

# ACEROS ALEADOS

# Clasificación del acero

- Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales:
  - aceros al carbono
  - aceros aleados
  - aceros de baja aleación ultrarresistentes
  - aceros inoxidables
  - aceros de herramientas

Aceros  
Aleados

Aceros en los que tiene una importancia fundamental la templeabilidad

- Aceros de gran resistencia
- Aceros de cementación
- Aceros de muelles
- Aceros de indeformabilidad

Aceros de construcción

- Aceros de gran resistencia
- Aceros de cementación
- Aceros para muelles
- Aceros de nitruración
- Aceros resistentes al desgaste
- Aceros para imanes
- Aceros para chapa magnética
- Aceros inoxidables y resistentes al calor

Aceros de herramientas

- Aceros rápidos
- Aceros de corte no rápido
- Aceros indeformables
- Aceros resistentes al desgaste
- Aceros para trabajo de choque
- Aceros inoxidables y resistentes al calor

# ACEROS ALEADOS

- Los aceros al carbono son satisfactorios donde la resistencia y otros requisitos no son muy severos.
- La mayoría de las limitaciones de los aceros al carbono pueden vencerse mediante el uso de elementos de aleación.
- Los elementos de aleación que más frecuentemente suelen utilizarse para la fabricación de aceros aleados son: Níquel, Manganeso, Cromo, Vanadio, Wolframio, Molibdeno, Cobalto, Silicio, Cobre, Titanio y Aluminio.

# ACEROS ALEADOS

- Un acero aleado puede definirse como aquel cuyas propiedades características se deben a algún elemento diferente al C.
- Aunque todos los aceros al carbón contienen moderadas cantidades de manganeso (hasta el 0.90%) y silicio (hasta el 0.30%) no se consideran aleados, por que la función principal de estos es actuar como desoxidadores.
- La influencia que ejercen los elementos de aleación es muy variada, se obtienen aceros con ciertas características que no se pueden alcanzar con los aceros ordinarios al carbono.

#	características
Al	Empleado en pequeñas cantidades, actúa como un desoxidante para el acero fundido y produce un Acero de Grano Fino
Cr	Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión
Mg	Elemento básico en todos los aceros comerciales. Actúa como un desoxidante y también neutraliza los efectos nocivos del azufre, facilitando operaciones de trabajo en caliente. Aumenta también la penetración de temple y contribuye a su resistencia y dureza
Ni	Mejora las propiedades del tratamiento térmico reduciendo la temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado. Al emplearse conjuntamente con el Cromo, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste
Si	Se emplea como desoxidante y actúa como endurecedor en el acero de aleación
S	Es una impureza y se mantiene a un bajo nivel. Sin embargo, alguna veces se agrega intencionalmente en grandes cantidades (0,06 a 0,30%) para aumentar la maquinabilidad (habilidad para ser trabajado mediante cortes) de los aceros de aleación y al carbono.
Ti	Se emplea como un desoxidante y para inhibir el crecimiento granular. Aumenta también la resistencia a altas temperaturas
W	Se emplea en muchos aceros de aleación para herramientas, impartiendo una gran resistencia al desgaste y dureza a altas temperaturas
V	Imparte dureza y ayuda en la formación de granos de tamaño fino. Aumenta la resistencia a los impactos (resistencia a las fracturas por impacto) y también la resistencia a la fatiga.

# Propósito (efectos) de la aleación

- Aumentar la templabilidad (propósito básico).
- Mejorar la resistencia a temperaturas comunes.
- Mejorar las propiedades mecánicas a altas y bajas temperaturas.
- Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima.
- Aumentar la resistencia a la corrosión y al desgaste.
- Mejorar las propiedades magnéticas.

# Clasificación de los elementos de aleación de acuerdo a la forma que se distribuyen.

## ■ GRUPO 1

Elementos que se disuelven en la ferrita.

## ■ GRUPO 2

Elementos que se combinan con carbono para formar carburos simples o compuestos.

# GRUPO 1

- Ni, Si, Al, Cu se disuelven ampliamente en la ferrita
- Producen un pequeño aumento de la dureza y resistencia.

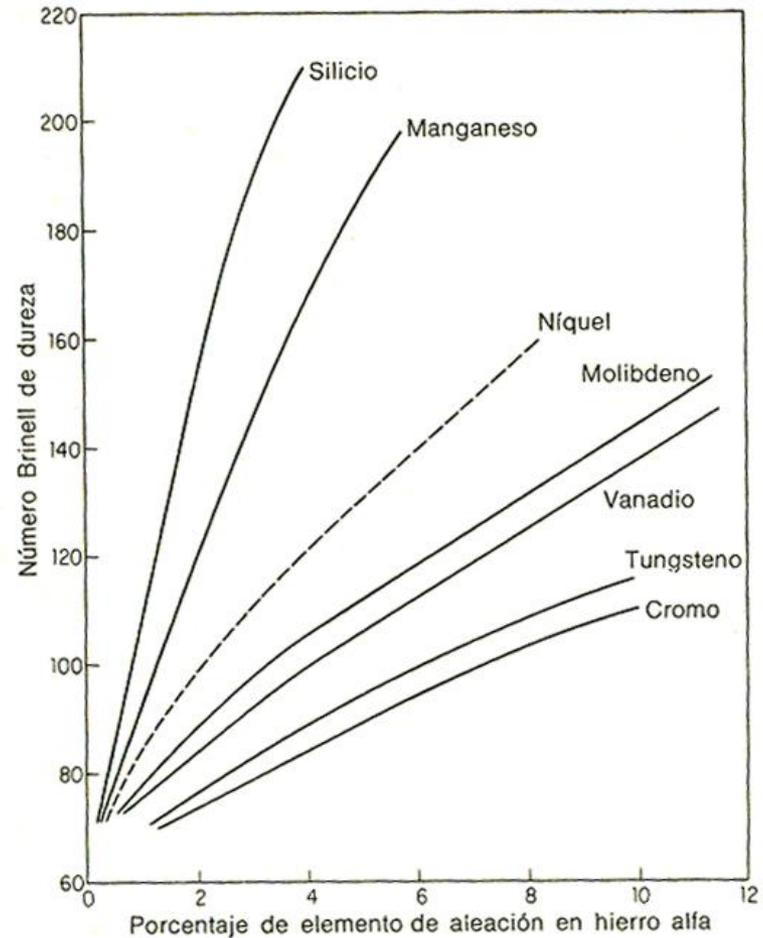
**TABLA 9.1** Comportamiento de los elementos individuales en un acero recocido\*

ELEMENTO DE ALEACIÓN	GRUPO 1 DISUELTO EN FERRITA	GRUPO 2 COMBINADO EN CARBURO
Níquel	Ni	
Silicio	Si	
Aluminio	Al	
Cobre	Cu	
Manganeso	Mn	Mn
Cromo	Cr	Cr
Tungsteno	W	W
Molibdeno	Mo	Mo
Vanadio	V	V
Titanio	Ti	Ti

# GRUPO 1

- El incremento en la dureza de la ferrita al alear con elementos que se disuelven en ella esta basado en los principios del endurecimiento por solución sólida.
- El material requiere de una fuerza externa mayor para hacer que sus dislocaciones se muevan.

350 INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA

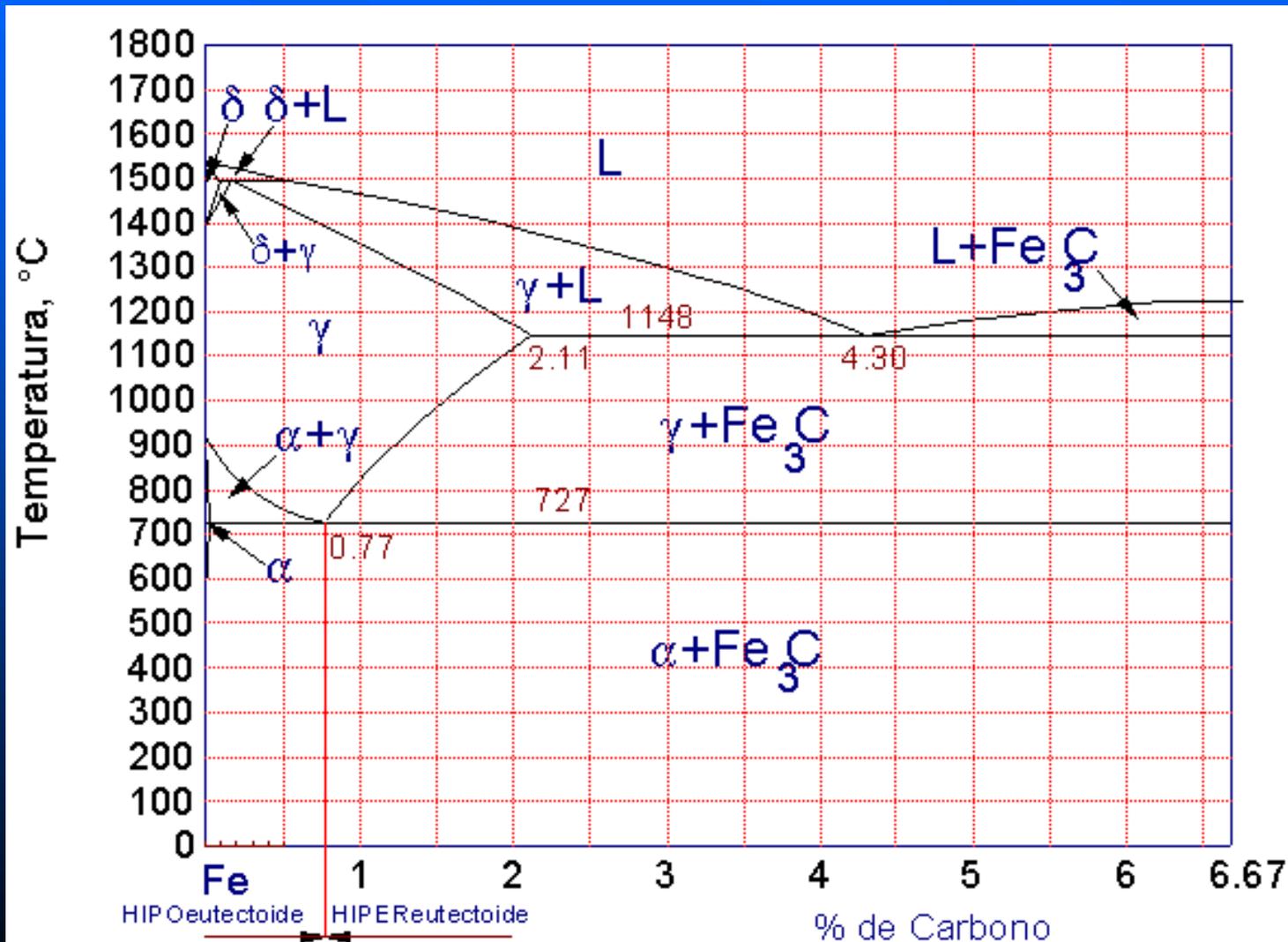


**Fig. 9.1** Probable efecto de endurecimiento de varios elementos disueltos en hierro alfa. (Tomada del libro de E. C. Bain y H. W. Paxton, *Alloying elements in steel*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961.)

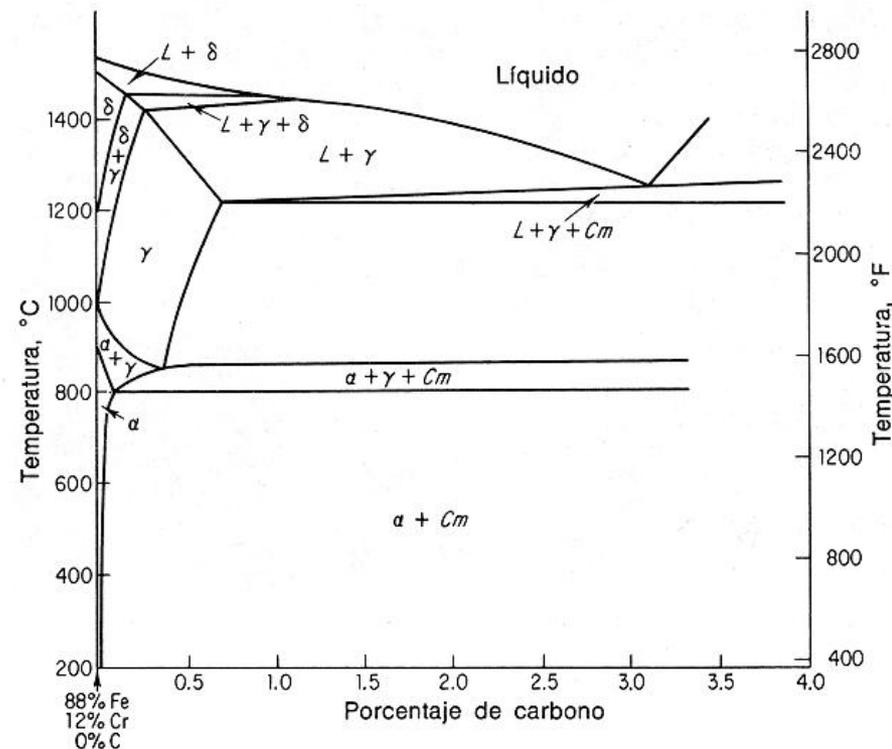
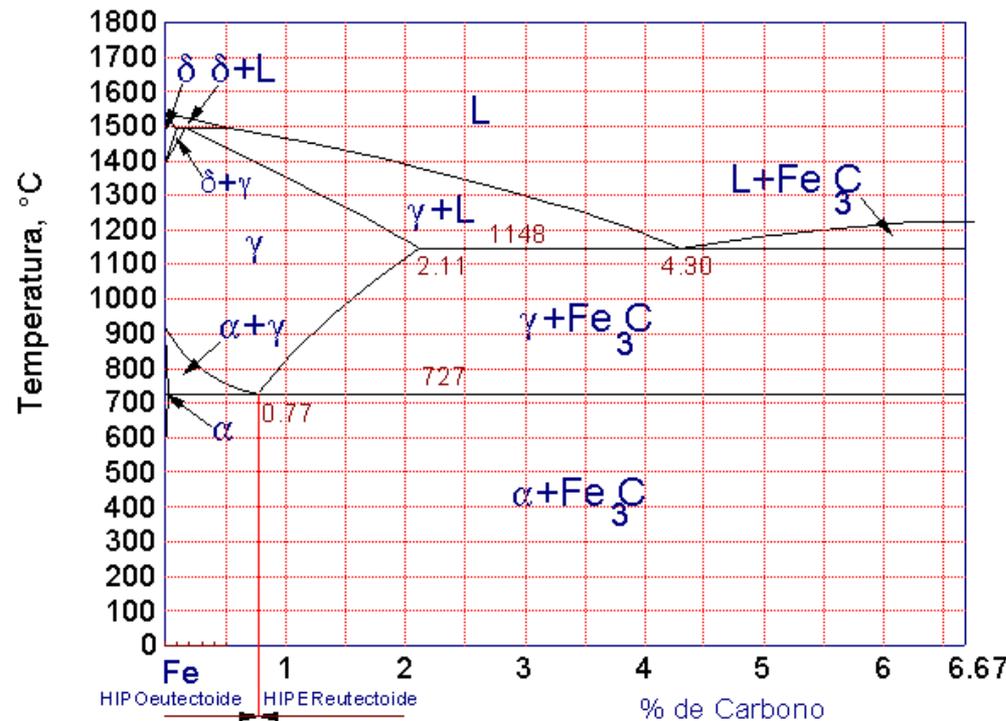
## GRUPO 2

- Según el % de C del acero, algunos elementos tienden a formar carburos (Ti, V, Mo, W, Cr, Mn ...)
- Disminuyen el contenido de carbono en la austenita.
- Los carburos no disueltos reducen el crecimiento del grano.
- Aumento importante de la dureza y resistencia al desgaste (determinadas por la cantidad, el tamaño y la distribución de estas partículas)

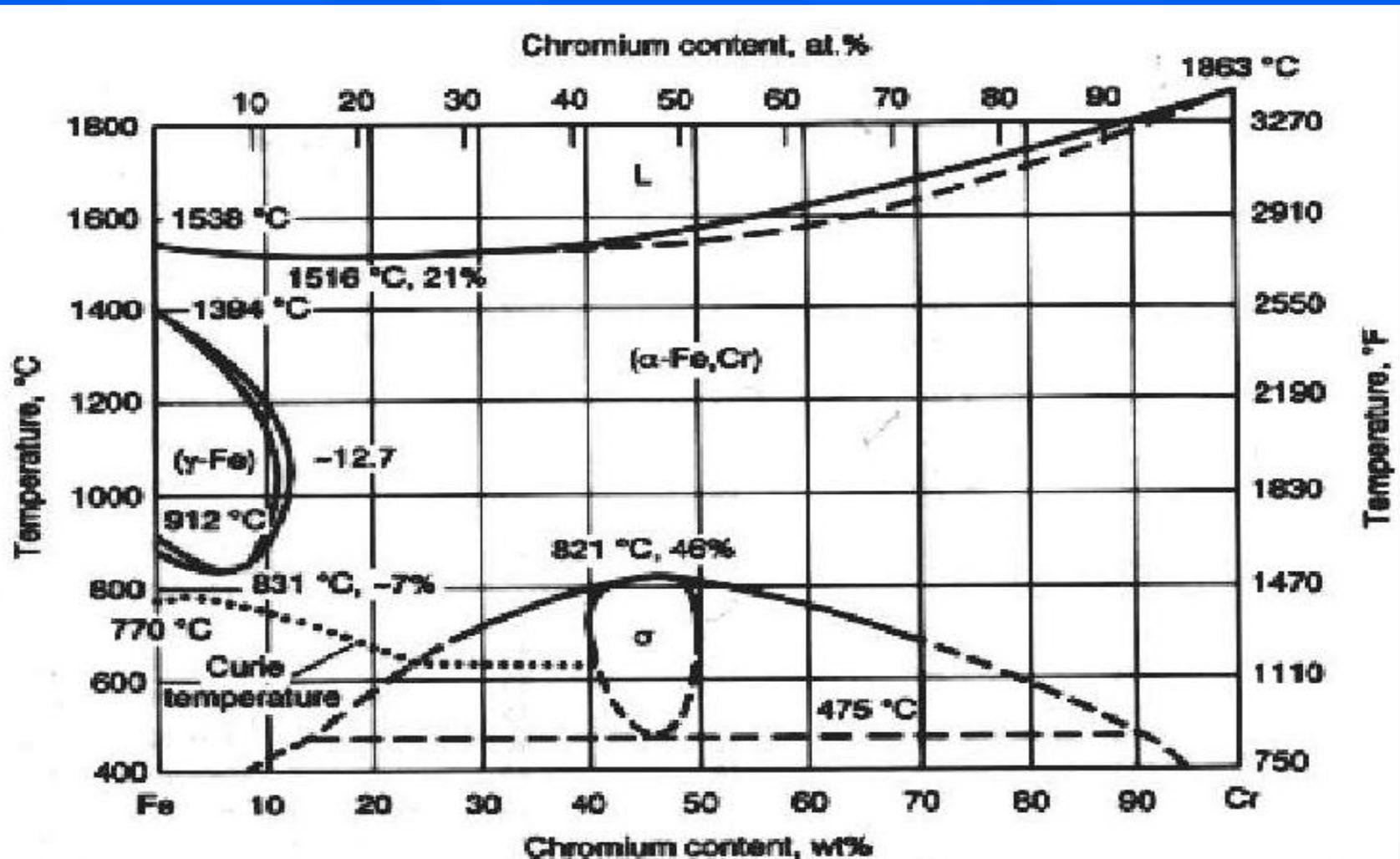
# Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro



# Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro

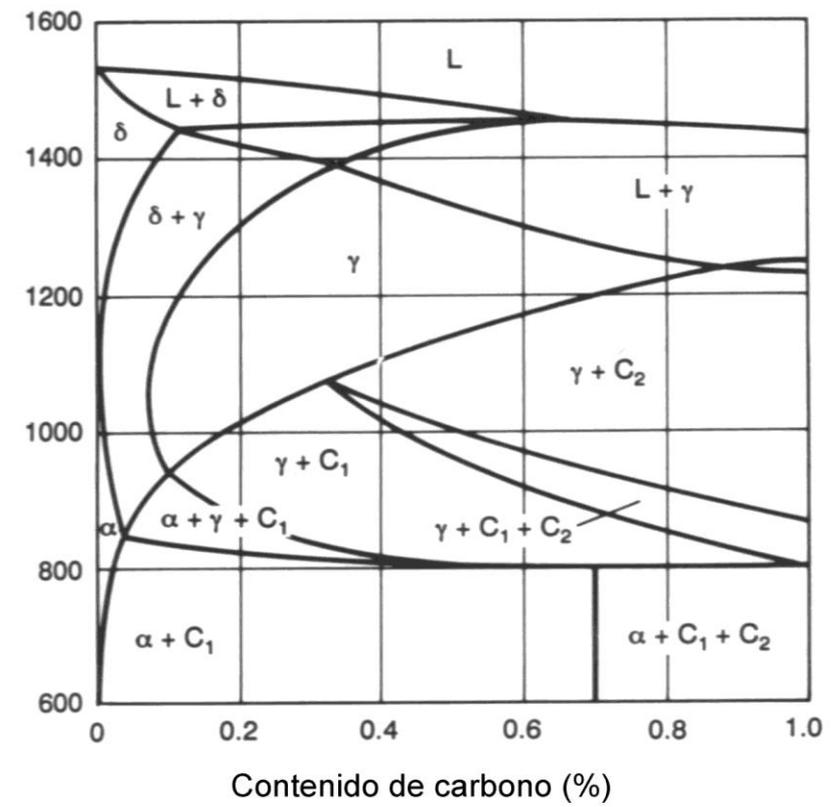
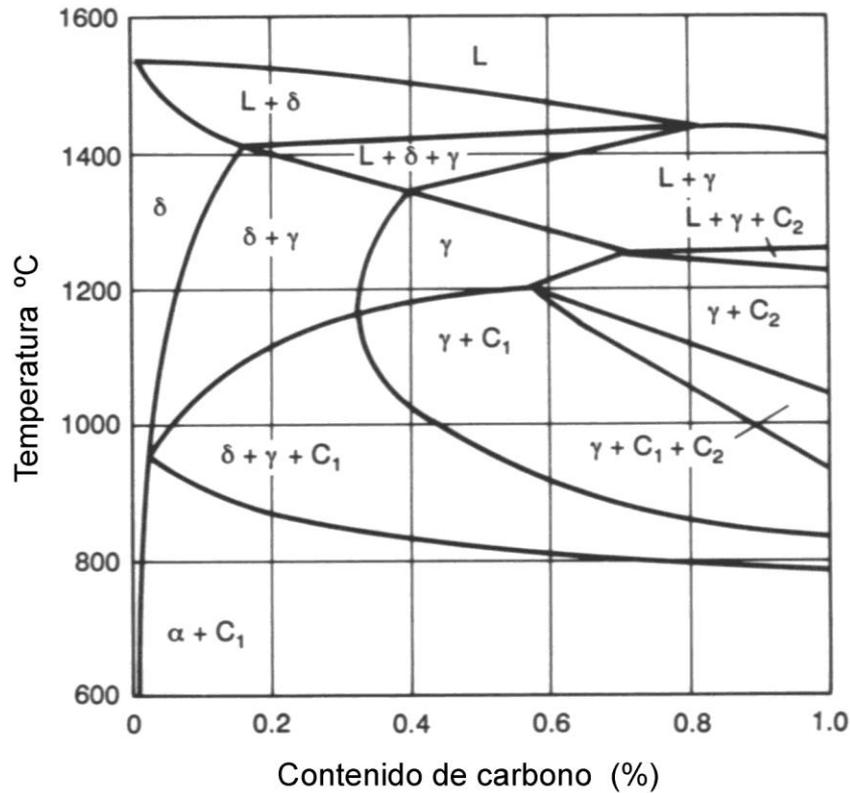


# Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro



# Diagrama Fe – Cr – C 13 % Cr

# Diagrama Fe – Cr – C 17 % Cr



# Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro

Los elementos de aleación cambiarán:

- El intervalo crítico (elevación o descenso de las temperaturas críticas).
- La posición del punto eutectoide.
- La localización de los campos alfa y gamma indicados en el diagrama.

# Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro

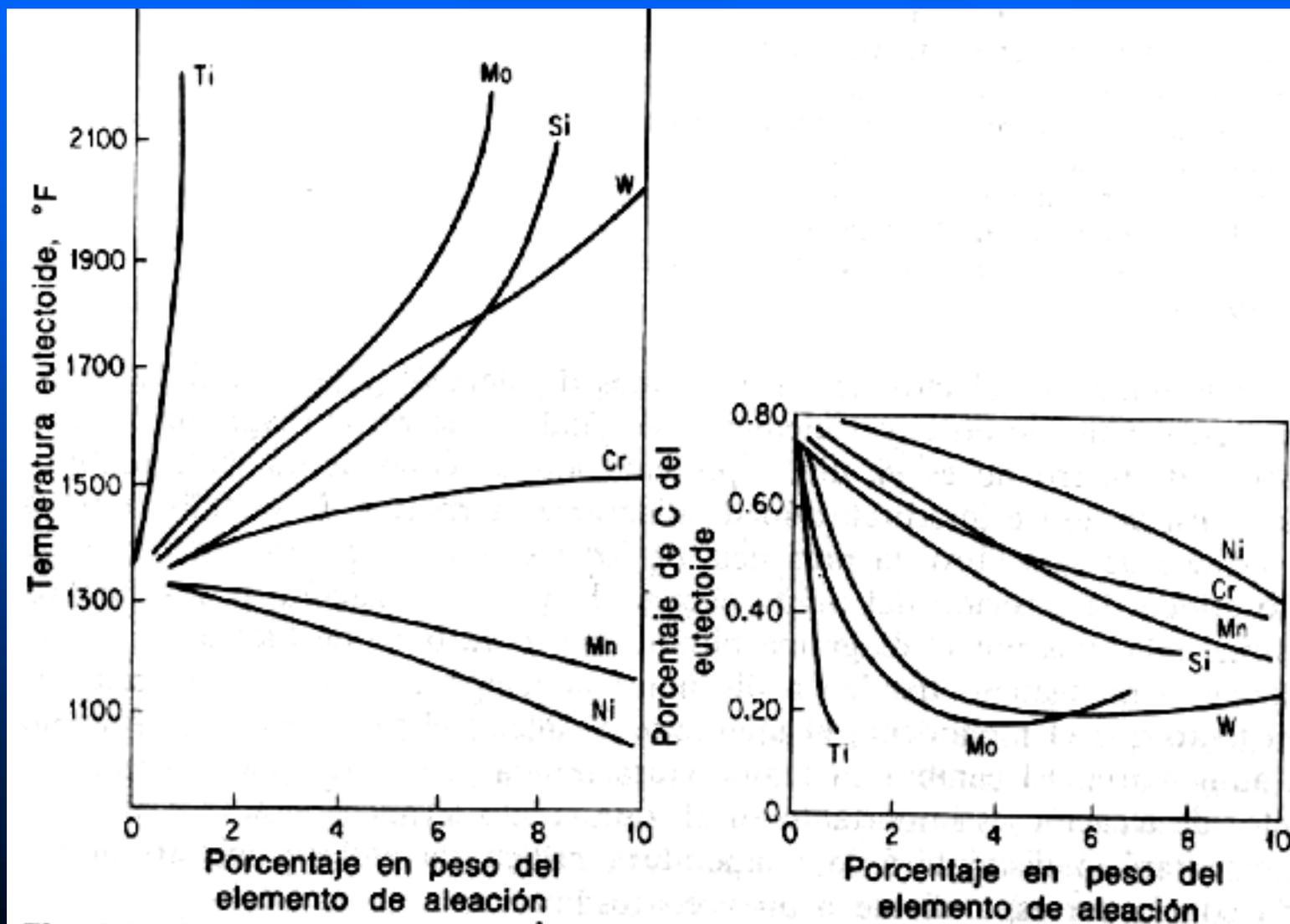
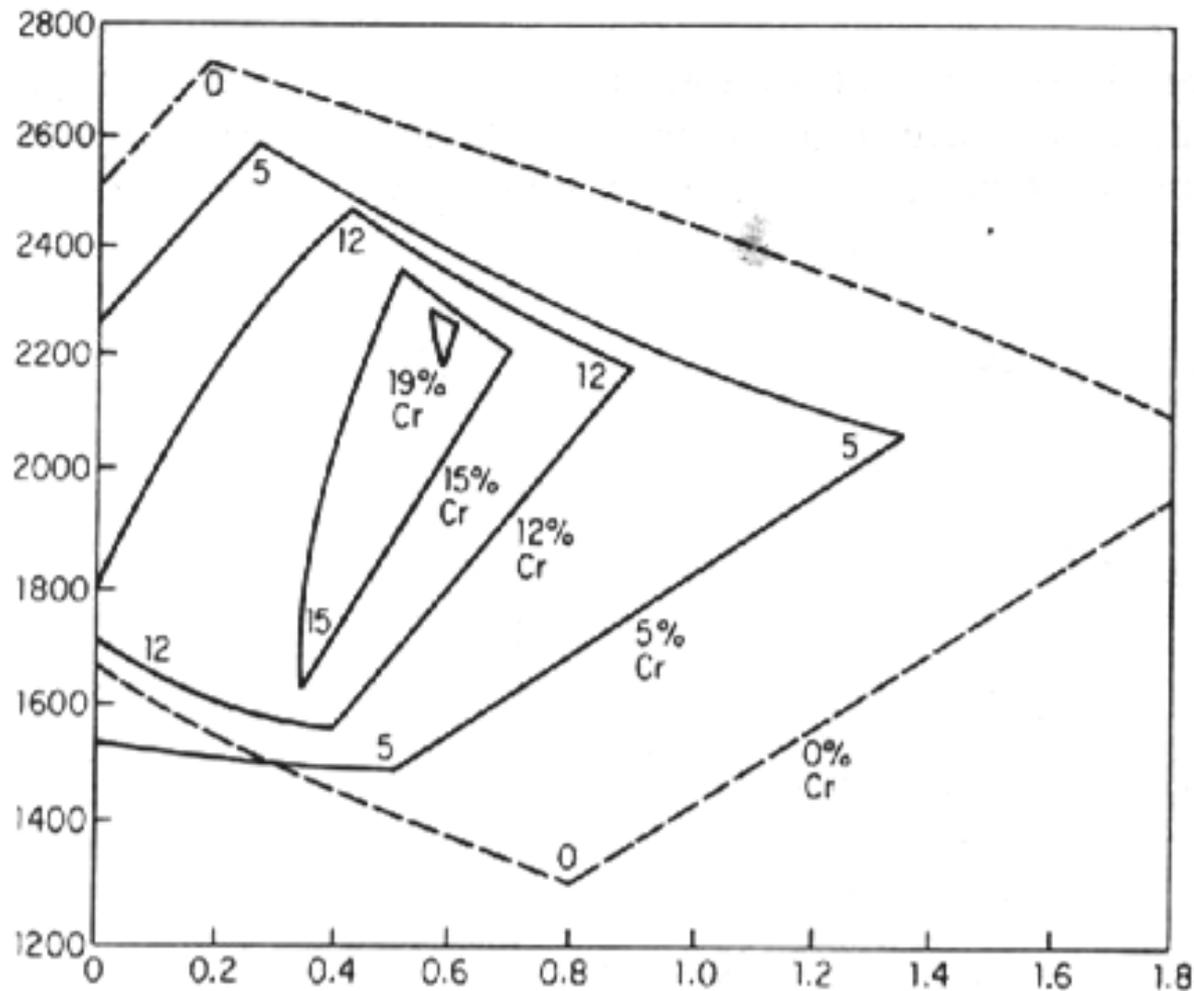


Fig. 9.3 Composición y temperatura eutectoideas in

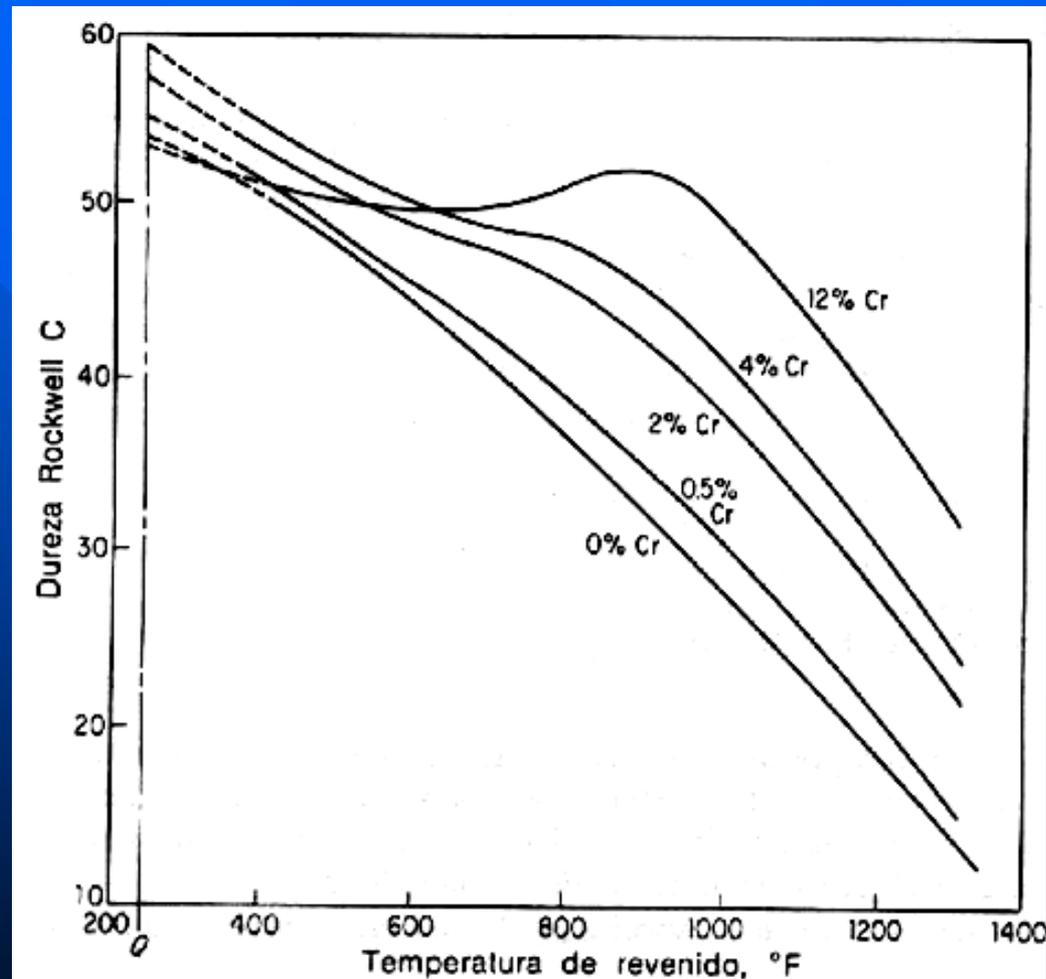
# Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro



# Efectos de los elementos de aleación en el revenido

- En Gral. retardan la rapidez de suavizamiento.
- Grupo 1 : tienen poco efecto sobre la dureza del acero revenido.
- Grupo 2 :
  - Aumentan la temperatura de revenido.
  - En presencia de altos contenidos la dureza puede aumentar al incrementar la temperatura de revenido.  
(dureza secundaria)

# Efectos de los elementos de aleación en el revenido

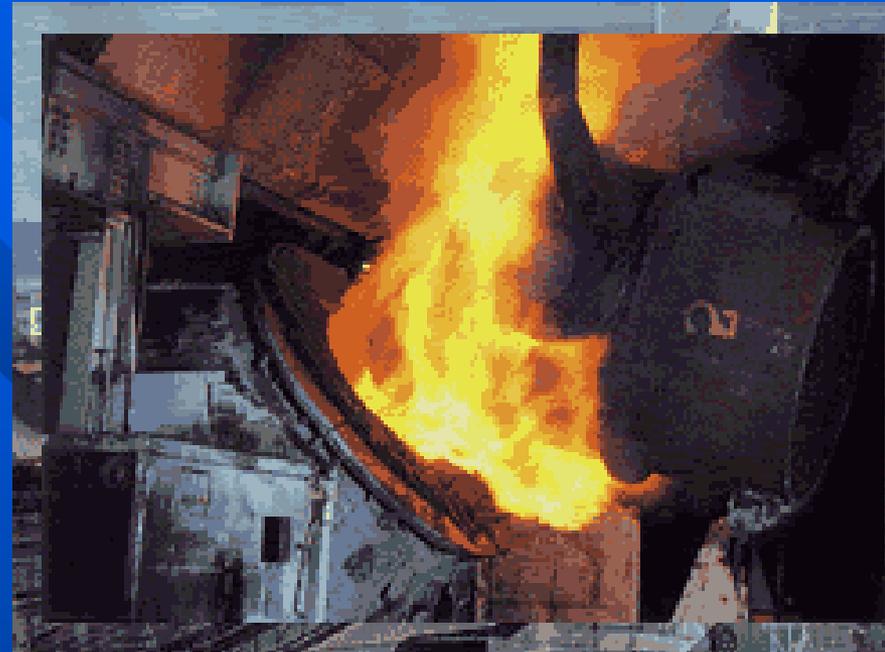


**Fig. 9.5** Suavizamiento, con aumento de la temperatura de revenido, de aceros templados al 0.35% de carbono influidos por el contenido de cromo. (To-

# Clasificación de los aceros aleados

# Clasificación de los aceros aleados

- Los elementos de aleación específicos y sus cantidades determinan el tipo de acero de aleación y sus propiedades particulares.



# Clasificación de los aceros aleados

Serie ( x x x x ) S.A.E. – A.I.S.I.

Nº de la serie

% de carbono

% del elemento aleación

# Clasificación de los aceros aleados

- Las convenciones para el primer dígito son:
  - 1 - CARBONO
  - 2 - NIQUEL
  - 3 - NIQUEL-CROMO, principal aleante el cromo
  - 4 - MOLIBDENO
  - 5 - CROMO
  - 6 - CROMO-VANADIO, principal aleante el cromo
  - 8 - NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO
  - 9 - SILISIO
- No hay aceros numerados 7xxx , estos aceros resistentes al calor prácticamente no se fabrican.

# Aceros al Níquel (Ni)

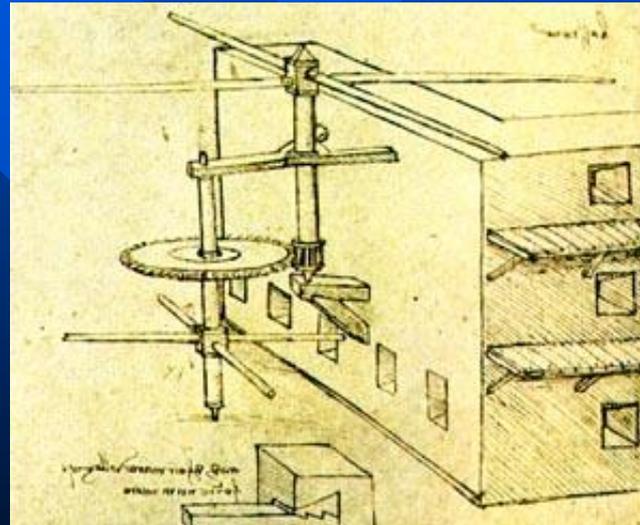
- Serie (2xxx) \$\$
- Disminuye las Temp. críticas del acero.
- Amplia el intervalo de temperatura para el TT.
- Reduce el contenido de carbono del eutectoide.
- Aumenta la tenacidad , plasticidad y resistencia a la fatiga.
- Una de las ventajas más grandes que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad.

# Aceros al Níquel (Ni)

- **Superaleaciones**: Son aleaciones de Níquel, Fe-Ni y Cobalto. Tienen una alta resistencia mecánica a altas temperaturas y son resistentes a la corrosión.
- **El Invar**: (Fe-35%Ni) tiene la propiedad de quitarle a los aceros la propiedad de expansión térmica.
- **El Elinvar**: (Fe-36%Ni-12%Cr) tiene un coeficiente termoelástico de cero; es decir, el módulo de elasticidad es casi invariable sobre un extenso intervalo de temperatura.

# Aceros al Níquel (Ni)

- Ej.: - (23xx) Tornillos de biela , pernos , etc
- (25xx) engranajes , levas y cigüeñales
- invar.: Fe y 36% Ni



# Aceros al Cromo (Cr)

- Serie (5xxx) \$
- Es uno de los elementos más empleados para la fabricación de aceros aleados.
- Forma carburos simples o complejos.
- Mejora la templabilidad, resistencia al desgaste e impide la deformación en el temple.
- Cuando el cromo excede al 5% mejora sus propiedades a altas Temp. y resistencia a la corrosión.

# Aceros al Cromo (Cr)

- Ej.:- (51xx) tornillos para motores, resortes ,etc
  - (52xx) rulemanes, maquinaria de trituración
  - (5-2 a 4-100) excelentes propiedades magnéticas y se emplea para imanes permanentes



# Aceros al Níquel- Cromo (Ni-Cr)

- Serie (3xxx) \$
- 2 y ½ partes de Ni por una parte de Cr.
- Efectos: - Ni aumentar la tenacidad y la ductilidad  
- Cr mejorar la templabilidad y la resistencia al desgaste
- Se utiliza en aplicaciones de trabajo pesado.

# Aceros al Manganeso (Mn)

- Serie (31xx)
- Es el menos costoso y es un desoxidador.
- Con un % mayor al 0.8% se lo clasifica como aleado.
- Efecto moderado sobre la templabilidad.
- Tienen alta resistencia, gran ductilidad y excelente resistencia al desgaste.
- Disminuye el intervalo critico y el % de C del eutectoide.

# Aceros al Manganeso (Mn)

- El Mn aparece prácticamente en todos los aceros, debido a que se añade como elemento de adicción para neutralizar la influencia del azufre y del oxígeno. (previene la formación de sulfuro de hierro en los bordes de grano y es un desoxidador)
- 1) Aceros al Mn de gran resistencia: 0,80 a 1,60 % de Mn y C de 0,30 a 0,50 %, mejora la templabilidad y se obtiene excelentes propiedades mecánicas aun en piezas de cierto espesor.
- 2) Aceros austeníticos con 12 % de Mn y 1% de C, que tienen gran resistencia al desgaste.

# Aceros Hadfield al Manganeso

- Suele contener alrededor del 12% de manganeso.
- Se caracteriza :
  - alta resistencia en general
  - gran ductilidad
  - gran resistencia al desgaste

# Aceros Hadfield al Manganeso

- Usado en dientes de escavadoras, maquinas para esmerilar y triturar, ejes, cilindros para fusil y rieles de ferrocarril.



# Aceros al molibdeno (Mo)

- Serie (4xxx) \$\$\$
- Fuerte formador de carburos.
- Fuerte efecto sobre la templabilidad, aumenta la dureza y resistencias a altas Temp.
- Mejora la resistencia a la tracción, a la fatiga, resistencia al desgaste y al creep.
- Ej.:- (40xx y 44xx) engranajes y aplicaciones no tan severas
  - Con mayor % de C se usan para resortes de suspensión
  - (41xx) Cr-Mo endurecimiento profundo
  - (46xx – 48xx) Mi- Mo

# Aceros al Vanadio (V)

- Serie (61xx) \$\$\$\$
- Muy fuerte formador de carburos y desoxidador.
- Forma una pieza de fundición sin defectos y de grano fino.
- Aumenta la resistencia a los impactos (resistencia a las fracturas por impacto) y también la resistencia a la fatiga.
- Gran resistencia al ablandamiento por revenido.

# Aceros al Vanadio (V)

- 61xx se utiliza: - (Bajo % de C) baño superficial para cigüeñales.
- (medio % de C) alta tenacidad y resistencia.
- (alto % de C ) gran dureza y resistencia al desgaste ( herramientas ).

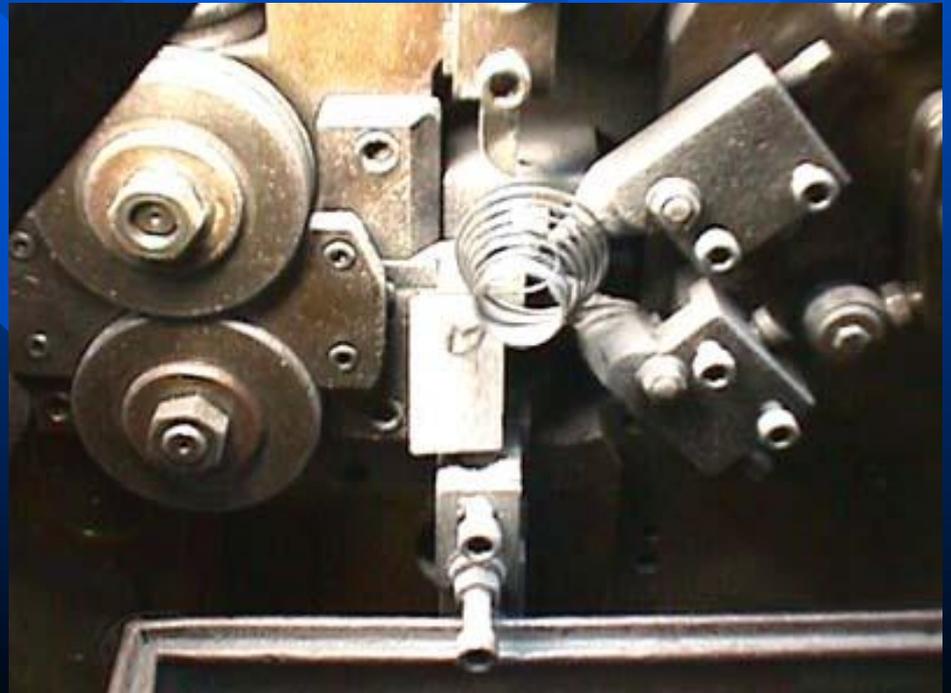
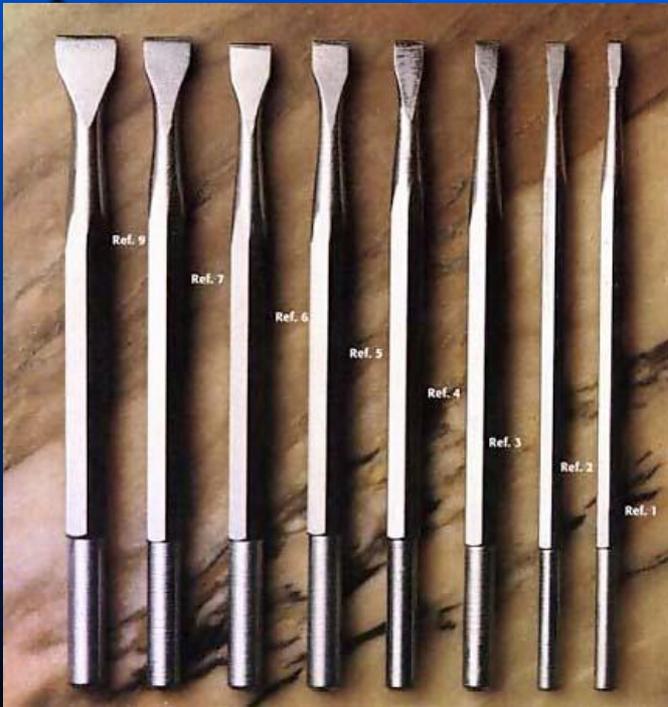


## Acero al Silicio (Si)

- Serie (92xx)
- Con un % mayor al 0.6% se lo clasifica como aleado ( desoxidante ).
- Se disuelve en ferrita, aumenta la resistencia y la tenacidad.
- Acero naval : de 1 a 2% de Si para aplicaciones estructurales .
- Acero Hadfield al Si (0.01% C y 3% Si) uso en maquinaria eléctrica.

# Acero al Silicio (Si)

- (9260) Si-Mn , alta resistencia, ductilidad y tenacidad. Se emplean para fabricación de resortes helicoidales, punzones y cinceles.
- Con menos de 0.01% de C y 3% de Si tiene excelentes propiedades magnéticas y se usa en núcleos y polos de la maquinaria eléctrica.



# Resumen

## Serie 86xx: NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO

AISI	C		Mn		P(max)	S(max)	Si		Ni		Cr		Mo							
8615	0,13	-	0,18	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8617	0,15	-	0,20	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8620	0,18	-	0,23	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8622	0,20	-	0,25	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8625	0,23	-	0,28	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8627	0,25	-	0,30	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8630	0,28	-	0,33	0,70	-	0,90	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25
8637	0,35	-	0,40	0,75	-	1,00	0,035	0,040	0,15	-	0,35	0,40	-	0,70	0,40	-	0,60	0,15	-	0,25

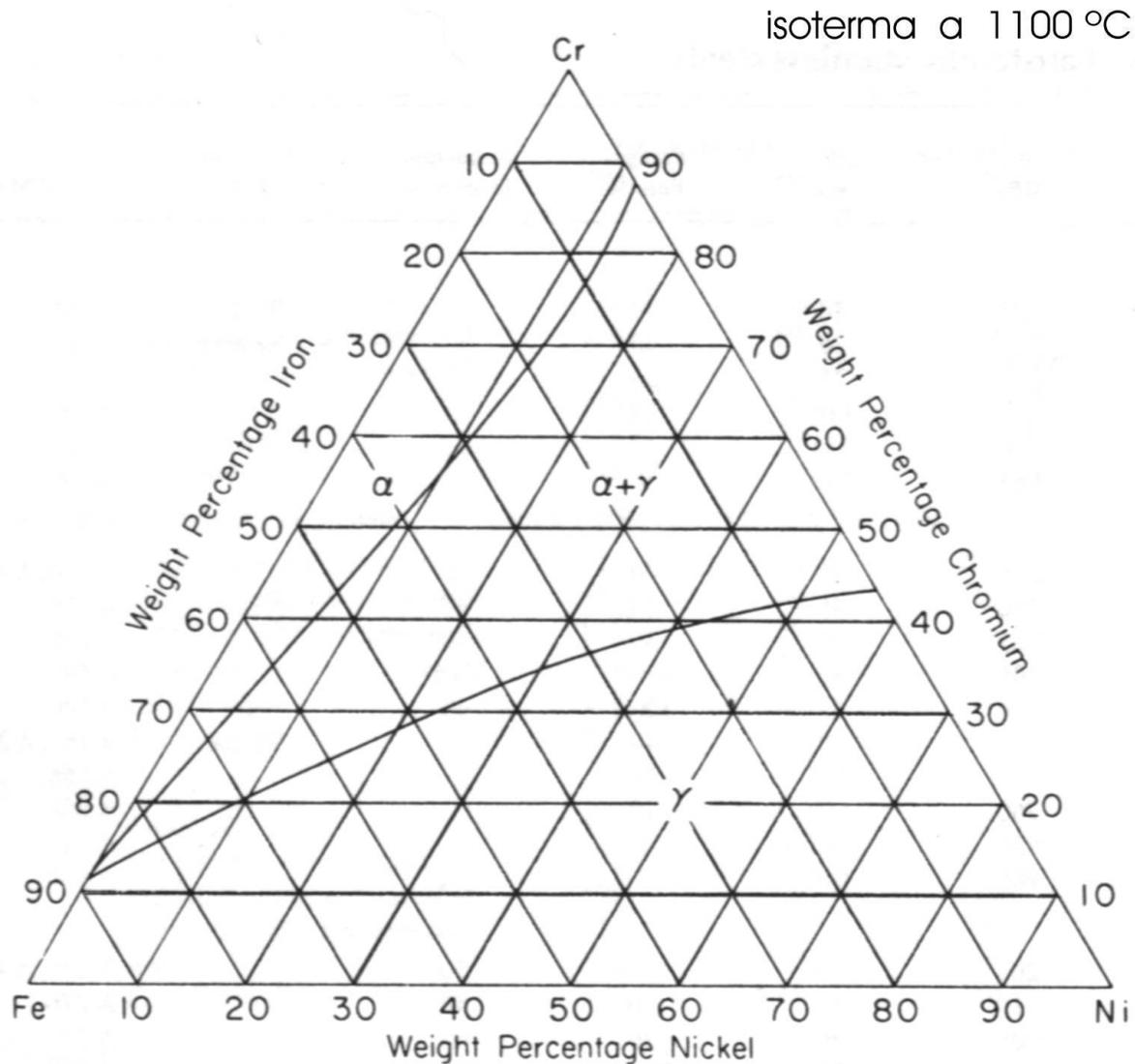
# Resumen

- **Los efectos de los elementos de aleación son:**
  - Mayor resistencia y dureza
  - Mayor resistencia a los impactos
  - Aumento de la resistencia al desgaste
  - Aumento de la resistencia a la corrosión
  - Mejoramiento de maquinabilidad
  - Dureza al rojo (altas temperaturas)
- Aumento de la profundidad a la cual el acero puede ser endurecido (penetración de temple)

# ■ Características de selección

- ◆ Resistencia a la corrosión
- ◆ Propiedades mecánicas de acuerdo a las sollicitaciones
- ◆ Propiedades físicas
- ◆ Propiedades de trabajado
- ◆ Soldabilidad y templabilidad
- ◆ Costos producción, fabricación, funcionamiento y mantenimiento

# Diagramas ternarios



# Clasificación de los aceros aleados según su estructura metalográfica

# Clasificación microscópica

- Aceros perlíticos: Además de los aceros al carbono, pertenecen también a este grupo los aceros de baja y media aleación.
- El temple de estos aceros suele hacerse con enfriamiento en agua o en aceite, según el espesor.

# Clasificación microscópica

- Aceros martensíticos: Aceros clásicos de este grupo son los llamados aceros de temple al aire, como los cromo-níquel ( $C = 0,35 \%$ ;  $Cr = 1 \%$ ;  $Ni = 4 \%$ ), o cromo-níquel-molibdeno empleados para la construcción de engranajes, y los aceros al cromo inoxidable de  $C = 0,30 \%$ ;  $Cr = 13 \%$ .

# Clasificación microscópica

- Aceros austeníticos: Los aceros más importantes de este grupo son los aceros cromo-níquel inoxidables y también el acero al 12 % de manganeso.

# Clasificación microscópica

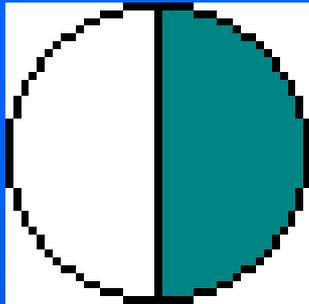
- Aceros ferríticos: Reciben este nombre ciertos aceros cuya estructura es normalmente ferrítica.
- Entre los aceros de esta clase, se encuentran los aceros inoxidable al Cr de bajo contenido en C y elevado contenido de Cr generalmente superior al 16 %.
- Ciertos aceros al silicio de más de 3 % de este elemento, son empleados para usos eléctricos.

# Clasificación microscópica

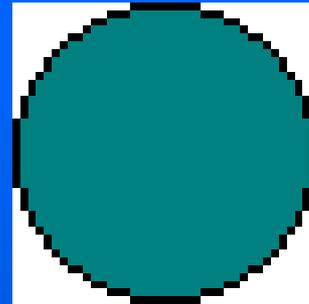
- Aceros con carburos: Estos aceros suelen ser de elevado contenido en elementos de aleación y su porcentaje de carbono suele ser superior a 0.60%.
- El % de carburos con que quedan estos aceros después de un calentamiento de austenización a elevada temp, varia con la temp. alcanzada en el calentamiento y con la velocidad de enfriamiento.
- Con velocidades lentas de enfriamiento (recocido) aparecen más carburos que con enfriamientos rápidos (temple).

# Clasificación por colores

## Aceros Bonificados:

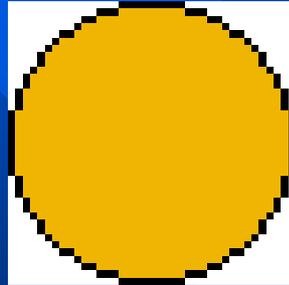


4340



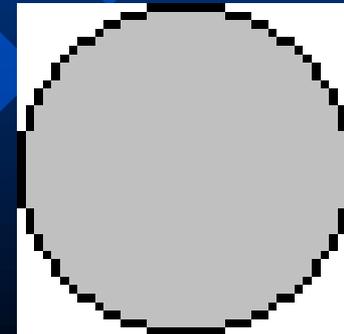
4140

## Aceros de Cementación:



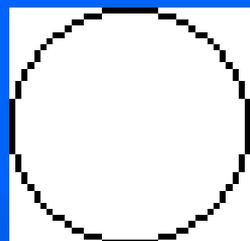
3115

## Aceros para Resortes:

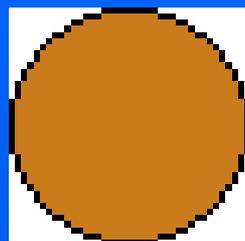


5160

## Aceros al Carbono:

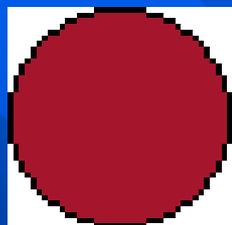


1045



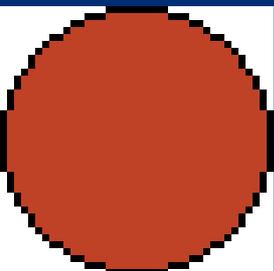
1020

## Aceros Refractarios:

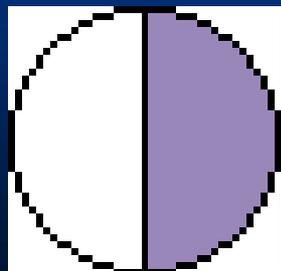


310

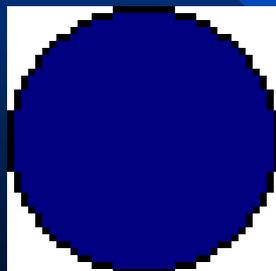
## Aceros Inoxidables:



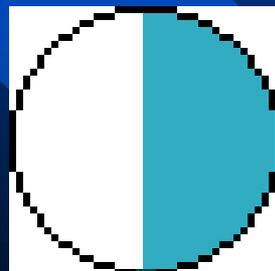
316



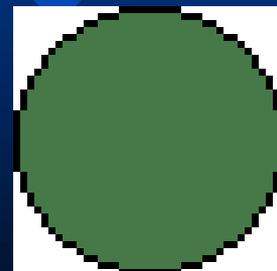
316 L



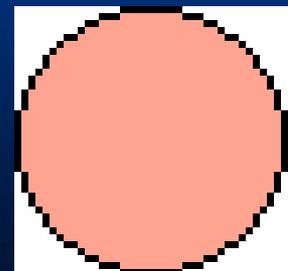
304



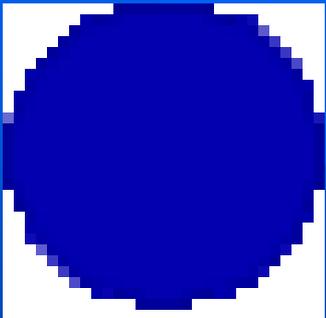
304 L



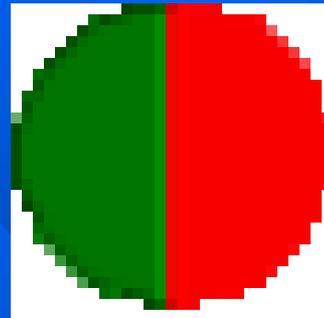
430



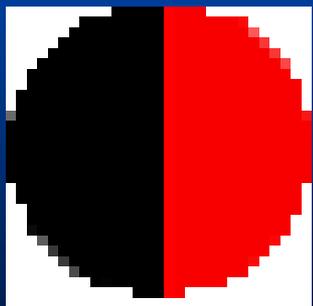
# Otros



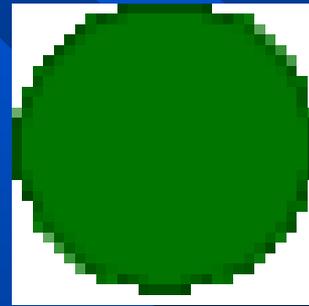
8620



4140



4130



4340