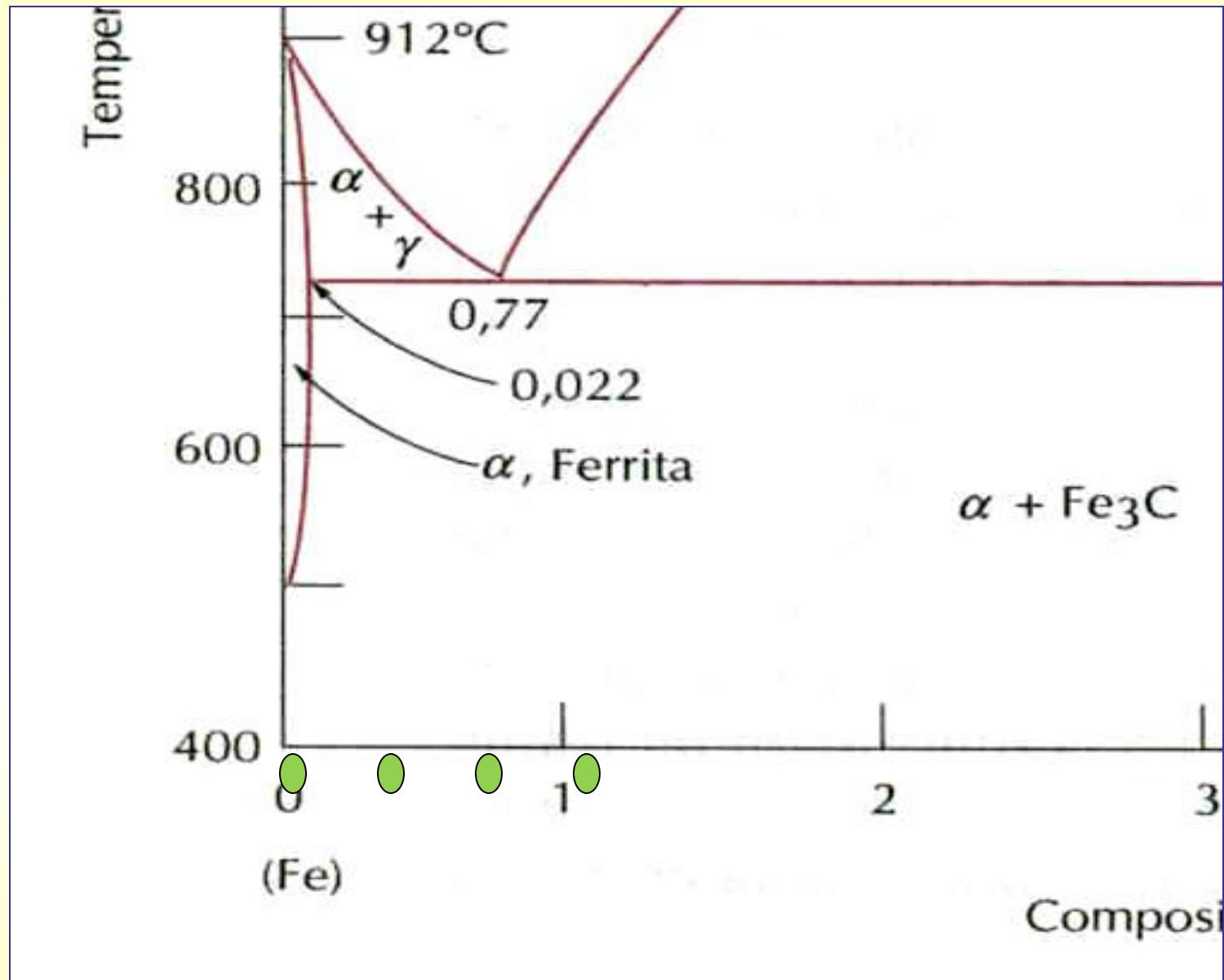


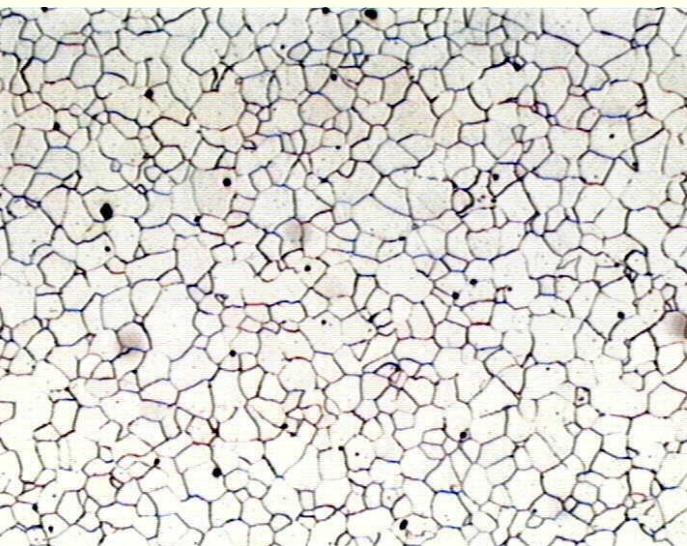
Fig. VII-41

VOLVER

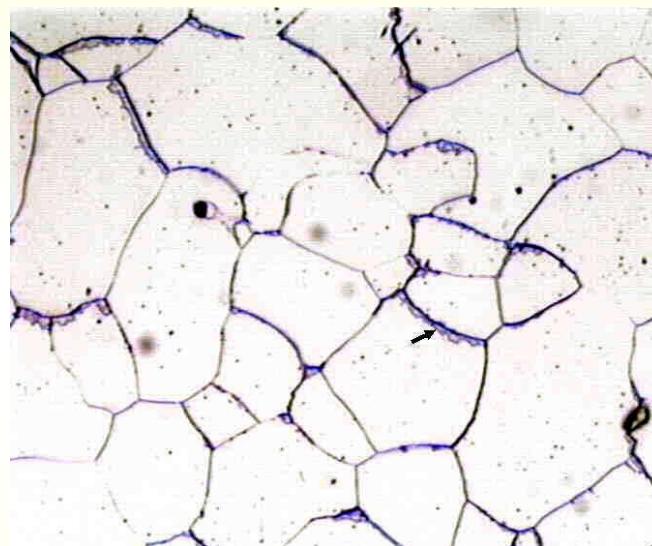


# ACERO CON 0,05 %C

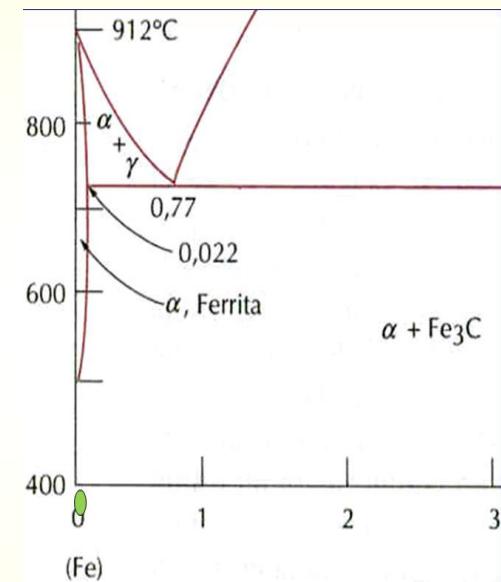
## Hierro laminado en caliente

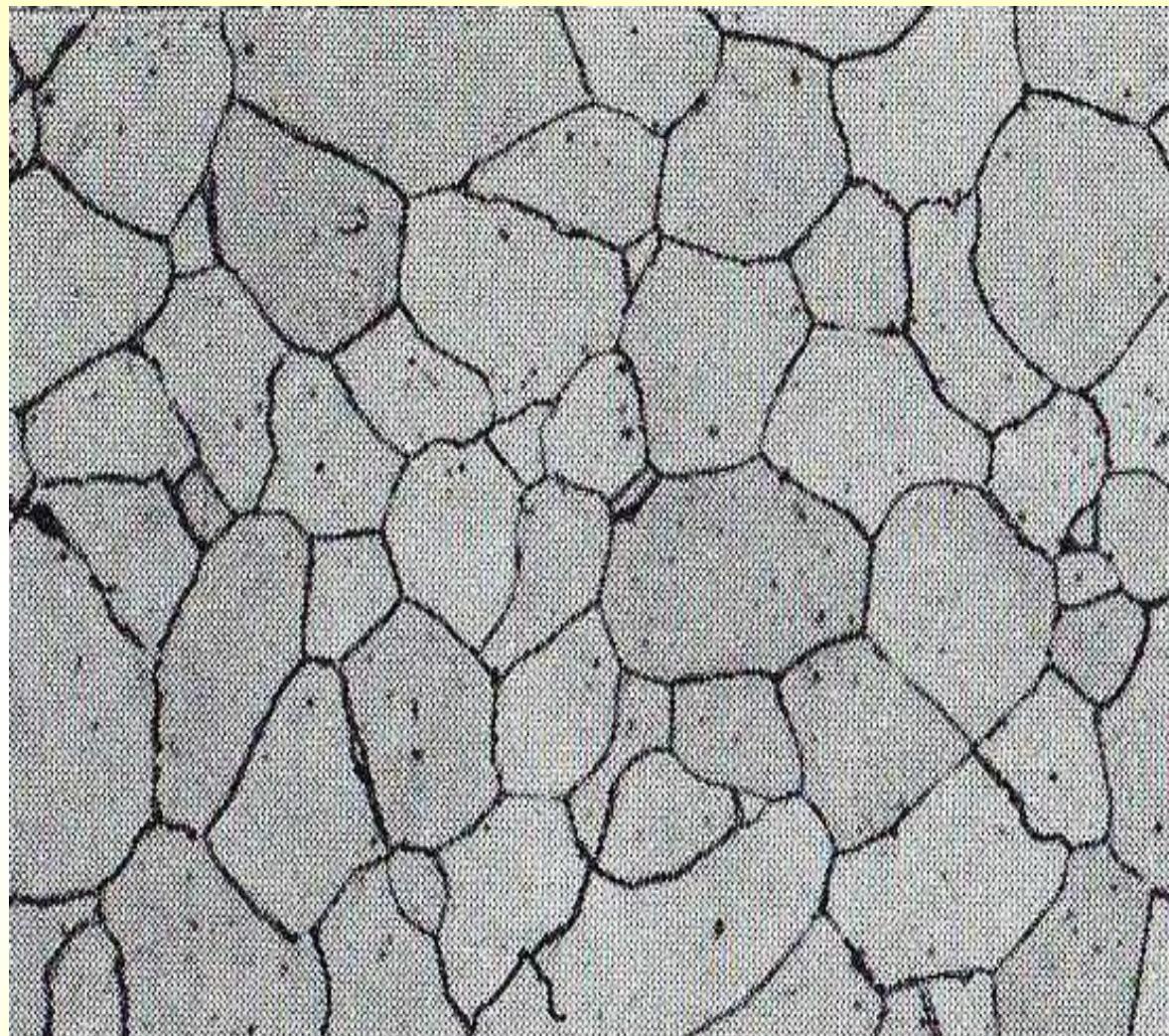


Se observan una serie de recintos poligonales y equiaxiales, que según el diagrama corresponden a granos de ferrita  $\alpha$ , x100



A mayores aumentos se observan la presencia de otras características en los límites de grano. Al llegar a la temperatura de transformación eutectoide, el carbono en forma de solución sólida en la ferrita  $\alpha$  es sólo del 0.025%, por lo que debe precipitarse el otro 0.025% como el eutectoide, denominado perlita. x200

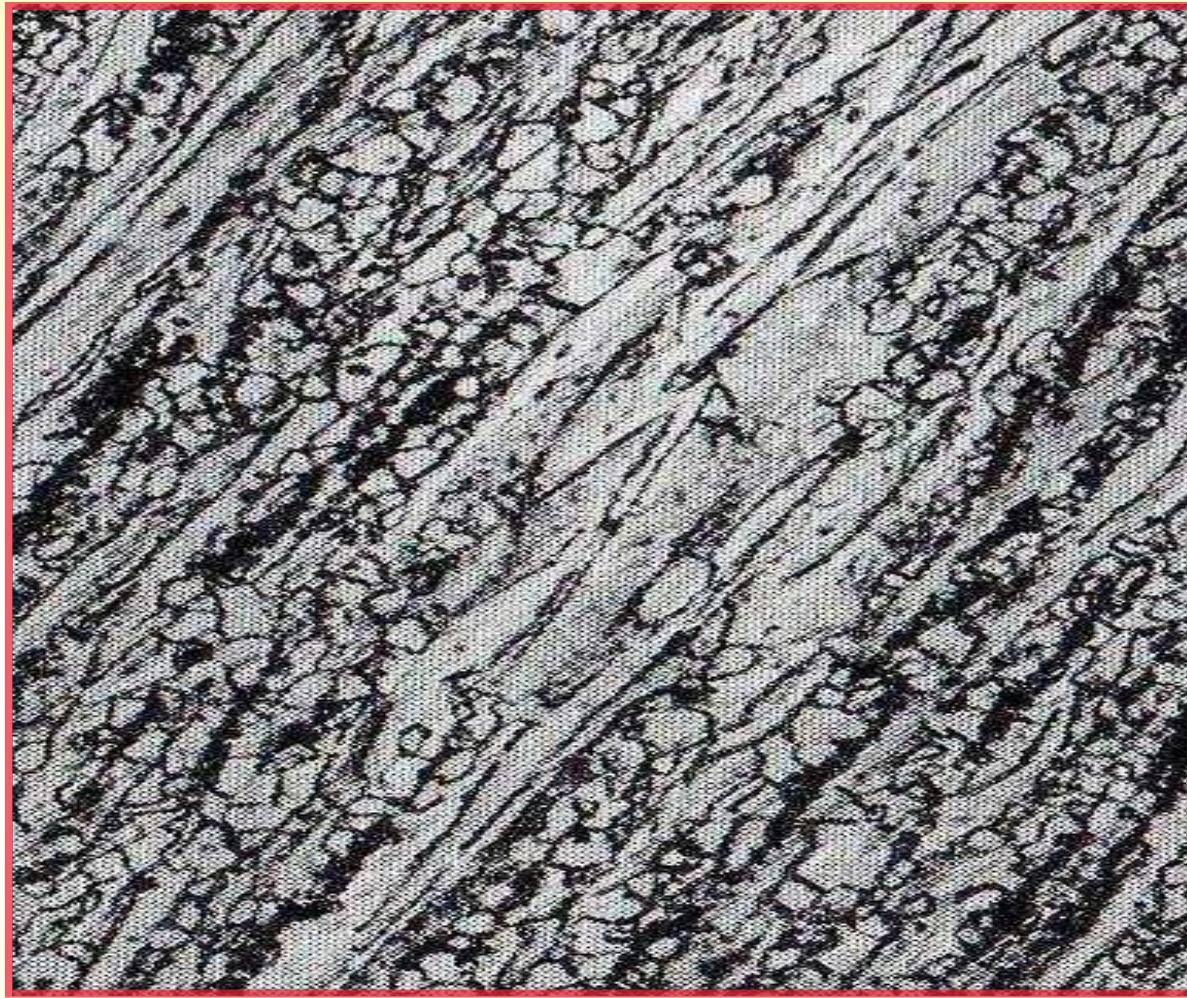




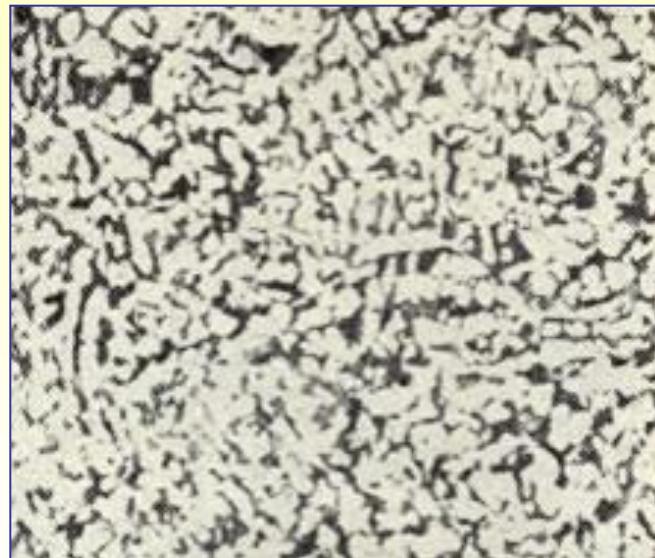
**Microestructura de solución sólida de carbono en hierro  $\alpha$ . Acero ferrítico con 0.05% C en estado de recocido. Granos de ferrita equiaxial. Ataque con nital. Aumento 500 $\times$ .**



**Microestructura de solución sólida en estructura de colada. Acero SAE 1010 colado. Ferrita basáltica con poca perlita. Ataque con nital. Aumento 400×.**

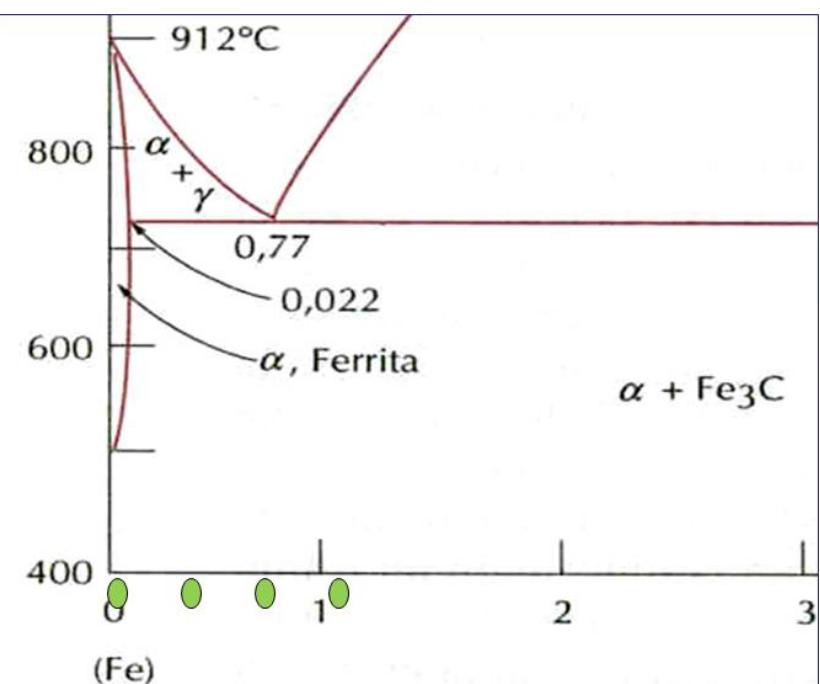


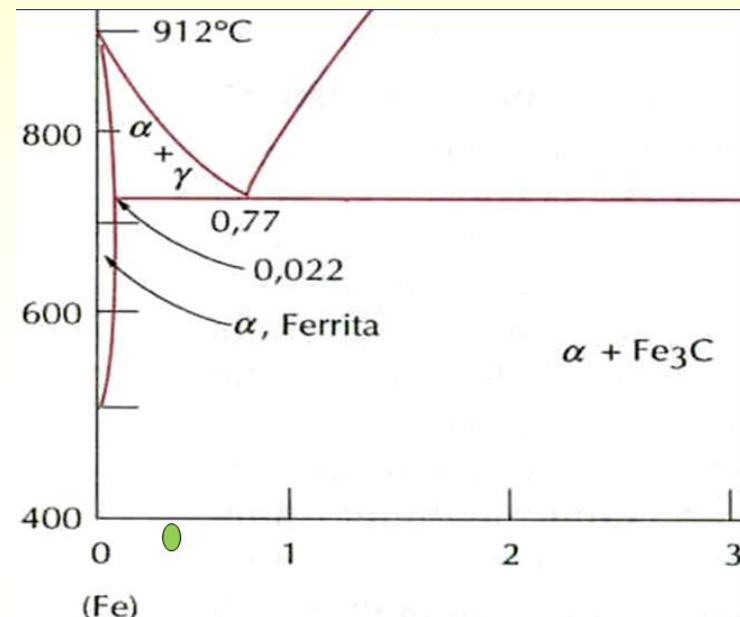
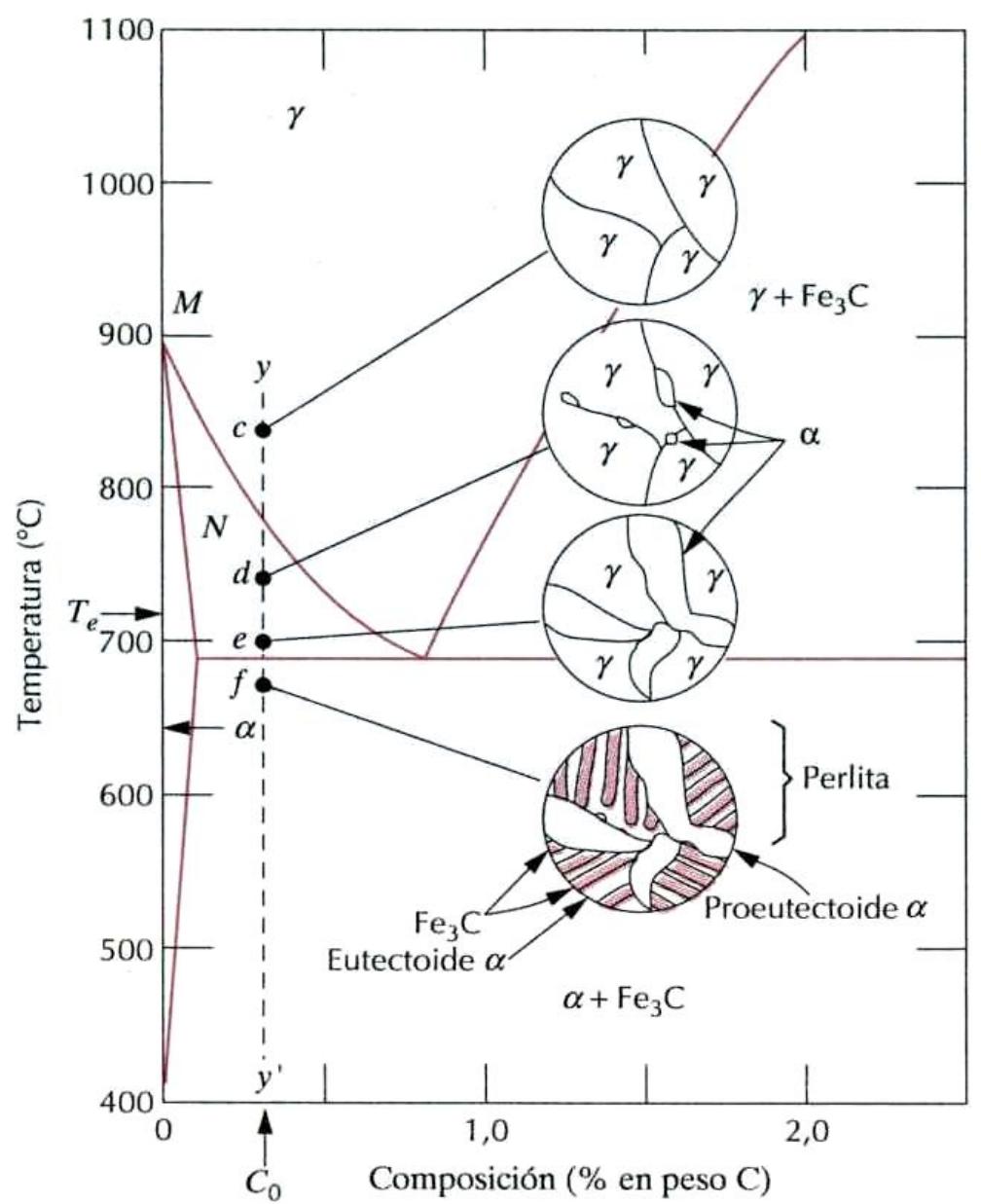
**Microestructura de deformación y recristalización parcial. Acero SAE 1010. Granos grandes alargados y pequeños granos equiaxiales de ferrita. Perlita intergranular. Ataque con nital. Aumento 500×.**



Acero moldeado (C 0,27%, Mn 0,67%) con estructura acicular de ferrita, tal como se encuentra en las grandes piezas moldeadas.

Acero moldeado (C 0,24%, Mn 1,08%) que muestra estructura dendrítica de ferrita, piezas de pequeño espesor.(x15)

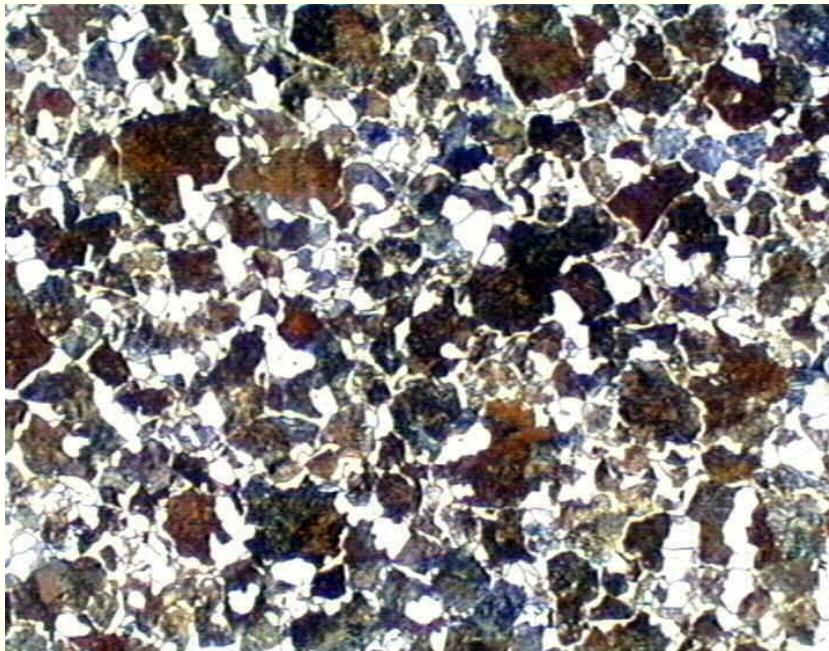




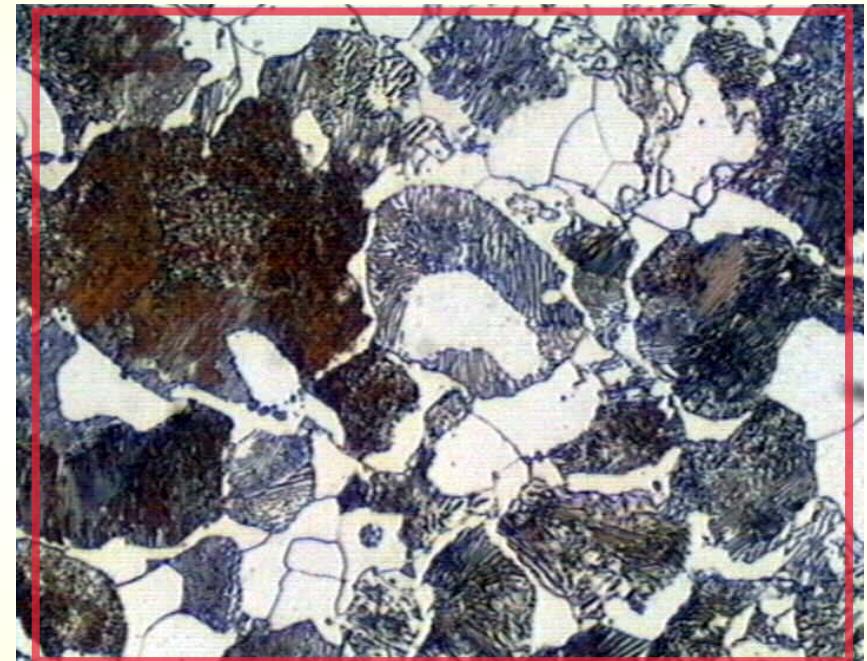
# Esquema de las microestructuras de un acero hipoeutectoide de composición menor 0.77%C

# ACERO DE UN 0,35 % C

Laminado en caliente y enfriado desde 870°C en el horno (recocido)



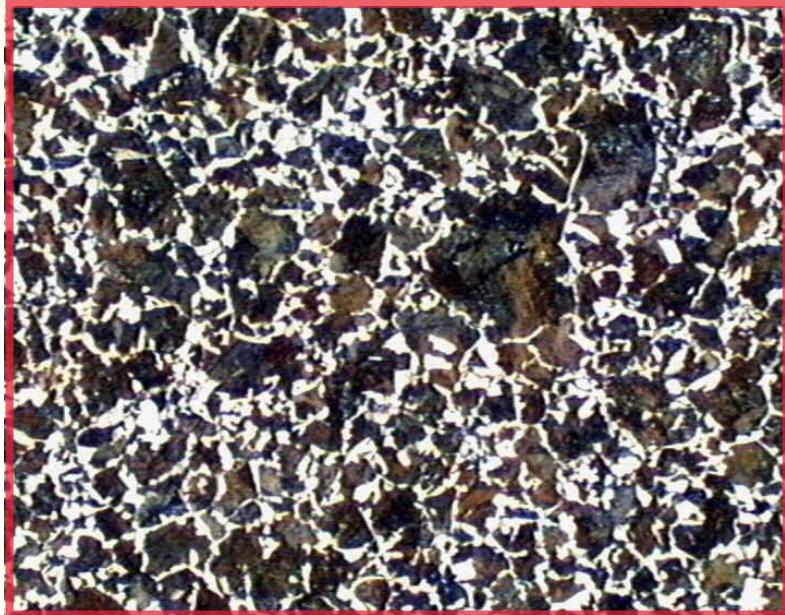
La austenita aún no transformada se va concentrando en carbono al seguir bajando la temperatura hasta llegar a alcanzar, por este proceso, la composición eutectoide del 0,8%C. Al seguir enfriando, se alcanza la temperatura de la transformación eutectoide y precipitan de esta austenita, simultáneamente, fase alfa (ferrita) y Fe<sub>3</sub>C (cementita) en forma del eutectoide perlita. x100



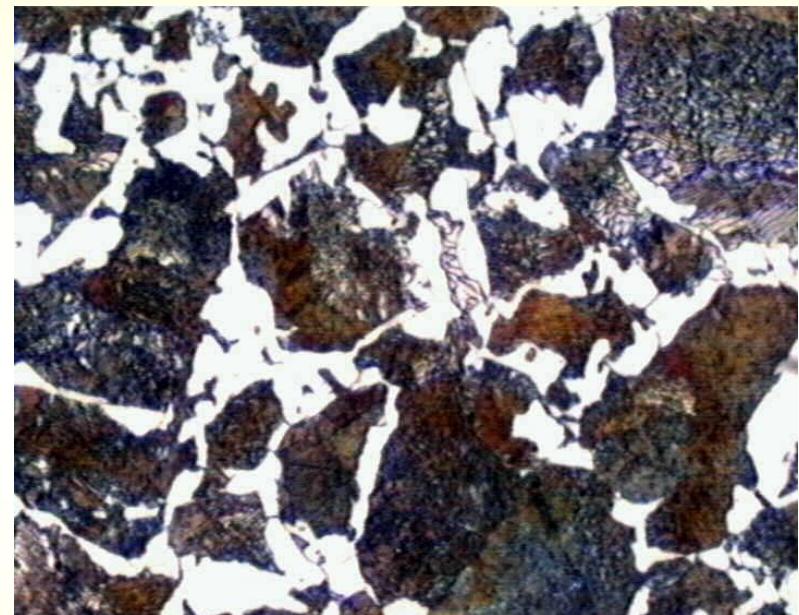
A mayores aumentos se resuelve su estructura laminar. Por lo tanto, la microestructura está, pues, formada por colonias de perlita (o zonas oscuras) distribuidas en una matriz ferrítica (blanca). x400

# ACERO DE UN 0,35 % C

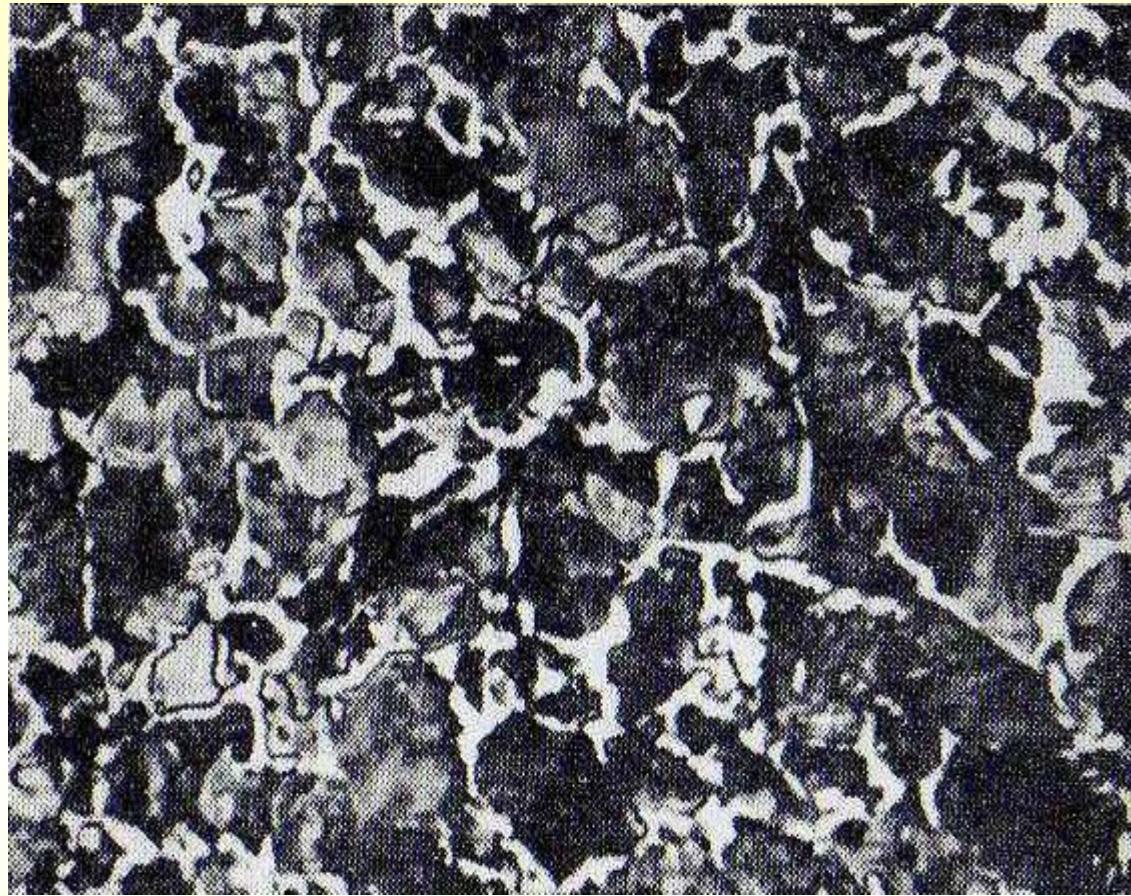
Laminado en caliente a 870°C y normalizado (enfriado al aire).



El resultado es una microestructura en la que los campos ferríticos parecen haberse reducido comparándola con una en estado recocido. Las colonias perlíticas se han extendido hasta ocupar una gran superficie. x100



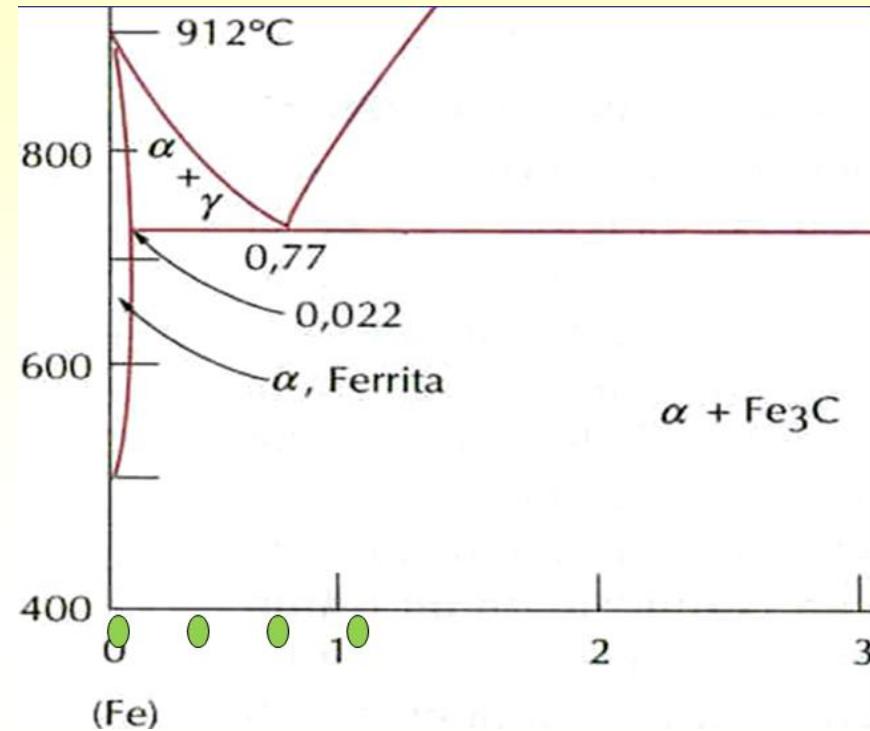
La propia morfología de los granos de ferrita ha cambiado, presentándose ahora con tendencia acicular, nucleada, con preferencia, en los límites de grano austenítico, pero sin llegar a la estructura de *Widmanstätten*. En cuanto a la perlita, el espaciado interlaminar de sus constituyentes es menor; su estructura, más fina. x400

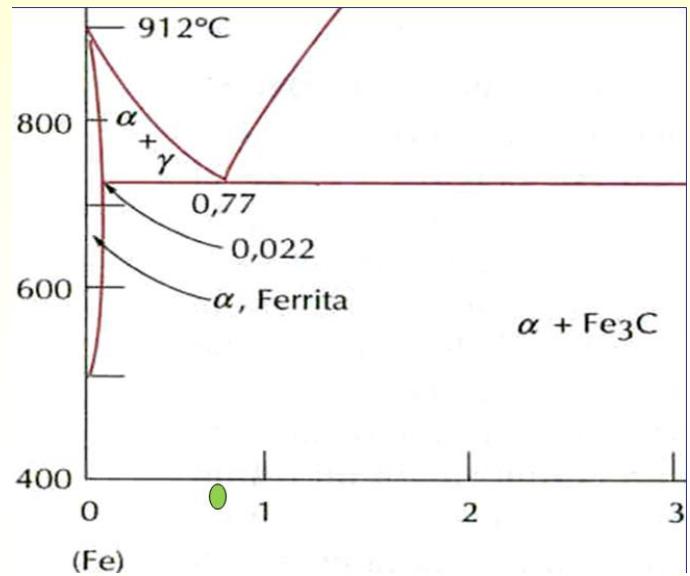
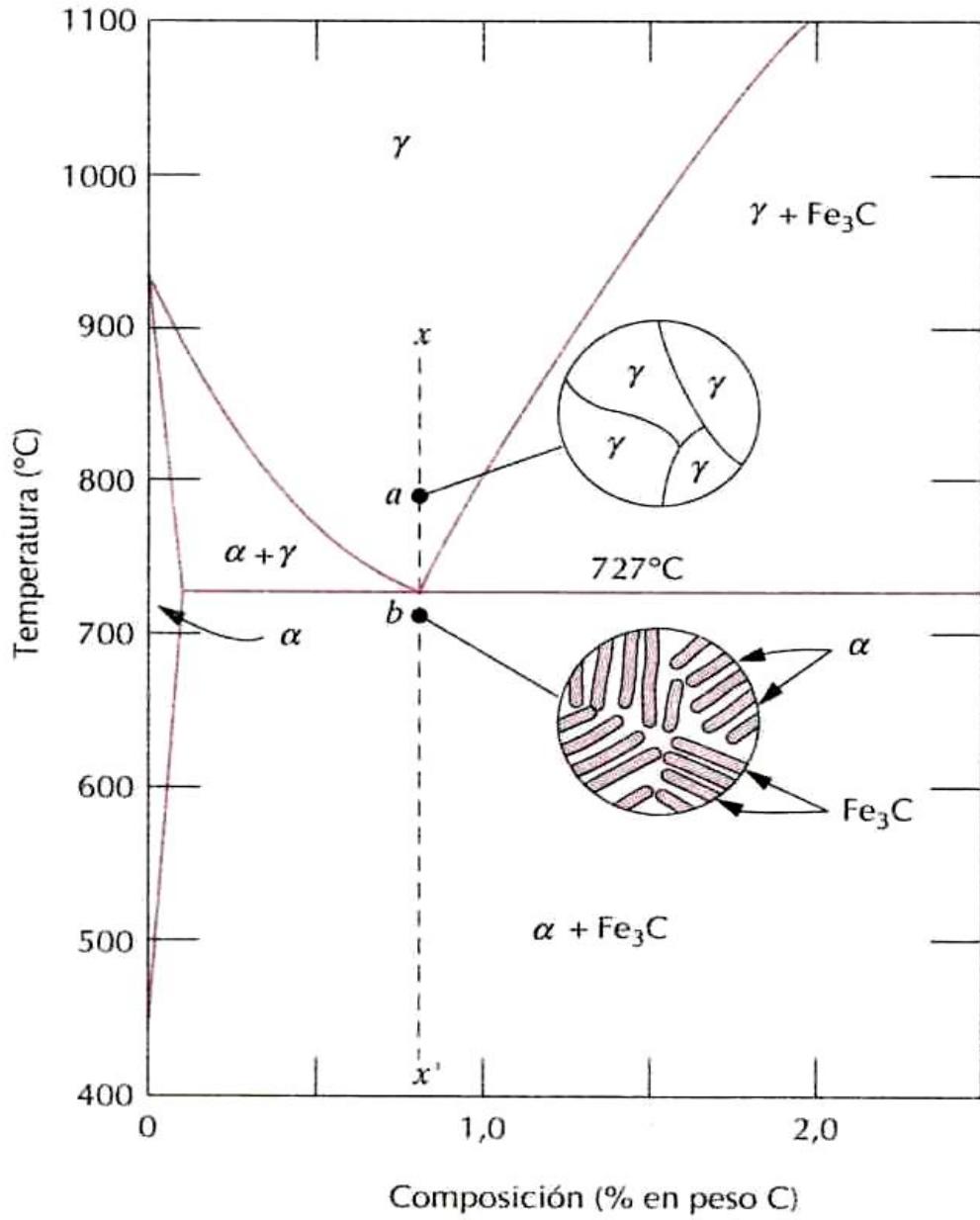


**Microestructura de granos reticulares de solución sólida blanca y eutectoide laminar fino. Acero SAE 1045 en estado de normalizado. Ferrita reticular y perlita fina no resuelta. Ataque con nital. Aumento 500×.**



**Estructura Windmanstätten. Solución sólida blanca acicular y eutectoide fino. Acero SAE 1045 hipernormalizado. Ferrita acicular y perlita fina. Grano grande. Ataque con nital. Aumento 500×.**

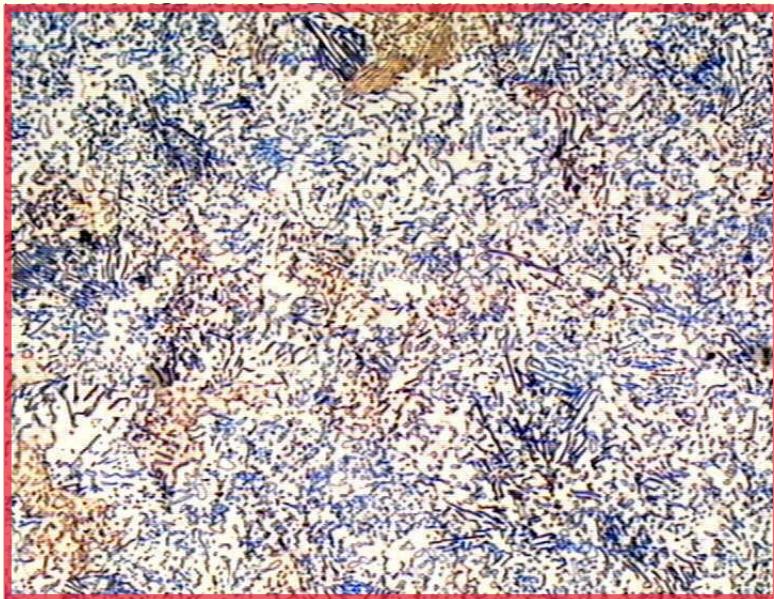




Esquema de las microestructuras de un acero al carbono

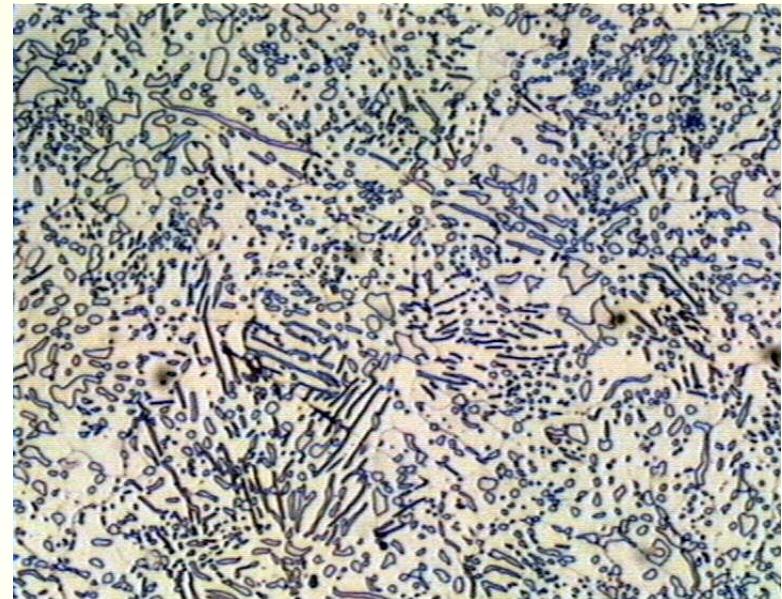
# ACERO DE UN 0,8 % C

Laminado en caliente. Calentado a 800°C durante una hora y enfriado en el horno.

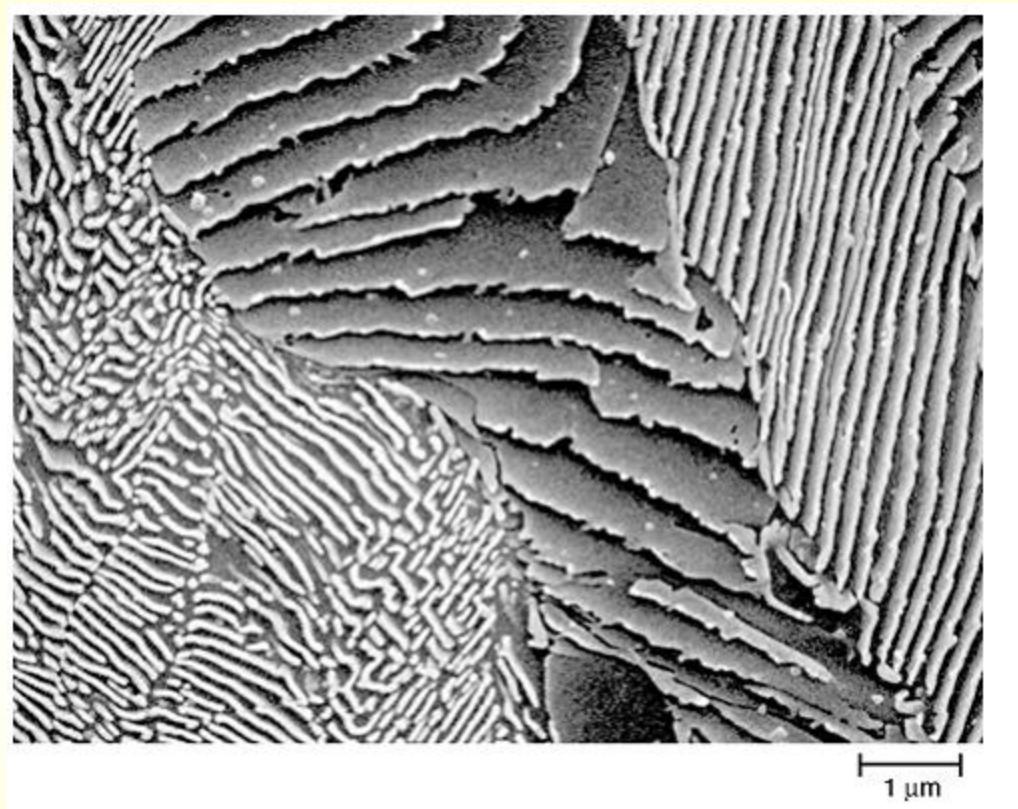


Por la reacción eutectoide, la solución sólida (*gamma*) se desdoble en el agregado de las fases alfa (ferrita) y Fe<sub>3</sub>C (cementita), de estructura laminar, denominado perlita.

x200



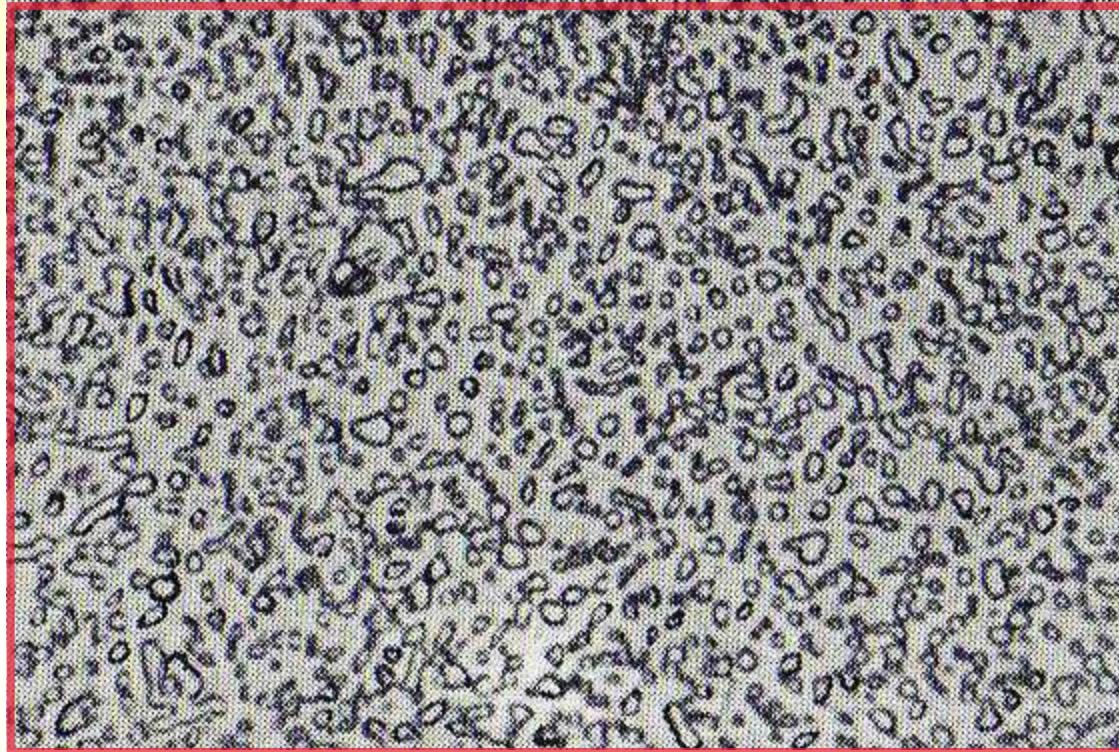
Por la lentitud del proceso de su formación, las fases constituyentes del eutectoide obtenido (perlita) se presentan en láminas gruesas espaciadas y glóbulos o esferoiditas. x400



**Microestructura de colonias de perlita en un acero al carbono UNS G10800 tomada con microscopio electrónico de barrido. Las placas de cementita son mostradas claramente. Ataque con picral al 4%. Aumento original de 10000x.**



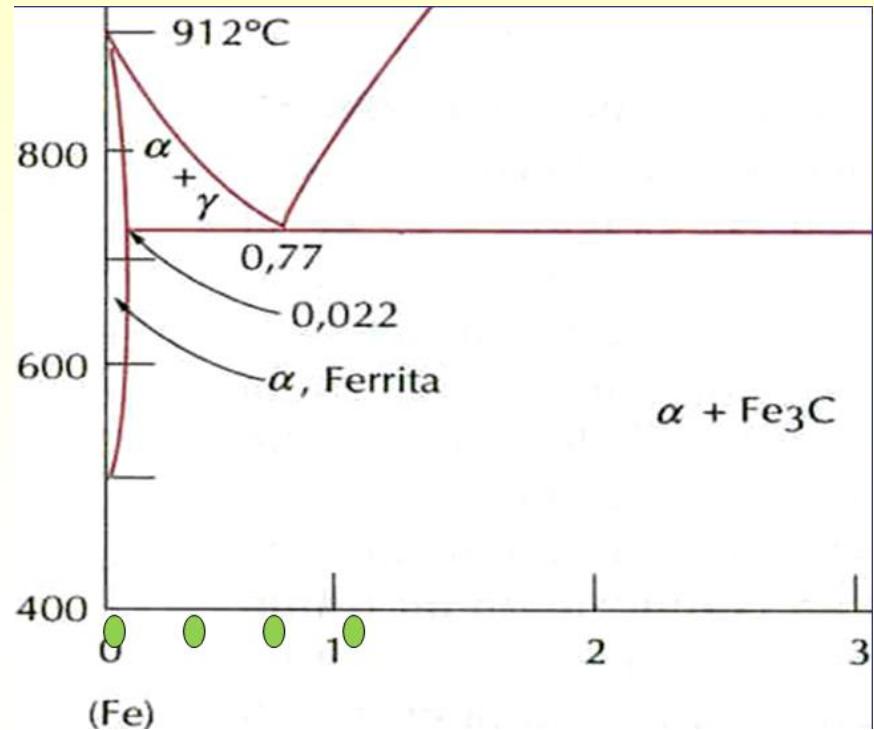
**Microestructura de eutectoide laminar. Acero SAE 1080. Perlita. Láminas alternadas de solución sólida: ferrita y compuesto intermetálico: cementita. Ataque con nital. Aumento 700×.**



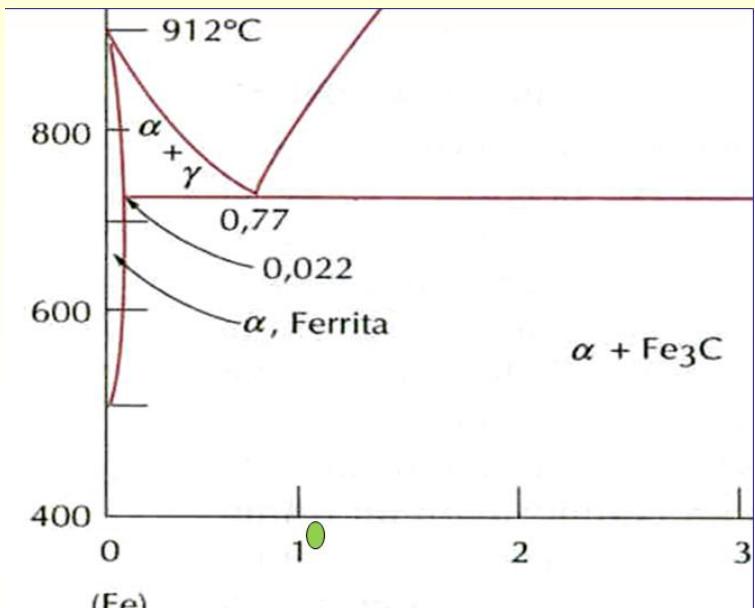
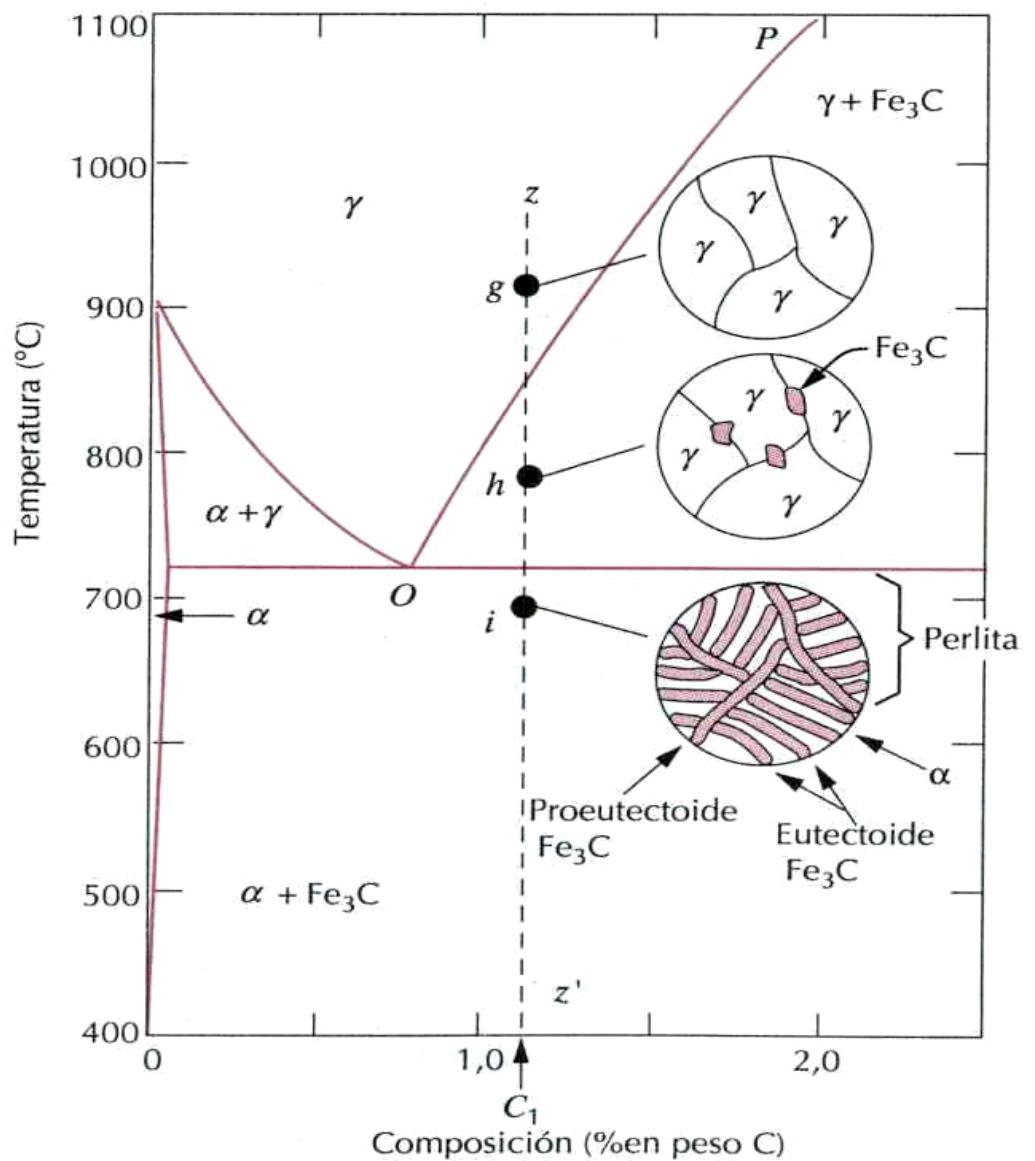
**Microestructura glóbulos de compuesto intermetálico en una matriz de solución sólida. El mismo acero de la figura anterior después de un tratamiento térmico de recocido de goblulización. Glóbulos de cementita en una matriz de ferrita. Ataque con nital. Aumento 700×.**



**Microestructura de colonias de perlita en un acero al carbono UNS G10800 tomada en el microscopio electrónico de barrido. Ataque con picral al 4%. Aumento original de 2000x.**



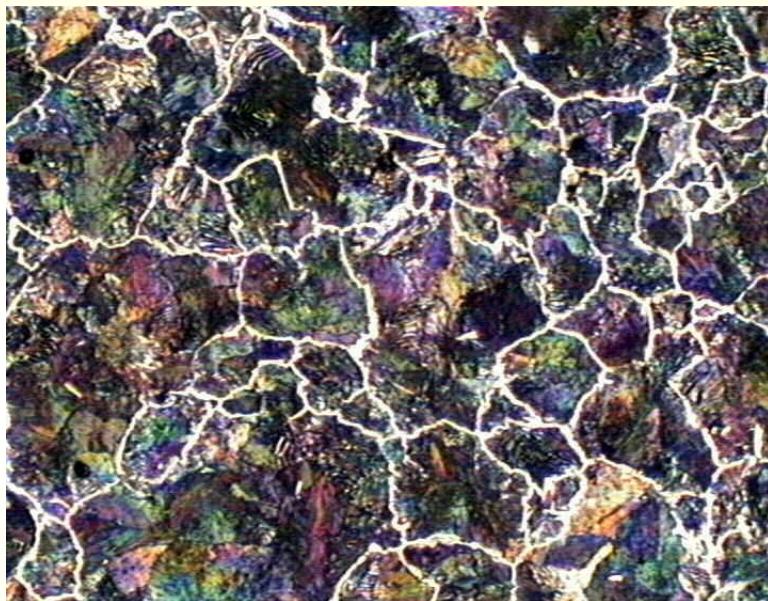
VOLVER



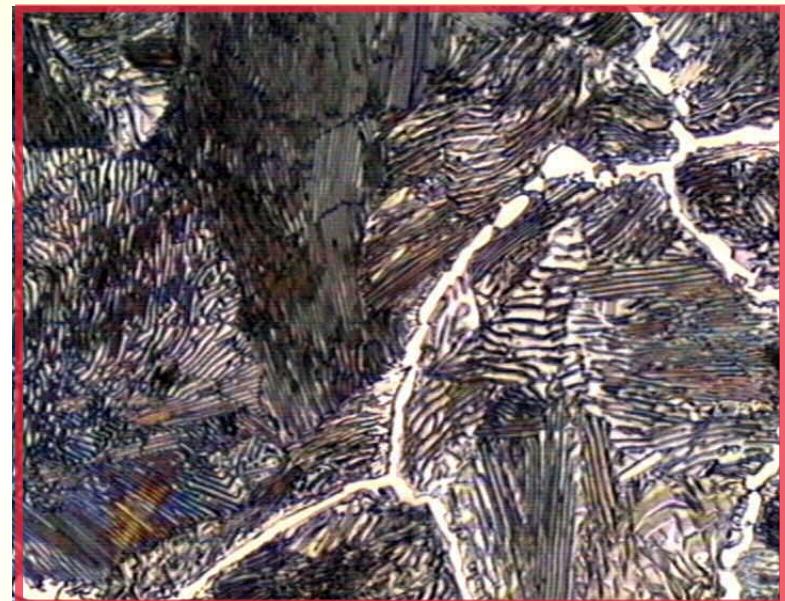
**Esquema de las microestructuras de un acero hipereutectoide de composición mayor 0.77% C**

# ACERO DE UN 1,3 % C

Laminado en caliente, Enfriado en el horno desde 970°C.

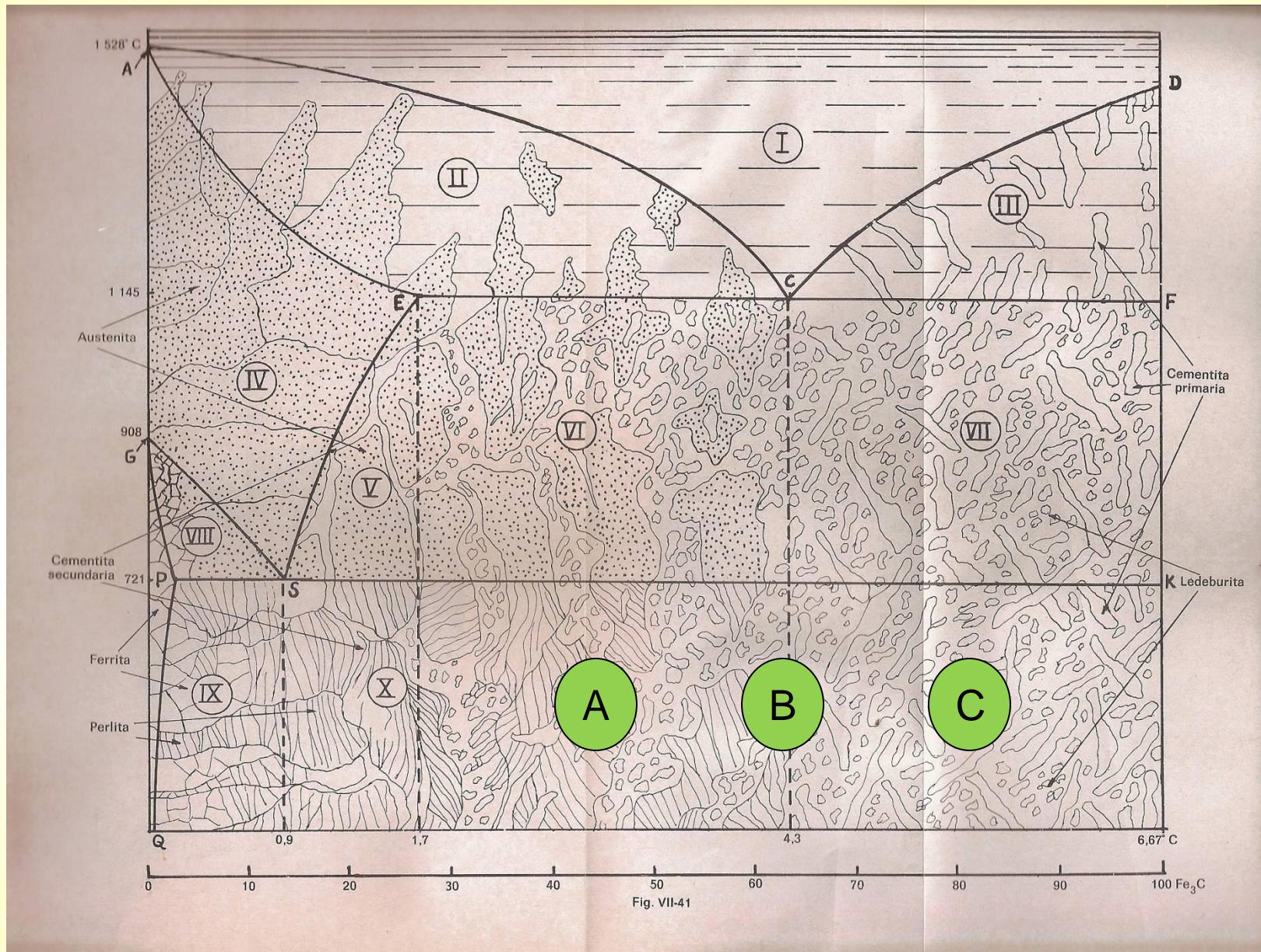


enfriado lentamente desde 970°C (*austenita homogénea*) se separa cementita  $\text{Fe}_3\text{C}$  cuando la aleación entra en el campo bifásico *austenita+cementita*. En esta cementita secundaria -que se *precipita en los límites de granos austeníticos*- se separa el exceso de carbono de la austenita, ya que la solubilidad del carbono en la fase gamma disminuye con la temperatura para concentraciones superiores a 0,8 % de C. . x100



Esta trama de cementita que dibuja los contornos de los granos de la austenita originaria, se puede apreciar ya a relativamente pocos aumentos, y aparece muy clara a mayores aumentos rodeando las colonias perlíticas cuya estructura está perfectamente resuelta. x400

## B. FUNDICIONES



## FUNDICIÓN BLANCA

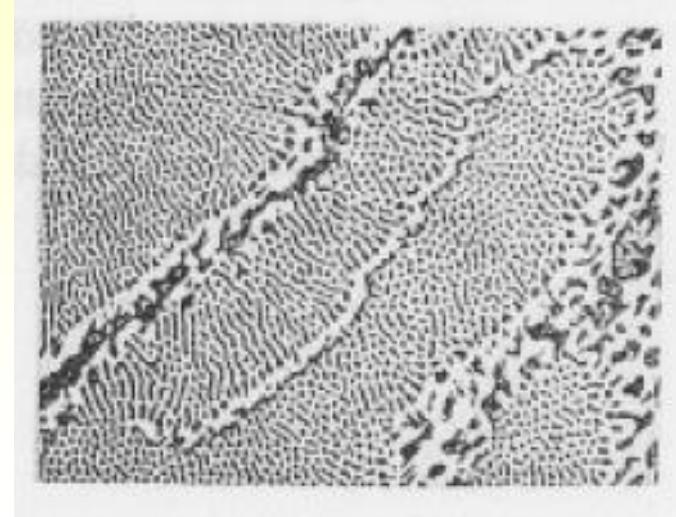
Son aquellas en las que todo el carbono se encuentra combinado bajo la forma de cementita. Todas ellas son aleaciones hipoeutécticas y las transformaciones que tienen lugar durante su enfriamiento son análogas a las de la aleación de 2,5 % de carbono.

La figura muestra la microestructura típica de las fundiciones blancas, la cual está formada por dendritas de austenita transformada (perlita), en una matriz blanca de cementita. Las áreas oscuras son perlita.

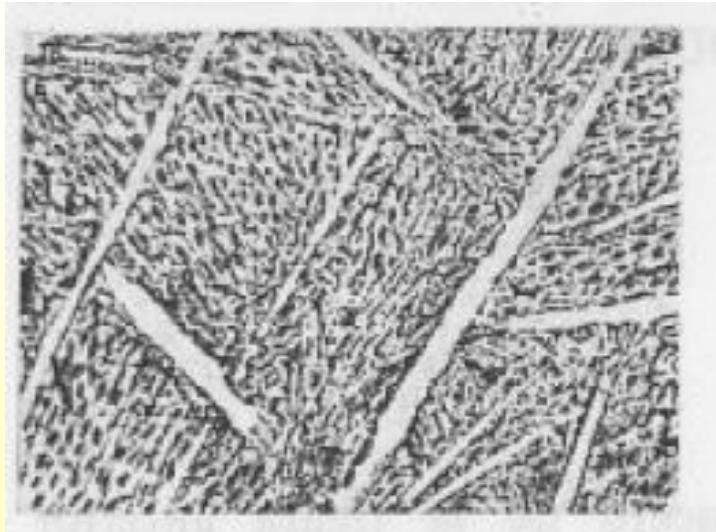
# Micrografías de Fundiciones



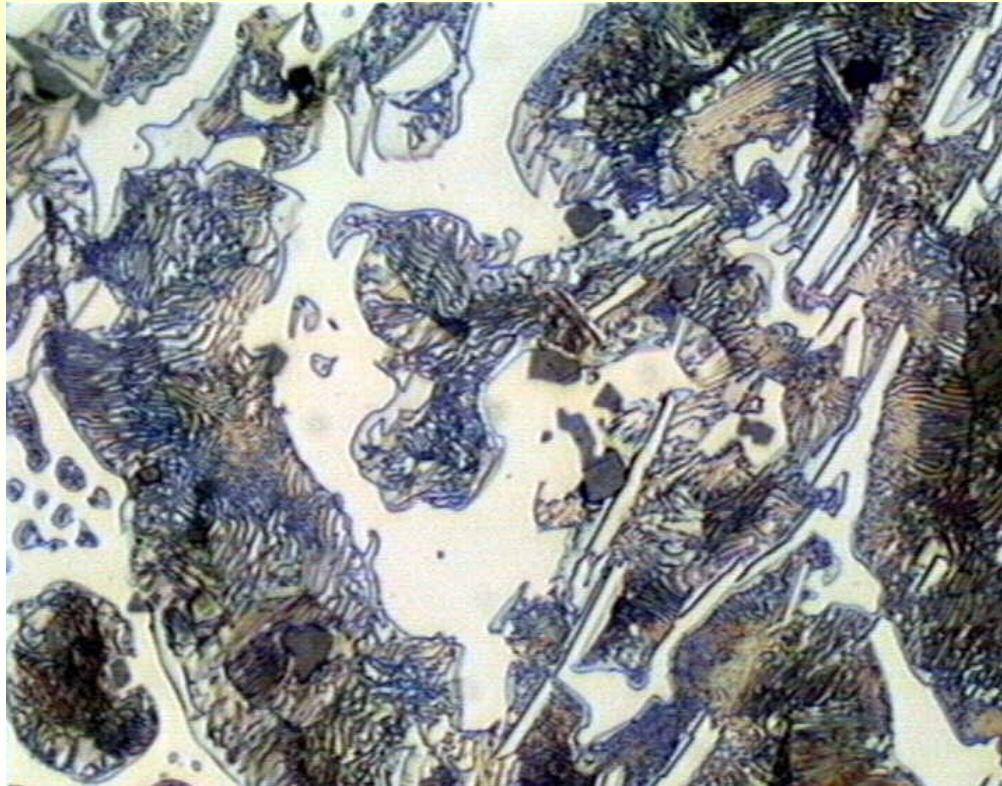
A. Fundición blanca hipoeutéctica,  
austenita y ledeburita transformadas



B. Fundición blanca eutéctica,  
ledeburita transformada



C. Fundición blanca hipereutéctica,  
cementita primaria y ledeburita  
transformadas



Estas fundiciones se caracterizan por su dureza y resistencia al desgaste, siendo sumamente quebradiza y difícil de mecanizar. Esta fragilidad y falta de maquinabilidad limita la utilización industrial de las fundiciones " totalmente blancas ", quedando reducido su empleo a aquellos casos en que no se quiera ductilidad como en las camisas interiores de las hormigoneras, molinos de bolas, algunos tipos de estampas de estirar y en las boquillas de extrusión. También se utiliza en grandes cantidades, como material de partida, para la fabricación de **fundición maleable**.

## FUNDICIÓN GRIS

La mayoría de las fundiciones grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono. El proceso de grafitización se realiza con mayor facilidad si el contenido de carbono es elevado, las temperaturas elevadas y si la cantidad de elementos grafitizantes presentes, especialmente el silicio, es la adecuada.

Para que grafiticen la cementita eutéctica y la proeutectoide, aunque no la eutectoide, y así obtener una estructura final perlítica hay que controlar cuidadosamente el contenido de silicio y la velocidad de enfriamiento.

El grafito adopta la forma de numerosas laminillas curvadas (Fig.1-4), que son las que proporcionan a la fundición gris su característica fractura grisácea o negruzca.



Fig.1, x100 pulida



Fig.2, x100

Si la composición y la velocidad de enfriamiento son tales que la cementita eutectoide también se grafitiza presentará entonces una estructura totalmente ferrítica (Fig. 1, x100 pulida). Por el contrario, si se impide la grafitización de la cementita eutectoide, la matriz será totalmente perlítica (Fig. 2, x400). La fundición gris constituida por mezcla de grafito y ferrita es la más blanda y la que menor resistencia mecánica presenta; la resistencia a la tracción y la dureza aumentan con la cantidad de carbono combinada que existe, alcanzando su valor máximo en la fundición gris perlítica.

Las figuras 3 y 4 muestran la microestructura de una fundición gris cuya matriz es totalmente perlítica. Además, en la micrografía a 200 aumentos – igual que en la Fig. 2- se observan como unos granos blancos, los cuales resueltos a mayores aumentos (Fig. 4, x400) son, en realidad, esteadita.

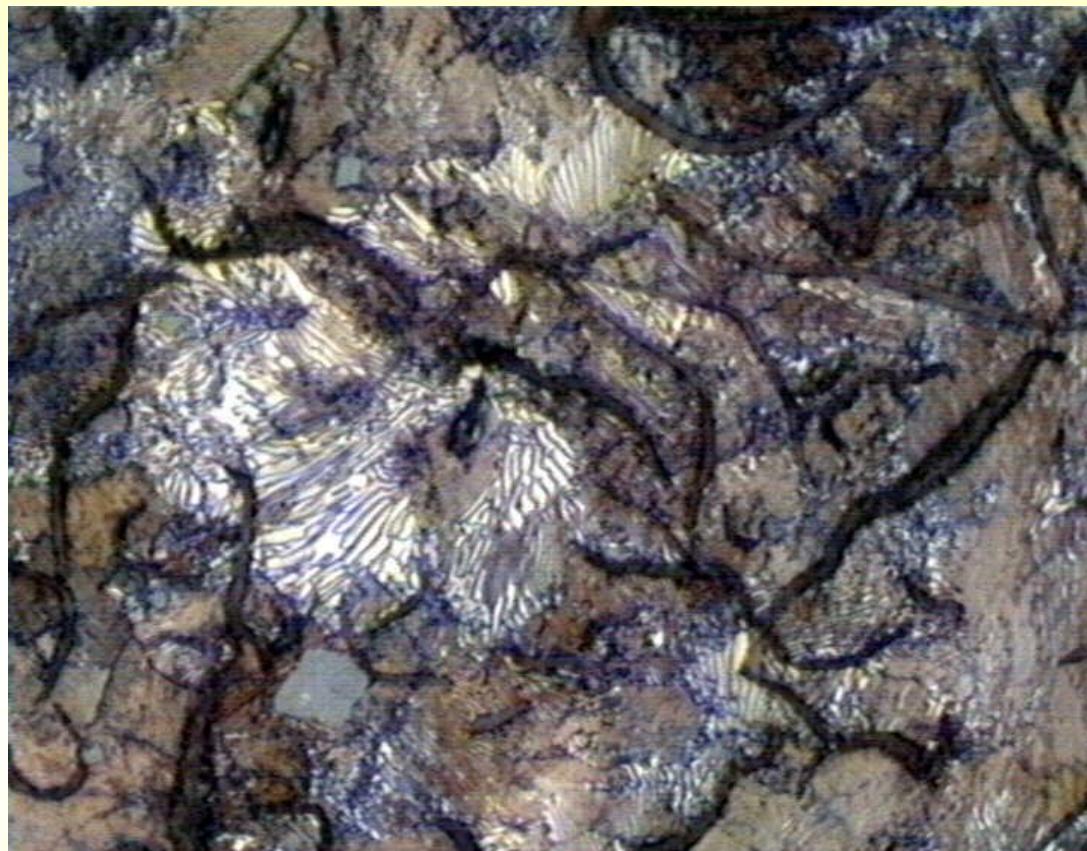


Fig.3, x200

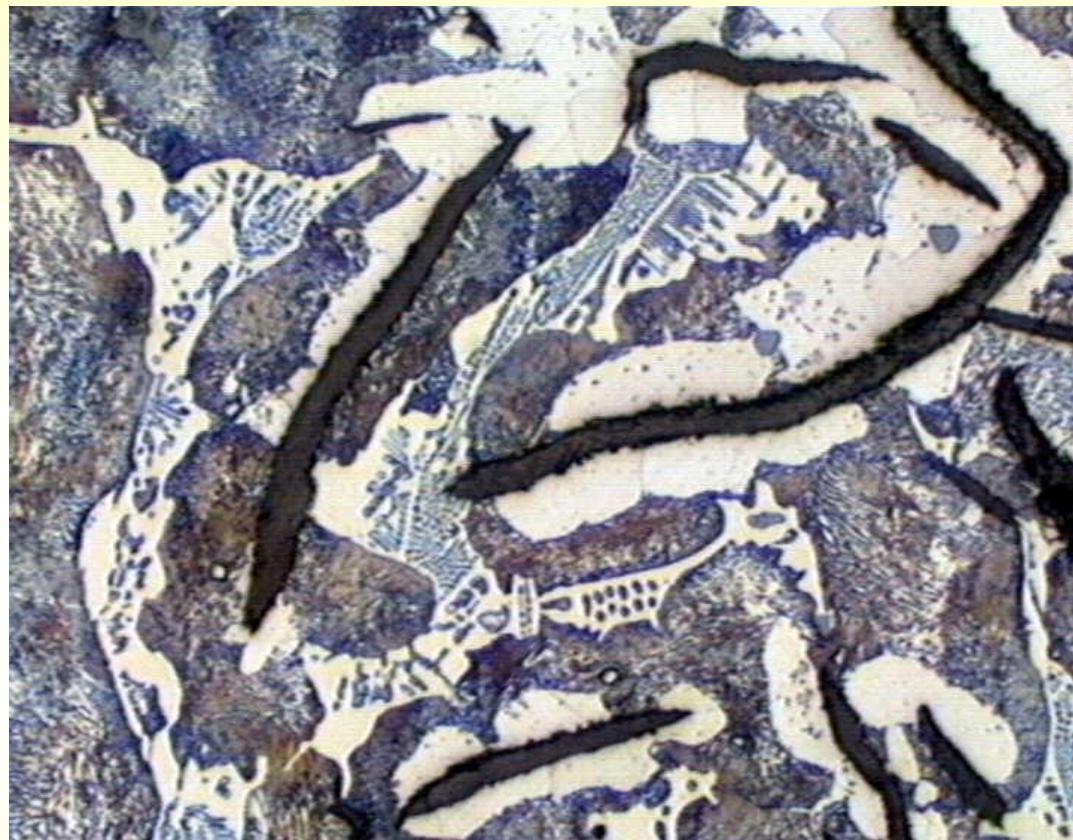
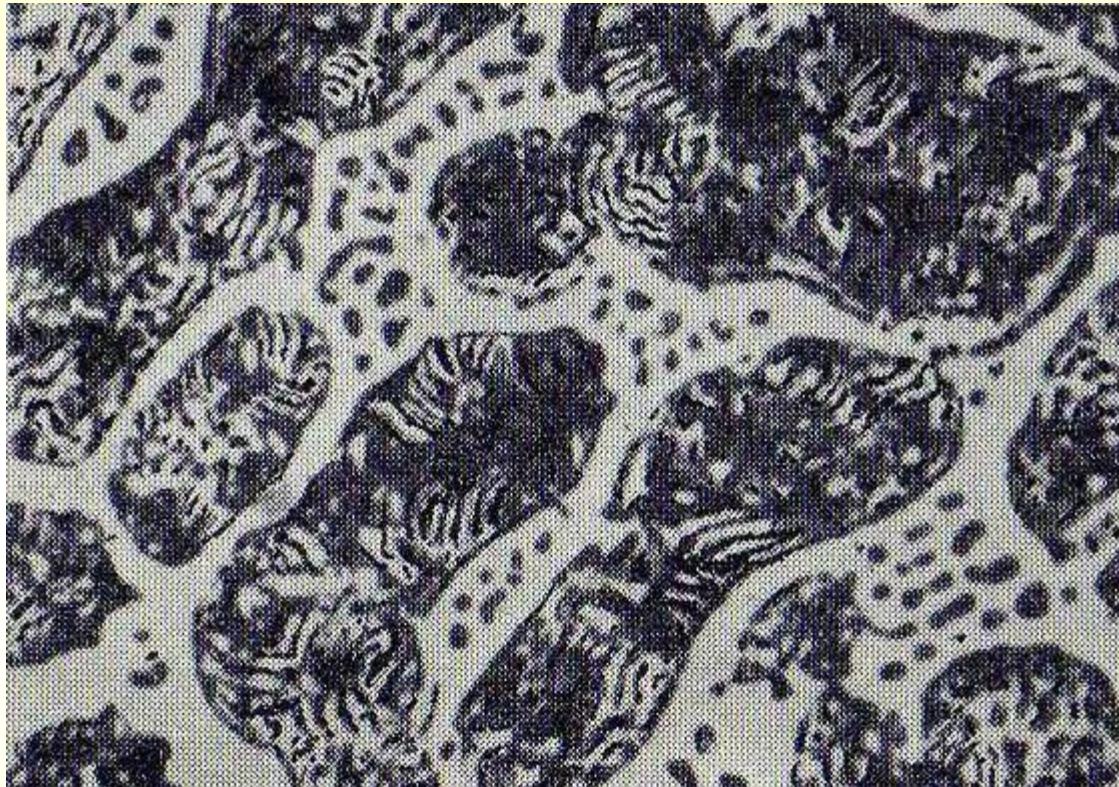


Fig.4, x400



**Vetas de grafito en matriz eutectoide y solución sólida. Fundición gris de matriz perlítico-ferrítica. Grafito de tipo A y C. Nótese la ubicación de los cristales de ferrita en contacto con las vetas de grafito. Es una fundición gris enfriada lentamente o con recodido posterior a la colada. Ataque con nital. Aumento 700×.**



**Eutectoide y compuesto intermetálico con pequeñas zonas del mismo eutectoide. Fundición blanca hipoeutéctica. Austenita transformada(en perlita) y ledeburita transformada. Ataque con nital. Aumento 400×.**

## FUNDICIÓN NODULAR

Al encontrarse el carbono en forma esferoidal, la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar; esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. La fundición nodular se diferencia de la [fundición maleable](#) en que normalmente se obtiene directamente en bruto de fusión sin necesidad de tratamiento térmico posterior. Además los nódulos presentan una forma más esférica que los aglomerados de grafito, más o menos irregulares, que aparecen en la fundición maleable.

El contenido total en carbono de la fundición nodular es igual al de la [fundición gris](#). Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación, debido a la presencia de pequeñas cantidades de alguno elemento de aleación formadores de nódulos, normalmente magnesio y cerio, los cuales se adicionan al caldero inmediatamente antes de pasar el metal a los moldes.

La cantidad de ferrita presente en la matriz en bruto de colada depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento. Las fundiciones ferríticas (fig. 1) son las que proporcionan la máxima ductilidad, tenacidad y maquinabilidad.

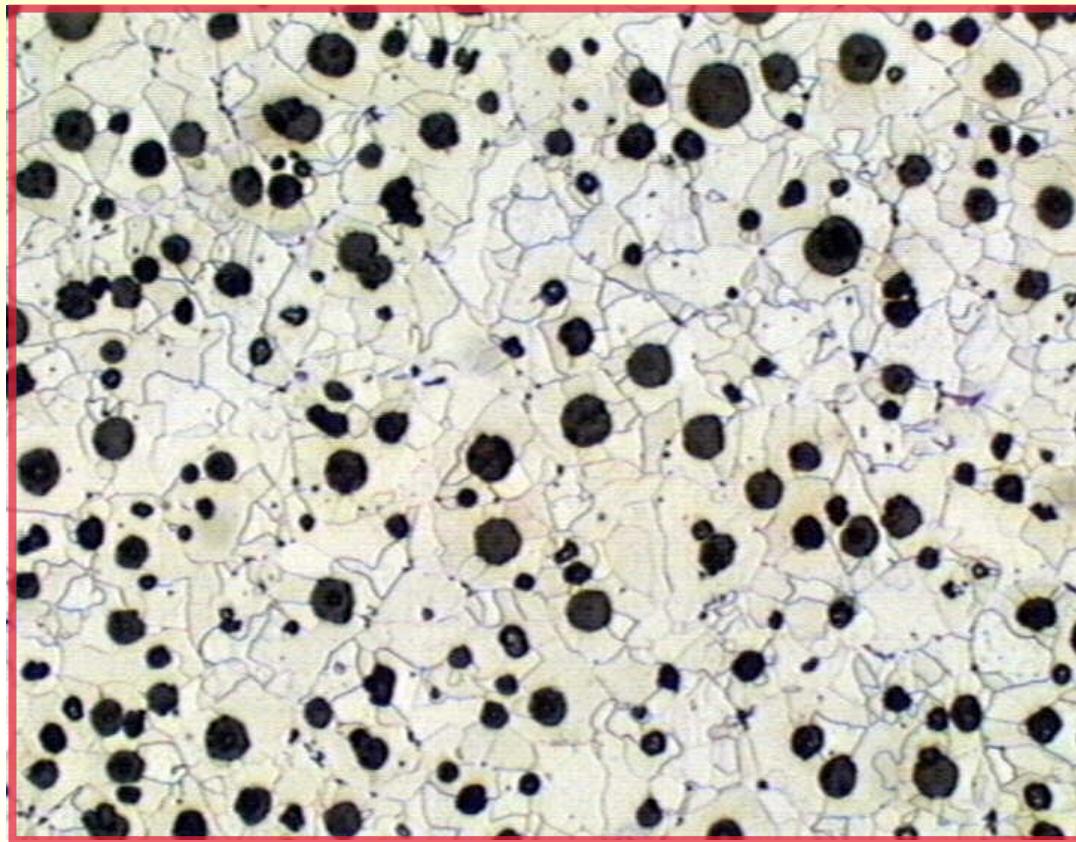


Fig.1, x100

Estas fundiciones, bien en bruto de fundición o tras haber sufrido un normalizado, pueden presentar también una matriz constituida en gran parte por [perlita](#) (fig. 2 y 3).

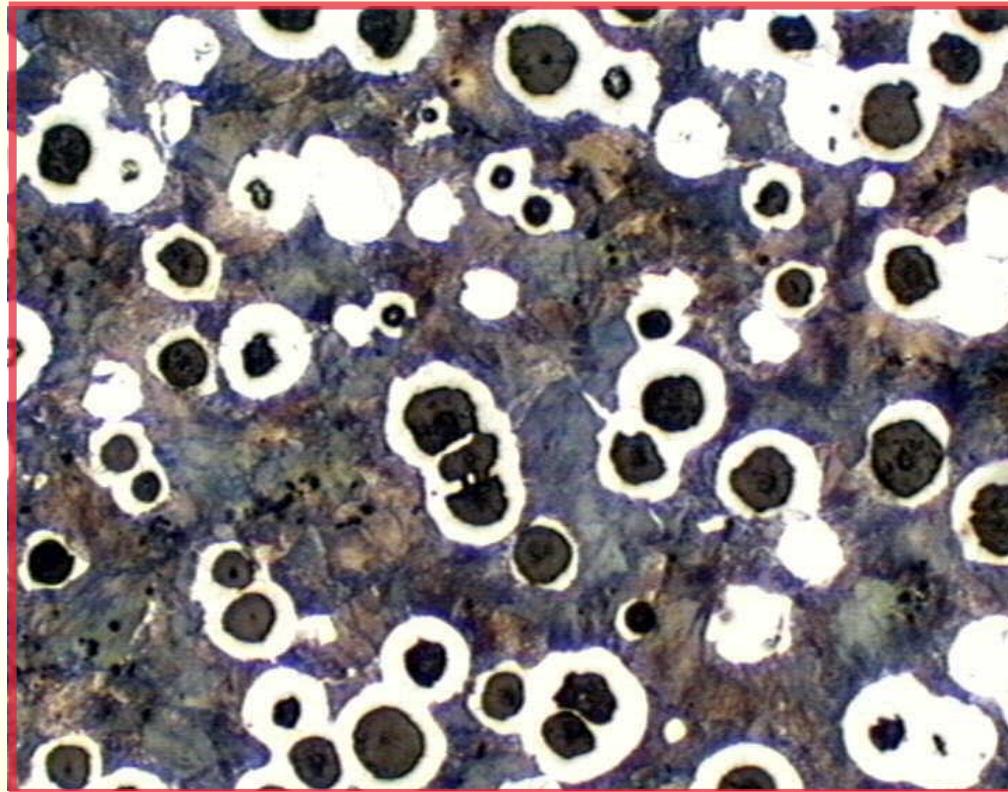


Fig.2, x100

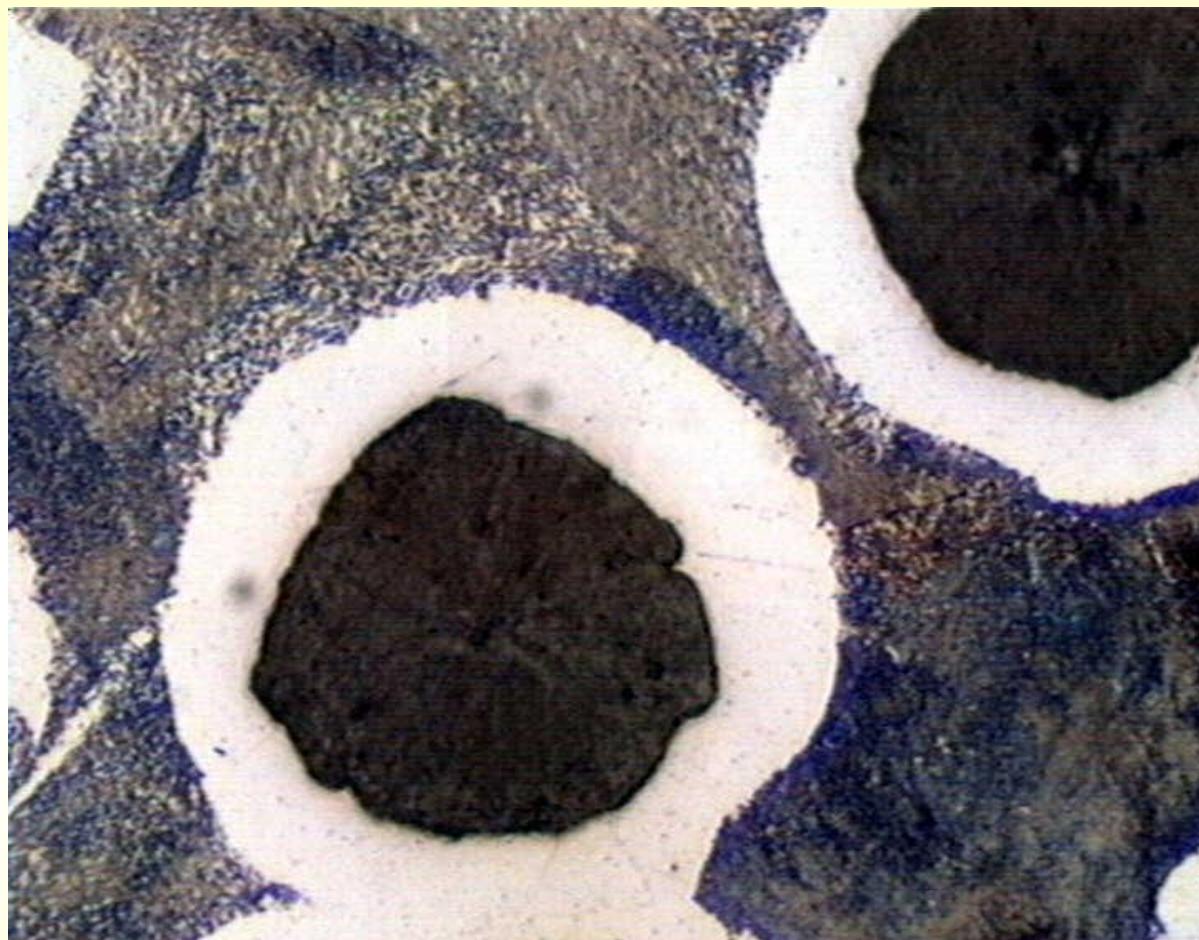


Fig.3, x400

## FUNDICIÓN MALEABLE

La tendencia que presenta la cementita a dejar en libertad carbono, constituye la base de la fabricación de la fundición maleable. La reacción de descomposición se ve favorecida por las altas temperaturas, por la presencia de impurezas sólidas no metálicas, por contenidos de carbono más elevados y por la existencia de elementos que ayudan a la descomposición del  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

La maleabilización tiene por objeto transformar todo el carbono que en forma combinada contiene la fundición blanca, en nódulos irregulares de carbono de revenido (grafito) y en ferrita. Industrialmente este proceso se realiza en dos etapas conocidas como primera y segunda fases de recocido.

En la primera fase del recocido, la fundición blanca se calienta lentamente a una temperatura comprendida entre 840 y 980°C. Durante el calentamiento, la perlita se transforma en austenita al alcanzar la línea crítica inferior y, a medida que aumenta la temperatura, la austenita formada disuelve algo más de cementita.

La segunda fase del recocido consiste en un enfriamiento muy lento al atravesar la zona crítica en que tiene lugar la reacción eutectoide. Esto permite a la austenita descomponerse en las fases estables de ferrita y grafito. Una vez realizada la grafitización, la estructura no sufre ninguna nueva modificación durante el enfriamiento a temperatura ambiente, quedando constituida por nódulos de carbono de revenido (*rosetas*) en una matriz ferrítica (Fig. 1 y 2). Este tipo de fundición se denomina normal o ferrítica (Fig. 2).

Bajo la forma de *rosetas*, el carbono revenido no rompe la continuidad de la matriz ferrítica tenaz, lo que da lugar a un aumento de la resistencia y de la ductilidad.

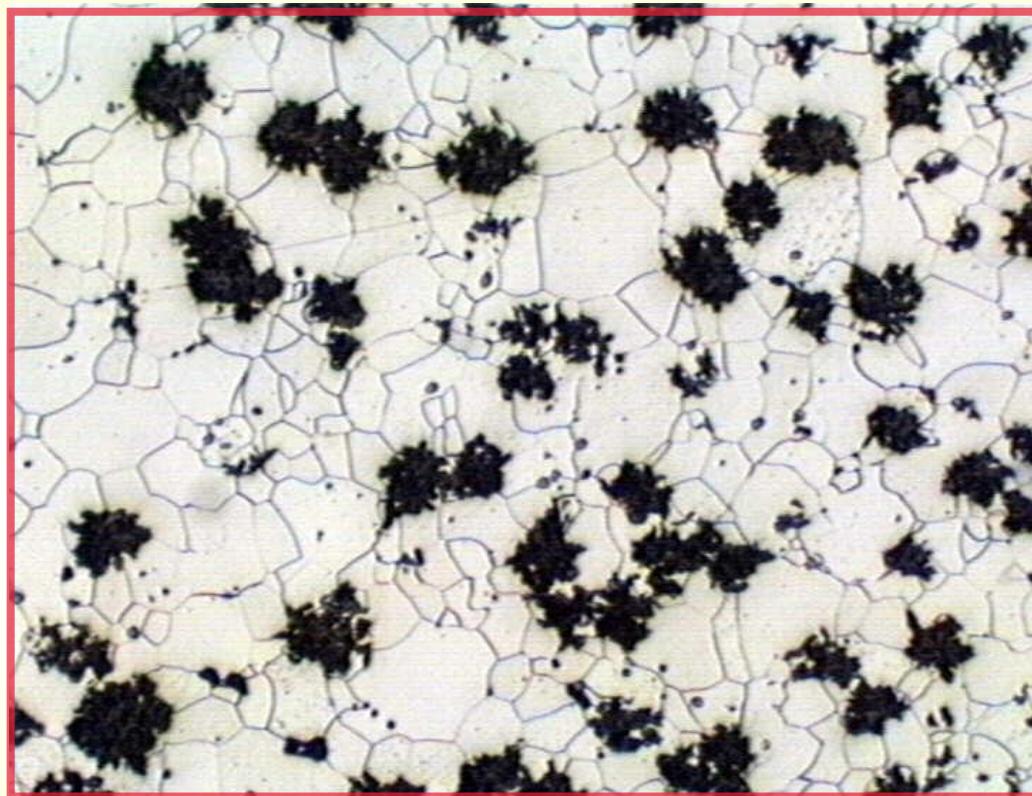


Fig.2, x100

Si durante el temple al aire se consigue que el enfriamiento a través de la región eutectoide se realice con la suficiente rapidez, la matriz presentará una estructura totalmente perlítica.



Si el enfriamiento en la región eutectoide no se realiza a la velocidad necesaria para que todo el carbono quede en forma combinada, las zonas que rodean los nódulos de carbono de revenido estarán totalmente grafitizadas mientras que las más distantes presentarán una estructura totalmente perlítica, debido al aspecto que presenta estas estructuras al microscopio, se conocen como estructura de *ojo de buey* (*Figura anterior*).

## *Análisis metalográfico.*

*Procedimiento usado por los metalurgistas  
con el fin de:*

- 1) Determinación del tipo de material con ayuda de la determinación del tipo de microestructura presente en este.
- 2) Para identificar fallas en piezas damnificadas.

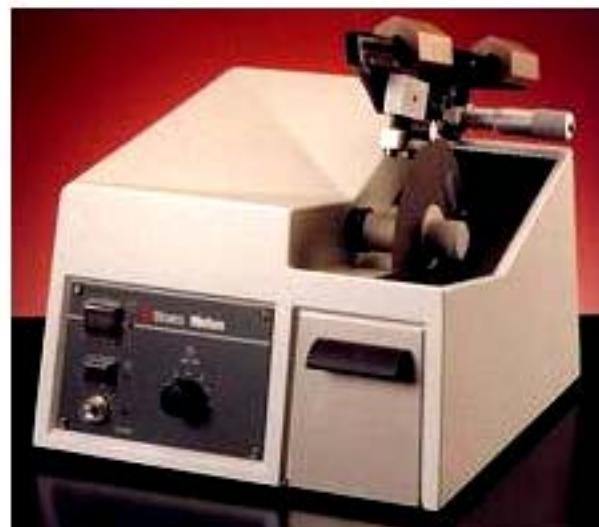
## **EXAMEN MICROGRAFICO**

Se utilizan muestras o probetas de los materiales que han de ser sometidos a estudio.

### ***Pasos a seguir en la preparación de probetas metalográficas***

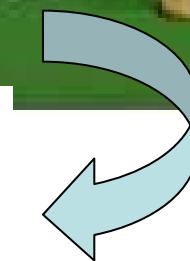
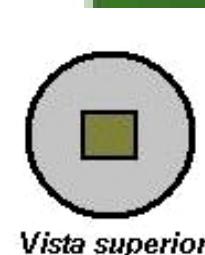
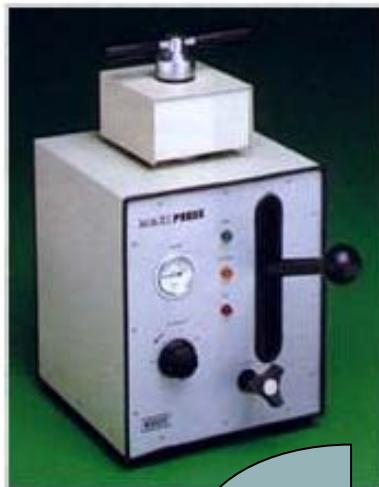
- 1. Corte de la probeta.** Se corta un pedazo de material representativo del material en estudio

El corte se debe hacer con el mayor cuidado posible, buscando no producir cambios en el material como transformaciones de fase. Para este proceso se puede usar una cortadora como la mostrada en la figura 1.



2. **Encapsulado de la muestra.** Se realiza para mejorar la manipulación de las probetas.

- Para ello se recubren las probetas con un polímero denominado baquelita en una prensa especial, con ayuda de calor y presión.
- Este proceso también se puede realizar en frío usando resinas especiales de secado rápido.



Vista superior

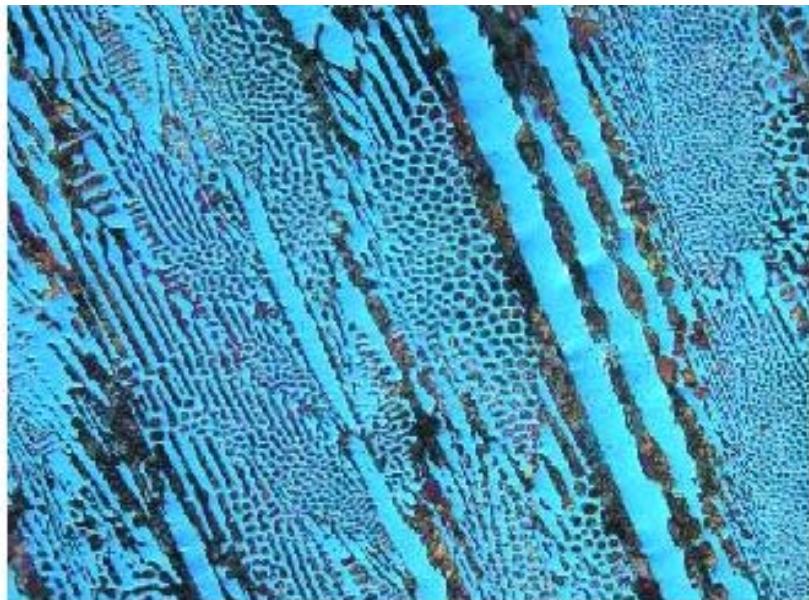
**3. Pulido grueso:** Se prepara la superficie que será objeto de estudio con ayuda de lijas con tamaños de grano que pueden ir 100, 220, 320, 400, 600, 1000. Este proceso generalmente es manual.



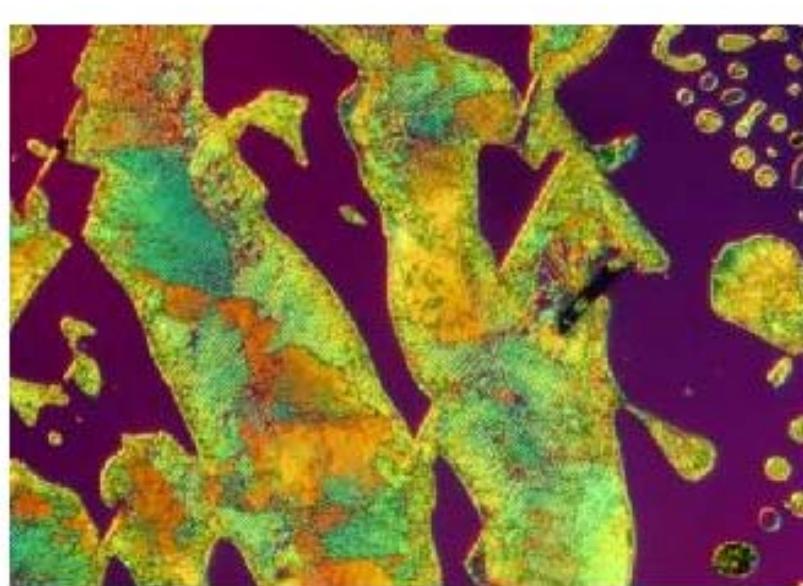
4. **Pulido fino.** Luego del pulido grueso se realiza un pulido fino usando polvos abrasivos como alúmina o polvo de diamante en tamaños de 10, 5 y  $1\mu\text{m}$ , en pulidoras automáticas. Para ellos se usa una serie de paños especiales en máquinas semi-automaticas



5. **Ataque químico.** Luego de que la probeta es pulida convenientemente, se ataca con reactivos químicos apropiados. Estos reactivos dependen del tipo de material que se desea atacar y el tipo de fase que se desea observar. La figura 5 presenta una micrografía de un material al cual se le realizó todo el procedimiento anterior y está siendo observado en un microscopio óptico



White Iron - Hyper Eutectic, 200X (DIC), etchant: Picral



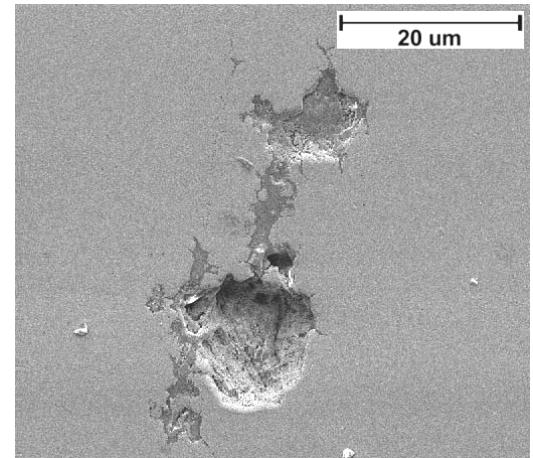
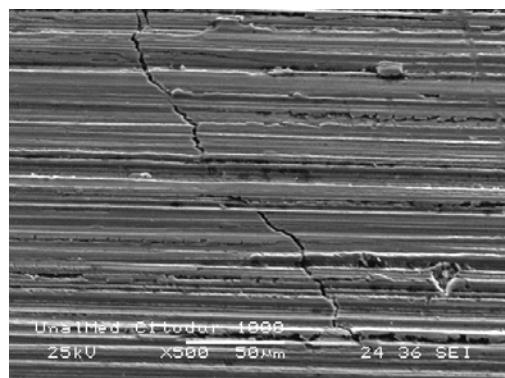
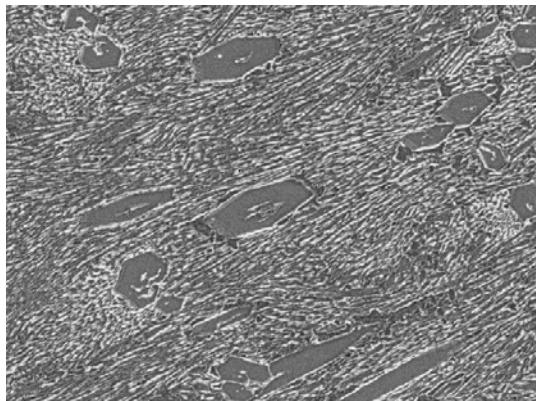
White Iron - Hypo Eutectic, 1000X (DIC), etchant: Picral

## 7. *Observación metalográfica*

Finalmente, las muestras se llevan a un microscopio óptico y se observan a diferentes aumentos. Si el interés es observar la microestructura en forma macro, se puede observar a 50X o 100X, pero si se quieren observaciones con mayor detalle, se pueden usar desde 200 hasta 2000X en un microscopio óptico y hasta 100000X y más en microscopios electrónicos de barrido y de transmisión.



## QUE SE OBSERVA



# MICROSCOPIO METALOGRÁFICO

El microscopio metalográfico es la herramienta que permite ver de forma clara y magnificada las probetas destinadas para la práctica. Las partes del microscopio son:



1. Interruptor de encendido.
2. Perilla control de iluminancia: Controla la cantidad de lux que iluminan la muestra.
3. Tubo de observación binocular.
4. Platina: Sobre ella se arreglan las probetas.
5. Portador del espécimen: Base sobre la que se encuentra la platina.
6. Puente giratorio: Contiene el objetivo (lentes de aumento). En total son 4 lentes con aumento de 5x, 10x, 50x y 100x.
7. Control de movimiento en Y: Posiciona el portador del espécimen en el eje Y
8. Control de movimiento en X: Posiciona el portador del espécimen en el eje X
9. Perilla de ajuste fino: Ajuste de imagen fino.
10. Perilla de ajuste grueso: Ajuste de imagen grueso

# PULIDORA

- ▶ La pulidora es utilizada para dar el acabado final a la superficie objeto de estudio, haciendo uso de lijas y paños especializados. Las partes de la pulidora son:



1. Discos: Sobre ellos se arreglan los paños para realizar el pulimento.
2. Arandelas: Su función es proteger los alrededores de los discos.
3. Tubo de desagüe.
4. Interruptor: Controla el paso de agua por la manguera de refrigeración.
5. Manguera de refrigeración.
6. Perilla: Controla la velocidad angular en los discos.
7. Interruptor de encendido.

# ATAQUE QUÍMICO

- ▶ Luego de la última pasada depulimento, la superficie es tratada químicamente.
- ▶ El ataque químico es un proceso de corrosión controlada de la muestra.
- ▶ Se realiza sumergiendo la superficie en algún tipo de solución adecuada.
- ▶ La solución química usada depende del material que compone la muestra, la temperatura y tiempo del ataque, el efecto deseado en la superficie entre otros.

**La siguiente tabla muestra soluciones químicas para el ataque en algunos metales**

- ▶ **METAL SOLUCIÓN QUÍMICA COMENTARIOS**
- ▶ **Aluminio**
- ▶ 60ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- ▶ 30ml H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> -Usar a 100°C de 2 a 5 min
- ▶ 10ml HNO<sub>3</sub>
- ▶ O
- ▶ 70ml H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>
- ▶ 15ml ác. Acético -Usar de 100°C a 120°C por 2 a 6 min
- ▶ 15ml Agua
- ▶ **Cobre**
- ▶ 6ml HNO<sub>3</sub> -Pulir hasta lija 600 y sumergir a 60°C por 1 min
- ▶ 65ml ác. Acético
- ▶ 27ml H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>