

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA DE DOCENCIA

ESCUELA DE CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

CURSO DE TECNOLOGÍA DE LAS ALEACIONES METÁLICAS I

ACEROS

AUTORES:

ABRIL DE 2008

Acero

Aleación de hierro y carbono principalmente, donde el carbono no supera el 2% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,8%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones.

Características Mecánicas del Acero

Aunque es difícil establecer las propiedades físicas y mecánicas del acero debido a que estas varían con los ajustes en su composición y los diversos tratamientos térmicos o a los métodos de endurecimiento por acritud, con los que pueden conseguirse aceros con combinaciones de características adecuadas para infinidad de aplicaciones, se pueden citar algunas características genéricas:

Densidad Media: 7850 kg/m³

Comportamiento respecto a la Temperatura: se puede contraer, dilatar o fundir.

Punto de Fusión: depende del tipo de aleación, pero al ser su componente principal el hierro éste anda alrededor de los 1510 °C. Sin embargo los aceros aleados presentan frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1375 °C.

Punto de Ebullición: alrededor de los 3000 °C.

Es muy tenaz

Es Dúctil: esta propiedad permite obtener alambres

Es Maleable: es posible deformarlo hasta obtener láminas

Es fácil de mecanizar: para un posterior tratamiento térmico

Fácilmente soldable

Dureza variable según el tipo de elementos de aleación

Templable o endurecible por tratamientos térmicos.

La Corrosión: es la mayor desventaja de los aceros, ya que el acero se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos. Además de con elementos de aleación, prueba de ello son los aceros inoxidables.

Alta Conductividad Térmica y Eléctrica

Elementos de Aleación de los Aceros

Aunque la composición química de cada fabricante de aceros es casi secreta, certificando a sus clientes solo la resistencia y dureza de los aceros que producen, se conocen los compuestos agregados y sus porcentajes admisibles para ciertos tipos de aplicaciones, ya sea que se quiera un acero mas tenaz, duro, resistente al esfuerzo mecánico, etc.

A continuación un listado de los elementos aleantes mas importantes y el efecto que estos tiene en el producto final.

Níquel: una de las mayores ventajas 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. El níquel al ser un elemento gammagénico además hace descender los puntos críticos y por ello los tratamientos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios.

Este elemento le da a los aceros un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación. En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para máquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo-níquel y cromo-níquel-molibdeno.

El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidables y resistentes a altas temperaturas. Es el principal formador de austenita, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto.

Los aceros más utilizados al níquel son los siguientes:

Aceros cromo - níquel y cromo - níquel - molibdeno: Con porcentajes de níquel variables desde 1 a 5%: estos se emplean para cementación y con porcentajes de 0.25 a 0.40% de carbono se emplean para piezas de gran resistencia. En estos aceros los porcentajes de estos elementos aleados suelen estar en la relación aproximada de 1% de cromo y 3% de níquel.

Aceros de media aleación níquel - molibdeno y níquel - manganeso: Se suelen emplear para piezas de gran resistencia y para piezas cementadas con porcentajes de carbono variables de 0.25 a 0.40% en el primer caso y de 0.10 a 0.25% en el segundo, variando el contenido en níquel de 1 a 2%, el de manganeso de 1 a 1.5% y el del molibdeno de 0.15 a 0.40%.

Aceros inoxidables y resistentes al calor cromo - níqueles: con 8 a 20% de níquel que son de estructura austenítica.

Otros aceros de menor importancia son los aceros cromo - níqueles para estampación en caliente.

Cromo: es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y los de

resistencia en caliente. Se emplea en cantidades diversas desde 0.30% a 30% según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste y la inoxidable. Forma carburos muy duros y brinda al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidables y refractarios. También se utiliza en revestimientos embellecedores o recubrimientos duros de gran resistencia al desgaste, como cromobollos, ejes, etc.

Molibdeno: es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de acero, así como su tenacidad. Los aceros inoxidables austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.

El molibdeno en combinación con cromo, es muy efectivo en la estabilización de una película pasiva en presencia de cloruros. Es efectivo en la prevención de grietas o picaduras por corrosión. El Molibdeno junto al cromo proveen la máxima resistencia a la corrosión en los aceros inoxidables.

Wolframio (Tungsteno): Forma con el hierro carburos muy complejos, estables y duros, evitando que se desafilan o ablandan las herramientas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas. También se usa para la fabricación de aceros para imanes.

Todos los aceros herramienta aleados con Wolframio poseen una resistencia muy alta a la temperatura.

Vanadio: posee una energética acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas. Además de que brinda al acero una resistencia al ablandamiento por revenido.

Básicamente es utilizado para eso, para aceros tipo herramienta.

Manganeso: aparece prácticamente en todos los aceros, debido principalmente a que se añade como elemento de aleación para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. También actúa como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero que se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material.

Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, forma sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981°C aproximadamente) que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden, y al encontrarse contorneando los granos de acero crean zonas de debilidad y las piezas y barras se abren en esas operaciones de transformación. Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el manganeso no es elemento fundamental, suelen contener generalmente porcentajes de manganeso variables de 0.30 a 0.80%.

El Manganeso en porcentajes mayores a 11% hace austenítico al acero.

Silicio: aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono y, a su vez, aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como el principal elemento desoxidante, incluso por encima del manganeso.

Cobalto: elemento de aleación endurecedor. Disminuye la templabilidad. Mejora la dureza en caliente. Se usa en los aceros rápidos y aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.

Aluminio: elemento utilizado para afinar el grano. Se emplea también como elemento de aleación en los

aceros de nitruraci3n, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio. Como desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricaci3n de muchos aceros. Todos los aceros aleados en calidad contienen aluminio en porcentajes pequeÃ±simos, variables generalmente desde 0.001 a 0.008%.

Titanio: Se suelen aÃ±adir pequeÃ±as cantidades de titanio a algunos aceros muy especiales para desoxidar y afinar el grano. El titanio tiene gran tendencia a formar carburos y a combinarse con el nitr3geno.

Cobre: El cobre se suele emplear para mejorar la resistencia a la corrosi3n de ciertos aceros de 0,15 a 0,30 % de carbono, que se usan para grandes construcciones metÃ¡licas.

Boro: El boro es un elemento de aleaci3n que ha comenzado a ser empleado muy recientemente. Se ha visto que cantidades pequeÃ±as de boro mejoran notablemente la templabilidad. AdemÃ¡s logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero estÃ¡ totalmente desoxidado.

EstaÃ±o: es el elemento que se utiliza para recubrir lÃ¡minas muy delgadas de acero que conforman la hojalata.

Nitr3geno: se agrega a algunos aceros para promover la formaci3n de austenita.

Plomo: el plomo no se combina con el acero, se encuentra en 1 en forma de pequeÃ±os gl3bulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fÃ¡cil mecanizaci3n por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0.15 y 0.30 % debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0.5 % debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente.

Selecci3n de Aceros

Para seleccionar un acero que va a estar sometido a una aplicaci3n determinada, el usuario de la pieza a fabricar debe primero hacerse tres sencillas preguntas:

1. Qu3 es lo que espera de la pieza que va a fabricar?

2. Qu3 propiedades se pueden obtener del material una vez realizado el tratamiento t3rmico?

3. Qu3 materiales hay disponibles en el mercado para satisfacer las anteriores dos?

Las respuestas a estas preguntas orientaran grandemente al usuario sobre el tipo de material mas apto para satisfacer sus necesidades.

Otros aspectos a tomar en cuenta durante el desarrollo de una pieza de maquinaria, herramienta o componente estructural son:

El tipo de esfuerzo al que estarÃ¡ sometida la pieza fabricada: Como todos sabemos existen tres tipos de esfuerzos: tensi3n - compresi3n, torsi3n y flexi3n. AdemÃ¡s es necesario tomar en cuenta aspectos como: la resistencia al desgaste, resistencia a la corrosi3n y dureza.

El posible diseÃ±o: La pieza no debe tener filos o esquinas vivas, estas son acumuladores de tensiones, y por lo tanto, focos de falla o ruptura.

Los procesos de fabricaci3n que se van a emplear: Trefilado, laminado, cortado, torneado, arranque de viruta, etc.

El tratamiento Térmico a efectuar: Estos pueden ser: Termoférmicos (recocidos, austenizados, temple, revenidos), Termoquímicos (cementación, nitruración, QpQ) o Termomecánicos. El tipo de tratamiento depende directamente del uso que el usuario quiera de la pieza.

El número de piezas a fabricar: existen procesos donde no sería funcional o rentable el realizar un tratamiento térmico debido a la duración de las piezas en el horno. Un ejemplo de esto es la nitruración por Sales versus la nitruración gaseosa.

El Costo de las piezas por unidad: muy ligado al punto anterior, aquí impera el llamado “costo beneficio”.

normalización internacional del acero

Para la identificación del acero se han creado numerosos códigos para diferenciar las diferentes composiciones y estructuras de los aceros, los métodos de fabricación y maquinado, así como los diferentes tratamientos térmicos a los que han sido sometidos. Según la región, la normalización adoptada puede variar. En el presente trabajo se tocará la normativa AISI como la más empleada en Costa Rica. Otras normas existentes son las UNE, DIN, ASM o ASTM y UNS.

Normas AISI

Son las normas utilizadas en Estados Unidos, creadas por el Instituto Americano del Hierro y el Acero (American Iron and Steel Institute).

Para denotar aceros al carbono o de baja aleación se utilizan designaciones del tipo A X Y ZZ K que facilitan la comprensión de los procesos y tratamientos por los que ha pasado el acero en cuestión.

El primer dígito es un literal que indica el proceso de fabricación:

A	Acero Básico de Horno abierto
B	Acero al Carbono Horno Bessemer Acido
C	Acero al Carbono de Horno Básico abierto
D	Acero al Carbono de horno Acido Abierto
E	Acero de horno Eléctrico.
(sin prefijo)	Acero de horno Siemens

El segundo dígito (X) es un valor numérico que indica el elemento principal de aleación:

1	Sin elementos de aleación
2	Níquel
3	Níquel + Cromo
4	Molibdeno (puede llevar también Ni - Cr)
5	Cromo
6	Cromo + Vanadio
7	No se utiliza
8	Níquel + Cromo + Molibdeno, con Boro
9	Níquel + Cromo + Molibdeno, con Boro o Manganeso + Silicio

El tercer dígito representa el porcentaje del elemento aleante principal o la suma del porcentaje de éstos. En algunos casos el tercer dígito indica una composición química diferente a la especificada.

XY	Descripción
----	-------------

11	Acero al Carbono, con Alto Azufre, Bajo F ³ sforo
12	Acero al Carbono, con Alto Azufre, Alto F ³ sforo.
13	Acero al Manganeso (1,75 % en peso, aprox.).
15	Acero al Manganeso (% Mn > 1,0 % en peso).
23	Acero al N ³ -quel (3,5% en peso).
25	Acero al N ³ -quel (5,0% en peso)
31	Acero al N ³ -quel + Cromo (%Ni = 1,25% y %Cr = 0,6%, en peso).
33	Acero al N ³ -quel + Cromo (%Ni = 3,5% y %Cr = 1,5%, en peso).
40	Acero al Molibdeno (%Mo = 0,25%, en peso).
41	Acero al Molibdeno + Cromo (%Mo = 0,2% y %Cr = 0,95%, en peso). .
43	Acero al Molibdeno + Cromo + N ³ -quel (%Mo = 0,25%, %Cr = 0,5% ³ 0,8%, y %Ni = 1,8%, en peso).
44	Acero al Molibdeno (%Mo = 0,53%, en peso).
46	Acero al Molibdeno + N ³ -quel (%Mo = 0,25% y %Ni = 1,8%, en peso).
47	Acero al Molibdeno + N ³ -quel + Cromo.
48	Acero al Molibdeno + N ³ -quel (%Mo = 0,25% y %Ni = 3,50%, en peso).
50	Acero al Cromo (%Cr = 0,3% ³ 0,6%, en peso).
51	Acero al Cromo (%Cr = 0,8% ³ 0,95% ³ 1,05%, en peso).
5NNNN	Acero Alto Carbono (%C = 1,0%) + Cromo (%Cr = 0,5% ³ 1,0% ³ 1,45%).
61	Acero al Cromo + Vanadio (%Cr = 0,8% ³ 0,95% y %Va = 0,1% ³ 0,15%).
86, 87, 88	Aceros al N ³ -quel + Cromo + Molibdeno, con Boro (%Ni = 0,55%, %Cr = 0,5%, %Mo = 0,2% ³ 0,25%, en peso).
92	Acero al Manganeso + Silicio (%Mn = 0,85%, %Si = 2,0% m ³ x.).
93	Acero al N ³ -quel + Cromo + Molibdeno (%Ni = 2,25%, % Cr = 1,2%, %Mo = 0,12%, en peso).
94	Acero al Manganeso + N ³ -quel + Cromo (%Mn = 1,0%, %Ni = 0,45%, %Cr = 0,4%, en peso).
97	Acero al N ³ -quel + Cromo + Molibdeno (%Ni = 0,55%, %Cr = 0,17%, %Mo = 0,2%, en peso).
98	Acero al N ³ -quel + Cromo + Molibdeno (%Ni = 1,0%, %Cr = 0,8%, %Mo = 0,25%, en peso).

El cuarto y quinto d³-gitos representan el contenido de carbono multiplicado por diez, es decir, un acero 1020 representa un acero al carbono con 0,20% de carbono. Esta es una medida promedio que puede variar ligeramente de un elemento a otro, pero sus propiedades deben ser similares. Un acero con m³ s del 1% de carbono deber³ expresarse con un d³-gito adicional.

El ³ltimo d³-gito expresado con un literal denota algunas caracter³-sticas especiales: A, B, C denotan un contenido de carbono diferente; F indica que el acero es de f³cil mecanizado y H indica que sus caracter³-sticas de templabilidad est³n garantizadas mediante una prueba Jominy.

Para designar **aceros grado herramienta** (altamente aleados) se siguen las siguientes indicaciones:

- Los aceros templables en agua se designan con la letra W. Son aceros con alta aleaci³n de vanadio, cromo o ambos.
- Los aceros para trabajo en fr³-o o indeformables se denotan de la siguiente manera:

O (Oil). Son aceros de baja aleaci³n aptos para temple en aceite.

A (Air). Aceros de media aleación para temple en aire utilizados para matrices de forma complicada para corte y conformado.

D. Son aceros de alta aleación que serán destinados a condiciones severas de servicio y pueden ser templados en aire (D1, D2, D4, D5) o aceite (D3 y D6)

- Los aceros resistentes al choque:

L2. Aceros al Cr-V, con alto UTS, alta tenacidad, templables en agua.

S2, S3 y S4. Aceros al silicio (1 a 2%). Requieren altas temperaturas de austenización, con alta templabilidad.

S1. Acero al Wolframio que puede ser utilizado en trabajos en caliente.

- Los aceros para trabajo en caliente se denotan con la letra H.

H11, H12, H13 y H15. Aceros al Cromo - Molibdeno.

H14, H16, aceros al Cromo-Wolframio.

H20, H21, H22, H24, H26. Aceros al Wolframio.

H41, H42, H43. Aceros al Molibdeno.

- Designación para aceros rápidos.

T1, T2, T3, T7, T9. Aceros al Wolframio.

T4, T5, T6, T8. Aceros al Wolframio - Cobalto.

M1, M2, M3, M4, M10. Aceros al Molibdeno.

M41, M42, M43, M44, M45, M46, M47. Aceros de alto carbono y alta aleación con especial contenido alto de Cobalto.

Los **aceros inoxidables** se designan mediante códigos especiales indicados a continuación.

Familias de Aceros según la norma: Se especifica un acero típico o base, que es el más representativo de cada grupo. Los otros aceros que pertenecen al mismo grupo, contienen alguna variación en su composición química, realizada para obtener propiedades particulares.

Las letras que aparecen acompañando al código del acero significan:

B: Cantidad de Boro, aumentada con respecto al base.

S: Cantidad extra de azufre.

L: Reducido (“lowered”), se refiere a un contenido menor de Carbono.

Se: Se ha agregado Selenio.

N: El acero lleva Nitrógeno.

F: Se ha agregado Fósforo.

Grupos de Aceros Inoxidables	Acero Base	Características	Series
Austeníticos	AISI 304	No Magnéticos	Serie 200 (2XX): 201, 202 y 203
Â	Â		Serie 300 (3XX): 301, 302, 302B, 303
Â	Â		303Se, 304N, 304L, 305, 308, 309, 309S
Â	Â		310, 310S, 314, 316, 316L, 316N, 317
Â	Â	Â	317L, 321, 330, 347, 348 y 384
Ferríticos	AISI 430	-	405, 409, 429, 430F, 430Se,
Â	Â	Â	434, 436, 442 y 446
Austeno-ferríticos	AISI 329	Conocidos como	Ferríticos de Base intersticial
Â	Â	aceros Duplex	Inoxidables Duplex
Martensíticos	-	-	Serie 400 (4XX): 410, 420, 420F, 414, 416
Â	Â	Â	416Se, 422, 431, 440A, 440B y 440C

CLASIFICACIÓN DEL ACERO

En la actualidad, los aceros se clasifican de diversas maneras, según sea conveniente a quien los utilice. En el presente trabajo se hará una reseña de estas convenciones, enfatizando en la clasificación por su aplicación, que es quizás la más utilizada.

Clasificación por su composición química

Es una clasificación general empleada para dar una idea de las propiedades de los aceros según los elementos que contenga.

- *Aceros al carbono:* son aquellos aceros que contienen menos del 3% en elementos diferentes al hierro o carbono.
- *Aceros de alto carbono:* contiene más de 0,5% de carbono.
- *Aceros de bajo carbono:* contiene menos de 0.3% de carbono.
- *Aceros de mediano carbono:* contiene entre 0.3 y 0.5% de carbono.
- *Acero de aleación:* acero que contiene otro metal que fue añadido intencionalmente con el fin de mejorar ciertas propiedades del metal.

Clasificación del acero por su contenido de Carbono:

- *Aceros Extrasuaves:* su contenido de carbono varía entre el 0.1 y el 0.2%
- *Aceros suaves:* su contenido de carbono está entre el 0.2 y 0.3%
- *Aceros semisuaves:* su contenido de carbono oscila entre 0.3 y el 0.4%
- *Aceros semiduros:* su carbono está presente entre 0.4 y 0.5%

- Aceros duros: la presencia de carbono varia entre 0.5 y 0.6%
- Aceros extraduros: El contenido de carbono que presentan esta entre el 0.6 y el 0.7 %

Clasificación por normas internacionales

Como ya se ha mencionado, existen diversas normas internacionales que facilitan la identificación y selección.

- AISI - SAE
- DIN
- UNE

Clasificación según las aplicaciones

• Aceros para fundición

Mayoritariamente utilizados para la fabricación de piezas mediante el colado y moldeo, las cuales presentan resistencia mecánica y tenacidad aceptables, con costo relativamente bajo. Entre los principales usos se encuentran la fabricación de carcasas de turbinas de vapor de agua (Pelton, Francis, etc.), Montantes de laminadores, piezas de las industrias ferroviaria, naval, maquinaria agrícola y de equipos de excavación y construcción civil.

Sus composiciones más frecuentes se enumeran a continuación:

Al Bajo Carbono: 0,16% a 0,19% C; 0,5% a 1,5% Mn; 0,35% a 0,7% Si; 0,05% máx. P; 0,06% máx. S.

Generalmente están normalizados, y pueden ser cementados. Su soldabilidad es buena. Si se requiere mejorar la maquinabilidad, pueden contener hasta 0,08% de azufre. Se utilizan en equipos ferroviarios.

Al Medio Carbono: 0,20% a 0,5% C; 0,5% a 1,5% Mn; 0,35% a 0,8% Si; 0,05% máx. P; 0,06% máx. S.

Se suministran normalizados. Pueden ser austenizados y templados. El revenido es alto (650 °C).

Si se requiere mejorar la resistencia mecánica, se aumenta el contenido de manganeso. La maquinabilidad es buena al igual que la soldabilidad.

Se utilizan en maquinaria de movimiento de tierras, en la industria naval, en la industria agrícola, etc.

Al Alto Carbono: %C > 0,5%: 0,5% a 1,5% Mn; 0,35% a 0,7% Si; 0,05% máx. P; 0,05% máx. S.

Se pueden austenizar y templar (en aceite), obteniéndose tras el revenido alta dureza y alta resistencia a la abrasión.

Se utilizan en la fabricación de matrices y de rodillos de laminación.

Al Níquel: 0,15% a 0,6% C; 0,5% a 1,0% Mn; 0,2% a 0,75% Si; 0,5% a 5,0% Ni. Estos aceros presentan alta tenacidad y alta resistencia mecánica, con excelente límite de fatiga a temperatura ambiente, debido a que el níquel se disuelve en la ferrita alfa y la endurece.

Estos aceros se utilizan en la industria naval, siderúrgica y ferroviaria.

Al Manganeso: 0,25% a 0,5% C; 1,0% a 3,0% Mn; 0,25% a 0,7% Si. El manganeso evita la fragilidad en

caliente, causada por los compuestos que tiende a formar el azufre, y también es un elemento endurecedor de la ferrita alfa. Junto con el hierro y el carbono, forma un carburo complejo.

Estos aceros se utilizan en la fabricación de piezas de maquinaria de excavación y construcción de carreteras, las cuales deben presentar alta tenacidad y alta resistencia a la abrasión.

Al Cromo: 0,2% a 0,6% C; 0,5% a 3,5% Cr. Estos aceros evidencian alta resistencia mecánica.

Pueden ser tratados con austenización, temple y revenido, a fin de obtener un afinamiento del tamaño de grano. Con vanadio mejoran la tenacidad, y con molibdeno se logra disminuir la fragilidad.

Se utilizan en la fabricación de piezas que deban resistir corrosión y desgaste.

Al Vanadio: 0,2% a 0,4% C; 0,5% a 1,0% Mn; 0,25% a 0,75% Si; 0,1% a 0,2% V.

Estos aceros se utilizan en condición normalizada o de austenizado, temple y revenido, en la fabricación de piezas de locomotoras, mineras, etc.

Al Níquel-Cromo: 0,3% a 1,0% C; 0,6% a 1,0% Mn; 0,3% a 0,7% Si; 1,0% a 4,0% Ni; 0,5% a 2,0% Cr. Estos aceros son utilizados en condición de temple y revenido para resistir sollicitaciones de fatiga, impacto, desgaste y “altas temperaturas”. Agregándoseles molibdeno, pueden volverse autotemplantes, o sea, que temple al aire, lo cual es beneficioso para piezas de gran tamaño.

Al Manganeso-Níquel: 0,2% a 0,4% C; 1,0% a 1,7% Mn; 0,5% a 2,5% Ni. Estos aceros resisten condiciones de servicio bajo impacto, y son templables al aire.

Al Níquel-Molibdeno: 0,2% a 1,0% C; 0,75% a 1,7% Cr; 0,2% a 0,6% Mo. Son aceros recomendados para temple en aire en piezas de grandes dimensiones y morfología compleja.

Estos aceros pueden ser tratados típicamente mediante recocido de homogenización o normalizado (temperatura aproximada de 900°C por 20 a 25 minutos por mm de espesor), austenizado (885°C) y templado en diferentes medios según el tipo de acero y las condiciones de la pieza. También se aplica revenido (temperaturas entre 425 y 700°C) con tiempos de permanencia largos (aproximadamente 12 horas).

• **Aceros estructurales o de construcción**

Son los aceros más comúnmente fabricados, alcanzando el 80% de la producción mundial. Son utilizados en todo tipo de construcciones civiles: puentes, silos, tanques, depósitos, etc. De ahí que una de sus principales propiedades es la SOLDABILIDAD.

Los aceros estructurales suelen a su vez clasificarse en dos grandes familias:

• Aceros de base:

También conocidos como comunes u ordinarios, se caracterizan de acuerdo con sus propiedades mecánicas y su utilización. Su contenido de carbono oscila entre el 0,15 y 0,40%. Es posible mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la resistencia a la tracción, mediante procesos de deformación en frío, con lo cual se añade cierto grado de acritud.

Se encuentran en esta familia los siguientes aceros:

• Aceros deformados en caliente: utilizados en la construcción civil. Dado que presentan límites de

fluencia entre los 245 a 314 MPa, su capacidad de deformarse antes de la rotura es muy grande.

- Aceros deformados en frío: se encuentran los siguientes:
- Endurecidos por tracción mediante trefilado.
- Endurecidos por torsión
- Endurecidos por compresión
 - ♦ Aceros que han recibido recocido de patentado:
- Trefilados - patentados. Después del patentado se trefilan a la medida deseada.
- Aliviados de tensiones.
- Estabilizados.

- ♦ Aceros de calidad:

A diferencia de los aceros de base, estos han sido microaleados y su fabricación ha seguido procesos especiales para obtener mejores propiedades (como resistencia mecánica, mayor límite de fluencia, resistencia a la corrosión atmosférica y mejor soldabilidad). El uso de estos aceros ha traído grandes ventajas a la industria como la reducción de costos, reducción del peso de estructuras y reducción de la necesidad de tratamientos térmicos y de acabados. Esto sin disminuir propiedades tales como ductilidad, maquinabilidad o soldabilidad.

Este tipo de acero puede subdividirse en tres grupos:

- Acero resistente a la corrosión atmosférica (CORTEN): formados por 0,12% C máx.; de 0,2% a 0,5% de Mn; de 0,07% a 0,15% de P; 0,05% máx. de S; 0,25% a 0,75% de Si; de 0,25% a 0,55% de Cu; 0,65% máx. de Ni; de 0,3% a 1,25% de Cr.

Se utilizan para elementos decorativos. En su superficie se forma una capa de óxido que lo pasiva.

- Aceros para fabricar láminas muy delgadas para estampado o embutición profundo
- De baja aleación y alta resistencia

- ♦ **Aceros para rieles**

Son utilizados en la industria ferroviaria y a nivel interno de otras industrias, sometidos a condiciones de servicio relativamente severas. Su contenido de carbono es alto (arriba del 0,6%) y además contienen manganeso (entre el 0,6 y 1,0%) que mejora su resistencia al desgaste y elimina la fragilidad en caliente.

Las propiedades esperadas en este tipo de acero son: dureza de 300 Brinell, UTS 961,1 MPa, alargamiento del 12% y estricción del 9% así como un límite de fluencia de 583,5 MPa.

Como los extremos de los rieles suelen estar sometidos a golpes de ruedas de trenes, se acostumbra darles temple y revenido, con lo que se obtiene una dureza de 300 a 400 Brinell. Existen casos en que se debe dar un recocido de alivio de tensiones.

- ♦ **Aceros para chapas o láminas**

Son aceros de buenas propiedades mecánicas que operan a bajas cargas. Entre sus características deben destacarse una elevada trabajabilidad que permita un alto conformado, buena soldabilidad, la ausencia de defectos superficiales y un bajo costo. Son del tipo efervescente o calmado, laminados en caliente (láminas gruesas) o en frío (láminas delgadas). Se les debe someter a un recocido normal a temperatura superior a A3, en horno continuo con atmósfera oxidante, que da una coloración azulada.

Los aceros más utilizados dentro de esta denominación son los siguientes:

- **Hierro ARMCO (AMERICAN ROLLING MILLS COMPANY):** Presenta la siguiente composición química: 0,012% C; 0,017% Mn; 0,005% P; 0,025% S; trazas de Silicio.

$\sigma_y = 199 \text{ MPa}$; U.T.S. = 316 MPa; Alargamiento hasta 40%; Extensibilidad desde 65% a 78%; Dureza Brinell entre 82 a 110 unidades.

- **Acero estructural para uso automotriz:** Contiene de 0,15% a 0,20% C; 1,50% Mn; 0,035% máx. P; 0,035% máx. S.

$\sigma_y = 284 \text{ MPa}$; U.T.S. = 402 MPa; Alargamiento entre 28% a 35% (en 50 mm).

Se utilizan en fabricación de chasis, aros, carrocerías, copas o “tapa cubos”

- **Acero para recipiente de transporte de LPG (Liquid Pressure Gas):** También encuentran aplicación en fabricación de las cubas de galvanización en caliente. Su composición y características típicas son: 0,2% máx. C; 0,2% a 0,6% Mn; 0,03% máx. P; 0,035% máx. S.

$\sigma_y = 0,55$ a 0,75 del U.T.S.; U.T.S. = 330 MPa; Alargamiento entre 24% a 34% (en 50 mm).

- **Acero estructural soldable, de alta resistencia:** Se utilizan en la elevación de estructuras en general, puentes edificios, navíos, vagones, implementos agrícolas, recipientes a presión, etc.

Su composición y características típicas son: 0,23% máx. C; 1,50% máx. Mn; 0,05% máx. S; 0,20% máx. Cu.

$\sigma_y = 343 \text{ MPa}$; U.T.S. = 441 MPa; Alargamiento entre 20% a 24% (en 50 mm).

- **Acero para fabricar tubos mediante soldadura longitudinal:** La fabricación de los tubos se realiza a partir de una lámina, que es enrollada según se eje longitudinal (en las calandras o enrolladoras) y posteriormente son soldados los bordes o biseles longitudinales, con un cordón longitudinal (valga la redundancia) de soldadura, con máquinas automáticas.

La composición y características típicas de estos aceros son: 0,21% a 0,30% C; 0,90% a 1,35% Mn; 0,005% máx. S; 0,04% máx. P.

$\sigma_y = 282 \text{ MPa}$; U.T.S. = 393 MPa; Alargamiento entre 22% a 35% (en 50 mm).

Ejemplos de aceros para láminas y chapas según la norma AISI: 4130, 4140, 4142, 4145, 4340, 5140, 5150, 5160, 6150, 8615, 8617, 8620, 8630, 8640, 8645.

♦ *Aceros para tubos*

En la industria se construyen dos tipos de tubo: con y sin costura de soldadura.

Los tubos sin cordón de soldadura son fabricados mediante laminación especial. En su última etapa son estirados para disminuir el espesor de sus paredes, mejorar su resistencia mecánica (acritud), mejorar el acabado superficial y, en los casos necesarios, obtener formas de sección recta diferentes a la circular (tubos rectangulares, etc). De ser necesario pueden ser tratados térmicamente o aplicarseles un recubrimiento superficial (protección contra corrosión y estética).

Los tubos con cordón de soldadura se construyen a partir de láminas enrolladas y soldadas en sus

bordes.

Al Manganeseo	Aleados para tubos	Aleados para tubos de Precisi3n	Para tubos de Estructuras
A - 53	A - 333	A - 178	A - 500
A - 106	A - 714	A - 210	A - 501
A - 139		A - 254	A - 595
A - 381		A - 334	A - 618
A - 524		A - 209	
A - 135		A - 423	
		A - 213	
		A - 405	

♦ Aceros para cables y alambres

Mediante el proceso de trefilado se fabrican cables o alambres, los cuales son piezas metálicas que tienen la cualidad de que una de sus dimensiones es mucho mayor a las otras dos, o sea, su longitud es mucho mayor que área transversal.

El trefilado consiste en construir una pieza metálica recta y larga y hacerla pasar en caliente por una sucesión de dados en los que se reduce su volumen.

Debido a que el trefilado provoca una gran cantidad de acritud en las piezas, se debe dar recocido normal para evitar una acritud excesiva, lo cual provocar a un alto grado de fragilidad en el alambre.

Los aceros AISI utilizados con este fin son 1005, 1006, 1008, 1010, 1012, 1015, 1020, 1022 (bajo carbono); del 1022 al 1041 (mediano carbono).

Estos aceros pueden ser utilizados con o sin algunos de los siguientes tratamientos térmicos:

- ♦ Normalizado (aceros de 0,2% C)
- ♦ Recocido y/o temple (entre 0,2 y 0,5% C)
- ♦ Trefilado y patentado

Estos aceros poseen gran cantidad de aplicaciones industriales tales como la fabricación de clavos y tornillos, alambres para cercas lisos o con púas, varillas para mallas electrosoldadas, alambres para fabricar cables, cuerdas de instrumentos musicales, prensas para papel (clips), argollas de llaveros, etc.

ACEROS GRADO MAQUINARIA

Como su nombre lo indica, son los aceros utilizados para construir elementos de máquinas o equipos. Son aceros calmados de baja aleación austenizados, templados y revenidos que presentan una serie de características especiales, entre las que destacan sus buenas templabilidad, tenacidad y resistencia mecánica, al desgaste y a la corrosión.

Su contenido de carbono varía entre el 0,1 y 1,0% y sus principales elementos de aleación son cromo, níquel, molibdeno, aluminio, vanadio y silicio.

Entre estos tipos de acero surge la siguiente subclasificación, generalmente dada por el tratamiento térmico que reciben los componentes:

- Aceros de fácil mecanizado o automáticos

Son aceros creados para tener buena maquinabilidad para la construcción de piezas con formas adecuadas para el trabajo que, una vez terminadas son tratadas térmicamente para dar las propiedades requeridas por el consumidor.

Estos son aceros normales a los que se les añade azufre en grandes proporciones, el cual fragiliza las virutas y evita la formación de rizos. Sin embargo, la adición de este elemento disminuye la resistencia del acero, por lo que aceros con alto contenido de azufre sólo se utilizan para piezas de baja responsabilidad. Para contrarrestar esta situación se sustituye el azufre por plomo, pero este tiene una temperatura de fusión (260°C) que puede disminuir su UTS y su resistencia a la fatiga a altas temperaturas.

Estos aceros son ampliamente utilizados en la fabricación de bujes, pistones, aparatos domésticos y bombas militares.

Se puede añadir fósforo en cantidades no mayores al 0,12%. También es usual agregar Selenio y Telurio para mejorar la maquinabilidad en aceros de muy bajo contenido de carbono. El plomo puede ser agregado en cantidades entre el 0,15 y el 0,35%, pero debe limitarse su uso a bajas temperaturas.

La dureza es una propiedad que se debe moderar en estos aceros ya que una dureza muy elevada dificulta la maquinabilidad, pero una dureza muy baja provocar que las virutas no se rompan, adheriéndose a las herramientas de corte.

La microestructura también debe ser observada. Según varía la composición del acero, será diferente la morfología más óptima como se indica en la figura 1. El tamaño de grano afecta la maquinabilidad, ya que un tamaño de grano grande mejora la maquinabilidad pero dificulta un buen acabado superficial. Además, si el acero lleva inclusiones no metálicas o elementos blandos su maquinabilidad aumenta.

Figura 1: Microestructura de los aceros automáticos según el contenido de carbono.

Los aceros incluidos en este apartado son AISI 1108, 1109, 1110, 1111, 1112, 1115, 1117, 1118, 1119, 1125, 1132, 1137, 1140, 1141, 1144, 1146, 1151.

- Aceros para bonificado

Son aceros a los que se les da un revenido a alta temperatura (500 a 600°C) para obtener una estructura martensítica. Presentan alta tenacidad y resistencia mecánica. Pueden ser sometidas a altos impactos, esfuerzos y vibraciones. Están constituidos por un porcentaje de carbono que varía entre 0,22 y 0,65% con elementos de aleación como níquel, cromo, manganeso, molibdeno y vanadio.

Sus principales usos son la construcción de ejes, árboles, pistones, bielas, levas y excéntricas entre otros.

Son aceros aptos para diferentes tratamientos térmicos como temple en aire, temple superficial y son el tipo de acero que da mejores resultados al ser nitrurado.

Dentro de este grupo pueden destacarse aceros como el AISI 1040, 3135, 4140, 52100 (para cojinetes de rodamiento), 9255 y el 9840.

- Aceros autotemplantes

Presentan estructura martensítica después de ser templadas en aire. Generalmente usados para fabricación de piezas pequeñas o medianas. Son aceros altamente aleados. La tenacidad y la resistencia mecánica pueden aumentarse dando un revenido a altas temperaturas.

- Aceros para cementación

Poseen un contenido de carbono bajo (0,23% máximo) que se utilizan en la fabricación de ciertas piezas de maquinaria y motores. Como su nombre lo indica son aceros aptos para recibir el tratamiento termoquímico de cementación, tras lo cual se deben austenizar, temprar y revenir a una temperatura no mayor a los 200°C. El resultado son piezas de alta dureza

superficial (aproximadamente HRC 62).

Las piezas sencillas pueden ser templadas en agua o soluciones acuosas, mientras que las formas más complejas es recomendable templarlas en aceite.

Se utilizan aceros AISI 10XX (enfriados en agua), 15XX, 3115, 4118, 4615, 4620, 4720, 5015, 51XX, 6118, 6102, 8115, 86XX, 8720, 8822, 9310, 9420, 94BXX, 2317, 2512, 3316 y 4920.

Se aplican principalmente en elementos mecánicos sometidos a torsión tales como ejes, engranajes, cigales, coronas dentadas, husillos, etc.

- Aceros para nitruración

Son aceros aptos para recibir el tratamiento termoquímico de nitruración, con el que adquieren una dureza superficial muy alta (cerca de 1000 HV en una capa de 0,1 a 0,2 mm, que además les da una excelente resistencia a la fatiga. Esto los hace aptos para la construcción de elementos de máquinas que deban ser sometidas a alto desgaste a temperaturas por debajo de la de nitruración.

La nitruración es un tratamiento que se realiza a temperaturas relativamente bajas (600°C). Posteriormente la pieza queda lista para ser utilizada sin necesidad de dar un tratamiento adicional para aumentar la dureza superficial. Los aceros al carbono pueden ser nitrurados pero los nitruros de hierro son frágiles. Los mejores resultados se dan en aceros con cierto contenido de aluminio.

Los elementos formadores de nitruros son mayoritariamente manganeso, cromo, molibdeno, titanio, circonio, vanadio, silicio, níquel y aluminio, siendo este último el que forma los nitruros más duros, por lo que se recomienda frecuentemente que el acero contenga este elemento hasta en un 1%.

Los aceros más usados para la nitruración son los aceros para bonificado y cementación junto con los AISI 4140, 4340, H11 modificado y H13.

- Aceros para muelles o resortes

Son aceros que presentan alto límite de fluencia y que pueden trabajar sometidos a diferentes esfuerzos como flexión, compresión, tensión o torsión. Debido a que deben soportar cargas muy grandes no pueden presentar defectos de inclusiones, rayaduras, decarburación, marcas de herramientas o rugosidad superficial elevada.

El grado de aleación con elementos como silicio, cromo y vanadio en aceros de mediano carbono (0,42 a 0,64%) eleva el límite elástico y el límite de fluencia.

Son tratados térmicamente mediante austenizado, temple y revenido.

Los aceros comúnmente empleados son los AISI 10XX (que son normalmente deformados en frío) y el AISI 9254. Otros aceros utilizados son 4160 modificado 150 H, 5160 H 51B60 H, 6150H 8660 H, 9260 H y 9850 H.

ACEROS MARENVEJECIBLES O ULTRARRESISTENTES

Son aceros de muy bajo contenido de carbono y alto contenido de níquel (18 a 25%) más un 7% de cobalto y cierto contenido de molibdeno, de estructura martensítica aún en estado recocido, endurecidos por precipitación de compuestos intermetálicos mediante un tratamiento térmico a 480°C.

Las propiedades que se buscan en este acero son una alta carga de rotura, una buena relación fluencia-rotura, tenacidad y resistencia a la fatiga, así como soldabilidad, conformabilidad, maquinabilidad y estabilidad dimensional apropiadas.

Las composiciones más utilizadas contienen entre un 17 y un 19% de níquel; de 7 a 9,5% de cobalto, 3 a 5,2% de molibdeno y pequeñas cantidades de aluminio y titanio. Los contenidos de silicio, manganeso, azufre, carbono, fósforo, oxígeno y nitrógeno deben ser controlados mediante adición de calcio, fusión o refusión al vacío.

Estos aceros poseen buena soldabilidad y excelente maquinabilidad en condición recocida.

Los aceros con contenido de níquel arriba del 20% son menos aleados y no requieren la adición de cobalto y molibdeno

El principal inconveniente que presentan estos materiales es su elevado costo. Son ampliamente utilizados en la industria aeronáutica y en partes de máquinas herramienta para estampado en frío o en caliente.

Aceros criogénicos

Son aceros aptos para el trabajo a temperaturas muy bajas (entre -40 y -259°C) donde los límites de fluencia y rotura, así como la dureza tienden a aumentar, pero se disminuye la tenacidad. Debido a esto, los aceros criogénicos deben tener una temperatura de transición baja (contenidos de níquel en un 9% se utilizan para temperaturas de servicio entre los -180 y -190°C).

Son aceros de bajo contenido de carbono (0,1 a 0,2%). Frecuentemente se utilizan aleados con níquel para disminuir su temperatura de transición.

Son utilizados en recipientes contenedores a presión de gases como el LPG, CO₂, nitrógeno, etc.

Aceros resistentes al desgaste

Aceros de estructura austenítica de alta tenacidad y ductilidad, con excelente capacidad para ser endurecidos superficialmente bajo la acción de los golpes (alcanza durezas de hasta Brinell 500).

La composición química típica contiene un 1 a 1,4% de carbono, 10 a 14% de manganeso, 1% o menos de azufre y menos de un 0,1% de fósforo. En casos de electrodos de soldadura Hadfield se utiliza un 2% de cromo, 3,5% de níquel y 1,0% de molibdeno (como máximos).

Se someten a tratamientos térmicos de temple de solubilización cerca de los 800°C durante una hora por cada 25 mm de espesor y templando en agua. En el proceso la pieza se empobrece superficialmente de carbono, obteniéndose piezas altamente mecanizables para dar las cotas finales. Durante el mecanizado se procede a remover la capa superficial menos resistente.

Son utilizados para la fabricación de agujas y cojinetes de rodamiento, así como elementos sometidos a condiciones de alto desgaste como rieles móviles para cruces ferroviarios. Se incluyen en este apartado los aceros AISI 50100, 51100, 52100 y 52100 modificado con contenido adicional de manganeso.

ACERO GRADO HERRAMIENTAS

En este grupo se incluyen todos los aceros que normalmente se emplean para la fabricación de útiles o herramientas destinados a modificar la forma, tamaño y dimensiones de los materiales por cortadura, por presión o por arranque de viruta.

Los aceros de herramientas tienen generalmente un contenido en carbono superior a 0.30%, aunque a veces también se usan para la fabricación de ciertas herramientas, aceros de bajo contenido en carbono (0.1 a 0.30%).

Características de los Aceros grado Herramienta

Dureza: Fundamentalmente se refiere a la dureza martensítica, razón por la cual, los aceros de herramientas deben tener contenidos altos de carbono. Además deben tener alta templabilidad para que la dureza llegue hasta el centro de la herramienta, lo cual es crítico en herramientas grandes. Por otra parte, la dureza puede ser adicionalmente obtenida mediante dureza secundaria en el revenido. Sin embargo, para estampas, matrices de deformación en caliente o herramientas de percusión la dureza no es la característica más importante.

Resistencia al desgaste: está relacionada con la dureza. Puede ser aumentada notablemente al agregar aleantes tales como el Cromo, Molibdeno, Wolframio y Vanadio, para formar fuertes carburos.

Ductilidad (Tenacidad): esta es una propiedad que es inversamente proporcional a la dureza, es por esto que debe obtenerse un adecuado balance entre ambas mediante una selección de aceros con contenidos de carbono menores, o bien, realizando el revenido a temperaturas más altas.

Resistencia a la Fatiga: Se deben diseñar herramientas que no sean susceptibles a falla por fatiga eliminando (hasta donde sea posible) las zonas concentradoras de tensiones, y dando el oportuno tratamiento mecánico superficial para generar una capa superficial con tensiones de compresión.

Resistencia al choque térmico: Los aceros de herramientas, deben resistir bien el cambio brusco de temperatura. Dichos cambios pueden provocar variaciones volumétricas diferentes en distintas partes de la herramienta que si superan la carga de rotura del material, provocaran fisuras. Este problema, es particularmente grave en aceros herramienta de alta aleación, pues el aumento de elementos de aleación disminuye la conductividad térmica y por tanto aumenta el gradiente térmico y la diferencia de cambio volumétrico entre una parte y otra de la herramienta, generando consecuentemente, grandes tensiones internas lo cual hace aumentar grandemente el riesgo de que se presenten fisuras.

Templabilidad: Para este tipo de aceros esta propiedad debe ser alta, a fin de obtener una estructura martensítica en toda la sección recta de la herramienta, aun cuando esta sea de grandes

dimensiones.

Insensibilidad al agrandamiento del tamaño de grano y al sobrecalentamiento: es de todos conocido que al someter un acero a temperaturas superiores a las críticas se experimenta un agrandamiento del tamaño de grano. Este agrandamiento puede ser progresivo (dependiendo de la temperatura) o bien puede suceder “bruscamente” al estar a cierta temperatura, coincidiendo con la disolución de algún constituyente (carburo o nitruro) que se opone al agrandamiento del grano.

Si el tamaño de grano permanece grande, de forma que no puede ser afinado con tratamientos térmicos sucesivos, se dice que el acero se ha sobrecalentado, y la fragilidad del acero se hace definitiva, volviendo al mismo inservible, con típicas características de resistencia al golpe, maquinabilidad y deformabilidad.

Por otra parte, impurezas o elementos tales como el aluminio, provocan agrandamiento del tamaño de grano y sobrecalentamiento. De lo anterior, entonces, se prefiere que el tamaño de grano sea pequeño para presentar mejores características mecánicas.

En el ensayo de fractura, el acero debe presentar una dureza Rockwell C = 55. y la fractura debe ser intergranular (a lo largo de los límites de grano).

Maquinabilidad: A veces los procesos de fabricación de la herramienta alcanzan costos mucho mayores que el costo propio del material, y por tanto es interesante que esas operaciones sean facilitadas.

La maquinabilidad, por lo general se realiza en estado recocido, aunque no siempre se persigue tener la más baja dureza. Pues por ejemplo, la perlita laminar es más mecanizable que la perlita globular, siendo esta última menos dura.

Además, juegan un papel importante la disposición de los carburos, pues cuando después de una laminación están alineados, la maquinabilidad dependerá del sentido en que ésta se realice respecto a la laminación.

Aptitud al corte: La aptitud al corte, condiciona la duración de la herramienta entre dos afiladas consecutivas, y es una propiedad específica de los aceros herramienta.

El filo, puede perderse más o menos rápidamente, en función de la presión que ejerce, por tanto para esta situación, deberá presentar alta dureza (sobre todo en caliente).

Dicha dureza, deberá ser mantenida en frío (si la herramienta es para trabajo en frío) o en caliente (caso de herramientas que trabajan en caliente).

Resistencia mecánica: Estos aceros, deben presentar una alta resistencia a las tensiones, sin mostrar apenas deformación. Igualmente, los valores elásticos y de fluencia deben ser altos.

ACEROS INOXIDABLES

Son fundamentalmente aleaciones de hierro - cromo o hierro - cromo - níquel que presentan una alta resistencia a la corrosión, por lo cual encuentran gran aplicación en la industria química, alimenticia, farmacéutica, ornamental, y en todas las situaciones que requieran de cierta estética.

Tabla 1. Sistema de numeración para identificar a los aceros inoxidable.

Designación de la Serie	Grupos
2XX	Cromo - Níquel - Manganeso
Â	No endurecibles
Â	Austeníticos
Â	No magnéticos
3XX	Cromo - Níquel
Â	No endurecibles
Â	Austeníticos
Â	No magnéticos
4XX	Cromo
Â	Endurecibles
Â	Martensíticos
Â	Magnéticos
4XX	Cromo
Â	No endurecibles
Â	Ferríticos
Â	Magnéticos
5XX	Cromo
Â	Bajo cromo
Â	Resistentes al calor

Dicha resistencia es debida a la presencia de al menos un contenido de Cromo del 12%, el cual confiere al metal una película de óxido (de unos 10 a 100 Å²) que protege al metal de la corrosión, salvo en presencia del ácido clorhídrico (HCl).

Por otra parte, estos aceros son susceptibles de presentar corrosión localizada debida a formación de pozos de ataque, que una vez formados no extienden su efecto sobre la superficie del acero, sino que avanzan hacia el centro de la pieza, y en el peor de los casos atraviesan todo el espesor. Los pozos de ataque son provocados por el Ión Negativo Cloro (Cl-) de soluciones láquidas en las que está presente y su efecto puede llegar a ser más dañino que la corrosión extendida, esto debido a que en los pozos se concentran tensiones y pueden llevar prematuramente a la falla por fatiga de la pieza. Este tipo de corrosión, se puede reducir mediante la adición de molibdeno, al igual que con procesos mecánicos como mejor acabado superficial, tratamiento previo en caliente para aumentar la pasividad en baño de ácido nítrico al 10% - 20%.

Como estos aceros contienen un mínimo de tres elementos, Carbono, Hierro y Cromo, se hace indispensable estudiar los diagramas ternarios (o cuaternarios, si corresponde) para poder conocer los campos de existencia de cada fase. Sin embargo, el estudio puede ser simplificado con el Diagrama de Schneider o de Schaeffler, que sirve para el estado normalizado del acero.

Figura 2. Diagrama de Schneider - Schaeffler.

En la Ordenada, el porcentaje de Níquel (equivalente) que contempla los elementos austenitizantes. En la Abscisa, el porcentaje de Cromo (equivalente) que contempla los elementos ferritizantes.

Tipos de Aceros Inoxidables

Aceros Inoxidables Martensíticos: Estos aceros, debido a su concentración de carbono, permiten la formación de austenita a altas temperaturas, ésta posteriormente se transforma en martensita

durante el enfriamiento. Poseen entre 11.5 y 18% de Cromo.

Los aceros inoxidables martensíticos son magnéticos, pueden trabajarse en frío o en caliente, pueden maquinarse fácilmente, tienen buena tenacidad, gran resistencia a la corrosión atmosférica y a algunos agentes químicos y son endurecibles por tratamiento térmico, presentando cuando están templados una microestructura acicular, es decir, en forma de agujas.

Son normalmente producidos por la industria siderúrgica en estado recocido, con ductilidad razonablemente buena. Solamente después de templados serán muy duros y poco dúctiles. Pero es precisamente en esta condición de temple, que serán resistentes a la corrosión.

El proceso de tratamiento térmico para los aceros martensíticos es esencialmente el mismo que para los aceros simples al carbono o aceros de baja aleación, en los que la máxima dureza y resistencia dependen especialmente del contenido de carbono. La principal diferencia es que el alto contenido de aleación de los grados de acero inoxidable hace que la transformación sea tan lenta y la templabilidad tan alta, que la dureza máxima se produce por enfriamiento en aire. Estos aceros generalmente se endurecen calentándolos por arriba del intervalo de transformación a temperaturas próximas a 1850 °F, y luego enfriándolos en el aire o aceite. El tiempo a la temperatura de tratamiento se mantiene el máximo posible para prevenir la descarburización o el excesivo crecimiento de grano. El revenido de los aceros de este grupo no debe hacerse en el intervalo de 750 a 950 °F, debido a la caída de las propiedades al impacto. El revenido generalmente se hace por arriba de 1100 °F. Las mayores temperaturas de revenido darán lugar a alguna precipitación de carburos, con una subsecuente reducción en la resistencia a la corrosión; sin embargo, con bajo contenido de carbono, la reducción de la resistencia a la corrosión no es demasiado severa.

Entre los aceros inoxidables martensíticos más utilizados están:

Tipo 420: En estado recocido (estructura ferrítica), no presenta buen comportamiento frente a la corrosión atmosférica. Esto porque durante la operación de recocido, a una temperatura aproximada de 760 °C, el carbono y el cromo se combinan para formar carburos de cromo, Cr_2C_6 . Cada molécula de carburo de cromo contiene, en peso, aproximadamente 95% de cromo. Considerando el alto tenor de carbono y el bajo tenor de cromo del acero inoxidable 420 (aproximadamente 0,35% C y 12,50% Cr), como todo el carbono precipita como carburo de cromo durante el recocido, esta precipitación retirará de la solución sólida aproximadamente la mitad del cromo disponible. En esta condición el material no resiste a la corrosión y no puede ser considerado propiamente como un acero inoxidable (ya que no tiene un mínimo de 11% de cromo en solución sólida).

Por eso, el acero inoxidable 420, es colocado en servicio por el usuario, solamente después de un tratamiento de temple. Cuando templado, el carbono forma parte de la fase martensítica, no siendo encontrado en la aleación precipitado como carburo de cromo.

La alta dureza y la consecuente resistencia al desgaste, determinan las aplicaciones de este material, utilizado en cuchillería, discos de freno, equipos quirúrgicos, odontológicos y turbinas.

Si la cantidad elevada de carbono es un inconveniente en el acero inoxidable 420 en estado recocido, una solución lógica es la de disminuir este tenor, lo que se hace en el inoxidable

Tipo 410: Como este material tiene un máximo de 0,15% de carbono, esta cantidad no es suficiente para remover tanto cromo de la solución sólida y, consecuentemente, presenta una buena resistencia a la corrosión atmosférica, tanto en la condición de recocido como de templado.

Después del tratamiento de temple, las durezas alcanzadas por este material no son tan altas como las presentadas por el inoxidable 420. Las principales aplicaciones del inoxidable 410 son en equipos para refinación de petróleo, válvulas, componentes de bombas y cuchillería.

Aumentando la cantidad de azufre se obtiene el inoxidable 420 F, una variedad del 420, con buena maquinabilidad.

Tipo 440: Adiciones de carbono (para obtenerse durezas todavía mayores) y de cromo y molibdeno (mejorando también la resistencia a la corrosión) nos llevan a los aceros inoxidables martensíticos tipo 440, estos son utilizados en cuchillos de corte profesional.

Aceros Inoxidables Ferríticos: Este grupo de aceros inoxidables con sólo cromo contienen aproximadamente de 14 a 27% de cromo. Como estos aceros contienen poco carbono pero generalmente más cromo que los de grado martensítico, no se pueden endurecer por tratamiento térmico, sino sólo moderadamente mediante trabajo en frío. Son magnéticos y pueden trabajarse en frío o en caliente, pero alcanzan su máxima suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión en la condición de recocido. En esta condición, la resistencia de estos aceros es aproximadamente 50% mayor que la de los aceros al carbono. Además, son superiores en resistencia a la corrosión y maquinabilidad a los aceros martensíticos inoxidables. Como los aceros ferríticos pueden formarse fácilmente en frío, se utilizan mucho para profundos estampados de piezas, como recipientes para industrias químicas y alimenticias y para adornos arquitectónicos y automotrices.

Los aceros inoxidables ferríticos generalmente contienen un tenor de cromo superior al de los martensíticos, este aumento en la cantidad de cromo mejora la resistencia a la corrosión en diversos medios, pero sacrifica en parte otras propiedades, como la resistencia al impacto.

El recocido es el único tratamiento térmico aplicado a aceros verdaderamente ferríticos. Este tratamiento sirve sobre todo para eliminar tensiones por soldadura o trabajo en frío. Una forma importante de fragilidad peculiar a los grados ferríticos puede desarrollarse por exposición prolongada al intervalo de temperatura desde unos 750 hasta 950 °F, o a enfriamiento lento dentro del mismo intervalo. La resistencia medida al impacto por la prueba de muescas, es la más adversamente afectada. Aunque no se ha determinado la causa precisa de la fragilidad, sus efectos aumentan rápidamente con el contenido de cromo. Ciertos tratamientos térmicos, como el de enfriamiento en horno para lograr máxima ductilidad, deben controlarse para evitar la fragilización. Los aceros ferríticos generalmente se recuecen a temperaturas superiores a 850 °F fuera del rango de fragilización y a temperaturas inferiores a las que se podría formar la austenita. Cuando se tratan térmicamente por encima de la línea A1 para obtener máxima ductilidad, estos aceros se enfrían con lentitud. No se revienen, debido a la cantidad de martensita formada que es despreciable y a la fragilización en el intervalo de 850 °F.

Entre los aceros inoxidables martensíticos más utilizados están:

Tipo 430: Contiene 16 a 18% de cromo y un máximo de 0,12% de carbono. Entre sus aplicaciones, se puede mencionar: cubiertos, vajillas, cocinas, piletas, monedas, revestimientos, mostradores frigoríficos.

Uno de los mayores problemas del inoxidable 430 es la pérdida de ductilidad en las regiones soldadas, que normalmente son frágiles y de menor resistencia a la corrosión. El elevado crecimiento del tamaño de grano, la formación parcial de martensita y la precipitación de Carbónitruros de cromo, son las principales causas generadoras de este problema.

Para enfrentar este inconveniente se adicionan titanio o niobio (en algunos casos ambos) como estabilizadores del carbono.

Tipos 409, 430Ti y 430Nb: Son muy utilizados principalmente en silenciadores y escapes de automóviles.

Tipo 405: Utiliza aluminio como estabilizador de Ferrita, el aluminio esta presente entre 0.1 y 0.3%. Es muy utilizado en la fabricación de estructuras que no podrán ser recocidas después de la operación de soldado.

Tipo 430F: Se le mejora la maquinabilidad aumentando el tenor de azufre.

Tipo 434: Se les adiciona molibdeno para mejorar su resistencia a la corrosión.

Tipo 446: Se les aumenta el tenor de cromo para obtener un inoxidable ferrítico de gran resistencia a la corrosión.

Aunque los inoxidables ferríticos presentan una buena resistencia a la corrosión, algunas características limitan la utilización de los mismos en determinadas aplicaciones. La estampabilidad es buena, aunque insuficiente en aplicaciones que requieren estampado profundo. La soldabilidad es apenas discreta por los problemas ya mencionados.

Una gran mejora en muchas propiedades es conseguida con la introducción de níquel como elemento de aleación. Con determinados tenores de níquel es posible conseguir un cambio de la estructura ferrítica hacia austenítica

Aceros Inoxidables Austeníticos: Estos son los aceros inoxidables al cromo - níquel (tipo 3XX) y al cromo - níquel - manganeso (tipo 2XX), que resultan austeníticos. Los aceros inoxidables austeníticos no son magnéticos y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Son muy dúctiles y presentan excelente soldabilidad.

El contenido total de níquel y cromo es de por lo menos 23%. Se pueden trabajar fácilmente en caliente o en frío cuando se toman precauciones adecuadas para que en forma rápida endurezcan por trabajo. El trabajo en frío les desarrolla una amplia variedad de propiedades mecánicas y, en esta condición, el acero puede llegar a ser ligeramente magnético. Son muy resistentes al impacto y difíciles de maquinar, a menos que contengan azufre selenio (tipos 303 y 303Se). Estos aceros tienen la mejor resistencia a altas temperaturas y resistencia a la formación de escamas de los aceros inoxidables. Su resistencia a la corrosión suele ser mejor que la de los aceros martensíticos o ferríticos.

El inoxidable austenítico más popular es el Tipo 304, que contiene básicamente 18% de cromo y 8% de níquel, con un tenor de carbono limitado a un máximo de 0,08%. Tiene gran aplicación en las industrias químicas, farmacéuticas, de alcohol, aeronáutica, naval, uso en arquitectura, alimenticia, y de transporte. Es también utilizado en cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos de ascensores y en un sin número de aplicaciones.

En determinados medios, especialmente en aquellos que contienen iones cloruro, el inoxidable 304 muestra propensión a una forma de corrosión llamada corrosión por picado. Es un tipo de corrosión extraordinariamente localizada, en la cual en determinados puntos de la superficie del material, el medio agresivo consigue quebrar la película pasiva para después progresar en profundidad. El crecimiento de los picados se da en un proceso autocatalítico y aunque la pérdida de masa pueda ser a veces insignificante, esta forma de corrosión es muy insidiosa, ya que

muchas veces un picado es suficiente para dejar un equipo fuera de servicio.

La corrosión por rendijas, puede ser considerada como una corrosión por picado artificial. El aspecto es frecuentemente semejante al de la corrosión por picado y el proceso de crecimiento es también autocatalítico. Pero, la existencia de una rendija es necesaria para la ocurrencia del fenómeno, lo que no sucede en la corrosión por picado. Los mismos medios capaces de provocar la corrosión por picado, promueven la corrosión por rendijas en los aceros inoxidable.

El molibdeno es introducido como elemento de aleación en los aceros inoxidable precisamente para disminuir la susceptibilidad a estas formas de corrosión. La presencia de molibdeno permite la formación de una capa pasiva más resistente y en casos en que el inoxidable 304 no resiste a la acción de determinados medios, corroyendo por picado o por rendijas, los inoxidable 316 y 317 constituyen una excelente solución. Son aceros con gran utilización en las industrias químicas, de alcohol, petroquímica, de papel y celulosa, en la industria petrolífera, industrias textiles y farmacéutica.

Cuando están sometidos por algún tiempo a las temperaturas entre 450 y 850 °C, los aceros inoxidable austeníticos están sujetos a la precipitación de carburos de cromo en sus contornos de granos, lo que los torna sensibilizados. Esta precipitación abundante de carburos, la sensibilización, resulta en la disminución del tenor de cromo en las regiones vecinas a los bordes, regiones que tienen así su resistencia a la corrosión drásticamente comprometida, tornando el material susceptible a la corrosión intergranular en ciertos medios. Las zonas típicamente afectadas por operaciones de soldado son particularmente sensibles a esta forma de corrosión, ya que durante el ciclo térmico de soldado parte del material es mantenido en la faja crítica de temperaturas. La consideración de este fenómeno llevó al desarrollo de los inoxidable austeníticos extra bajo carbono, 304L, 316L y 317L, en los cuales el tenor de carbono es controlado en un máximo de 0,03%, quedando así extremadamente reducida la posibilidad de sensibilización.

La utilización de estabilizadores tiene también la finalidad de evitar el problema de la sensibilización. El titanio, adicionado como elemento de aleación, inhibe la formación de carburo de cromo debido al hecho de tener una afinidad mayor por el carbono que aquella que tiene el cromo. Así, se precipita carburo de titanio y el cromo permanece en solución sólida. Con la misma finalidad puede ser utilizado el niobio.

Tanto el titanio como el niobio son estabilizadores del carbono y los aceros inoxidable así obtenidos, el 321 y el 347 son conocidos como aceros inoxidable estabilizados. El inoxidable 316 Ti es la versión estabilizada del tipo 316. Para aplicaciones en equipos que operan entre 400 y 900 °C, los aceros inoxidable estabilizados son los más recomendados, ya que conservan mejores propiedades mecánicas en esas temperaturas que los aceros de extra bajo carbono; notoriamente la resistencia al creep.

En el inoxidable 904 L (20Cr-25Ni-4,5Mo-1,5Cu), la adición de elementos de aleación busca mejorar no sólo la resistencia al picado sino también la resistencia a la corrosión en medios ácidos reductores. El elevado tenor de niquel mejora también el comportamiento frente a la corrosión bajo tensión.

En los casos en que se pretende una buena resistencia mecánica y no existe gran preocupación por la corrosión intergranular, los aceros inoxidable 304H y 316H, con tenores de carbono en el rango de 0,04/0,10%, son recomendados. La precipitación de una fina red de carburos de cromo, tan perjudicial bajo el punto de vista de la corrosión, se torna benéfica cuando lo que interesa son las propiedades mecánicas.

Aumentos considerables en los tenores de cromo y níquel permiten elevar la temperatura de formación de cascarilla (escamado) de los aceros inoxidables austeníticos. El inoxidable 304 es recomendado para trabajo al aire libre, a temperaturas inferiores a 925 °C en servicios continuos. En las mismas condiciones, el inoxidable 310, con cromo 24/26% y níquel 19/22%, resiste temperaturas de hasta 1150 °C. Es un material clasificado como acero inoxidable refractario.

Grandes aumentos de níquel, llevan a las aleaciones Ni-Cr-Fe, donde el elemento con mayor presencia en el material ya no es el hierro sino el níquel. Estos materiales no son conocidos como aceros inoxidables sino como aleaciones a base de níquel y presentan excelente resistencia a la corrosión en diversos medios a altas temperaturas. El elevado tenor de níquel da también garantía de una buena resistencia a la corrosión bajo tensión.

El inoxidable 304 es un material con excelente ductilidad. Para casos de estampado extra profundo, un aumento en el tenor de níquel permite mejorar todavía más la ductilidad. Con esta finalidad fue desarrollado el Tipo 305.

Ligeras reducciones en el tenor de níquel disminuyen la estabilidad de la austenita, permitiendo la aparición de martensita inducida por deformación en frío, consiguiéndose así excelentes propiedades para aplicaciones estructurales. Es el Tipo 301, disponible en las versiones 1/4, 1/2, 3/4 y totalmente duro y con gran utilización en las industrias ferroviarias, de trenes metropolitanos y de carrocerías de autobuses.

El Tipo 303 resulta del aumento del tenor de azufre en el 304 con la finalidad de mejorar la maquinabilidad. La ductilidad y la resistencia a la corrosión quedan comprometidas por este aumento en la cantidad de azufre.

Los aceros de la serie 200, resultan de una sustitución parcial de níquel por manganeso. Son utilizados en aplicaciones estructurales, presentando resistencia a la corrosión inferior al 301.

Aplicaciones de los Aceros Inoxidables

Tipo de acero inoxidable	Aplicación
Austenítico (resistente a la corrosión)	equipos para industria química y petroquímica
	equipos para industria alimenticia y farmacéutica
	construcción civil
	vajillas y utensilios domésticos
	Ferrítico (resistente a la corrosión, más barato)
	Electrodomésticos (cocinas, heladeras, etc.)
	mostradores frigoríficos
	monedas
	industria automovilística
	cubiertos
Martensítico (dureza elevada)	cuchillería
	instrumentos quirúrgicos como bisturí y pinzas
	cuchillos de corte

ACEROS PARA FINES ELÁSTICOS Y MAGNÉTICOS

En estos aceros las características a tomar en cuenta son las electromagnéticas, las mecánicas no son tan importantes. Ahora, a nivel de repaso recordemos que cualquier material puede ser clasificado como:

- ◆ **Diamagnético:** materiales que son repelidos por un imán o un campo magnético.
- ◆ **Paramagnético:** son los materiales que al ser sometidos a un campo magnético se alinean respecto a él, pero si este campo es removido el material vuelve a su estado normal.
- ◆ **Ferromagnético:** son materiales que son atraídos por un campo magnético fuertemente.

Para efectos prácticos los materiales Diamagnéticos y Paramagnéticos, se consideran como no magnéticos.

El efecto ferromagnético se ha observado solamente en cuatro elementos, estos son: el Hierro (Fe), el Cobalto (Co), el Níquel (Ni) y el Gadolinio (Gd).

Efecto Ferromagnético: El ferromagnetismo es un fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de un material, en la misma dirección y sentido. Se dice que un sólido es un material ferromagnético cuando ésta interacción produce que todos los momentos se orienten por todo el sólido.

En el caso de los imanes, estos están divididos en dominios magnéticos, separados por superficies conocidas como paredes de Bloch. En cada uno de estos dominios, todos los momentos magnéticos están alineados. En las fronteras entre dominios hay cierta energía potencial, pero la formación de dominios está compensada por la ganancia en entropía.

Al someter un material ferromagnético a un campo magnético intenso, los dominios tienden a alinearse con éste, de forma que aquellos dominios en los que los dipolos están orientados con el mismo sentido y dirección que el campo magnético inductor aumentan su tamaño. Este aumento de tamaño se explica por las características de las paredes de Bloch, que avanzan en dirección a los dominios cuya dirección de los dipolos no coincide; dando lugar a un monodominio. Al eliminar el campo, el dominio permanece durante cierto tiempo.

Anisotropía de los materiales magnéticos

Los materiales presentan mayor o menor tendencia a magnetizarse según ciertas direcciones cristalográficas, así en el hierro son las {100} y en el níquel las {111}. Sin embargo, aleaciones de Fe-Si no manifiestan direcciones preferenciales.

Por otra parte, ciertos metales que presentan acritud al recibir el recocido de recristalización, desarrollan nuevos granos que tienen diferentes direcciones cristalográficas preferenciales.

Influencia de la temperatura

Al aumentar la temperatura, la agitación térmica anula el efecto ferromagnético, de modo que el material se torna no magnético. A la temperatura en que sucede este cambio de propiedades magnéticas, se le denomina Punto de Curie, que para el hierro es de 769 °C, y para la cementita de 210 °C, aproximadamente, según autores.

Magnetostricción

Se ha observado que los metales Ferromagnéticos, varían sus dimensiones al estar bajo la influencia de un campo magnético. Este fenómeno recibe los siguientes nombres:

Efecto Joule: Al variar la longitud de la pieza que está sometida a campos magnéticos transversales.

Efecto Barret: Al variar las dimensiones volumétricas.

Efecto Wiedemann: Cuando los campos magnéticos radiales provocan variaciones dimensionales que conllevan movimientos de torsión.

Aleaciones para la Industria Eléctrica

- ♦ Materiales de alta permeabilidad magnética y baja fuerza coercitiva, que son conocidos como materiales magnéticamente blandos. La fuerza coercitiva es el valor del campo desmagnetizante que anula la desmagnetización residual o remanente.
- ♦ Materiales de alta fuerza coercitiva, que son magnéticamente duros o para imanes permanentes en los que el valor de la permeabilidad magnética no es tan importante.

Las designaciones de blando o duro no se refieren a las características mecánicas, sino a su resistencia a ser desmagnetizados.

• Materiales magnéticamente blandos

Aleaciones de hierro: Generalmente aceros dulces o de bajo contenido de carbono.

Hierro Puro: Es muy caro y, por tanto, no se utiliza.

Aleación con Ni - Co: Es también muy cara, razón por la cual tampoco se utiliza.

Aleaciones Hierro - Silicio: son las más utilizadas en la industria eléctrica.

Uno de los aceros más importantes de este grupo es el Hipersil con 3.25% Si, que se utiliza en la fabricación de motores eléctricos fraccionarios, de funcionamiento intermitente, motores y generadores de alta calidad, transformadores, relés y reactancias; transformadores de alta eficiencia para redes de distribución, máquinas eléctricas de alta eficiencia.

Aleaciones Hierro - Níquel: con los siguientes aceros importantes, como el Hipernik y el Permalloy, con 50% y 78% de níquel, respectivamente. Se utilizan en circuitos de telefonía, instrumentos eléctricos, transmisores y receptores de radiofonia.

Aleaciones Hierro - Cobalto: con el acero hiperco (35% co) y el permendur (50% co). Se aplican en los mismos equipos que las aleaciones de hierro - níquel, pero por tener menor densidad, permiten disminuir el peso del equipo eléctrico hasta en un 20%.

Materiales con permeabilidad magnética constante: Son utilizados en equipo telefónico y radiofónico. Básicamente son aleaciones de hierro - níquel, teniendo las siguientes:

- ♦ **Conpernik:** 40% a 60% de Ni.
- ♦ **Perminvar:** 30% Fe, 45% Ni, 25% Co.
- ♦ **Isoperm:** además del hierro y níquel, presenta 3% a 4% de aluminio, 10% a 15% de cobre.
- ♦ Materiales magnéticos sinterizados, de polos magnéticos aglomerados con materiales

aislantes, empleados en servicios de alta frecuencia, utilizados en núcleos de aparatos telefónicos y de radio frecuencia.

• **Materiales Magnéticamente Duros**

Pueden estar formados por alguno de los siguientes materiales:

Aceros Martensíticos: con 1% de carbono, con estructura martensítica, son los que mejores propiedades magnéticas presentan. Pueden contener de 5% a 6% de wolframio, o éste puede ser sustituido por cromo (5%). Si contienen cobalto, se mejoran las características magnéticas, como por ejemplo el acero de 0.9% c; 4% w; 2% cr; 35% co.

Aleaciones endurecibles por Precipitación: como la de hierro con 28% de wolframio, en la cual precipita el Fe_3W_2 , después de haber recibido el tratamiento térmico de solubilización, con posterior austenizado, temple y envejecido a 760 °C.

Otras aleaciones utilizadas son: por ejemplo, la Alnicos, que contiene hierro, aluminio, níquel, cobalto y otros elementos. Estas aleaciones se solubilizan a una temperatura de 1.200,00 °C, se templean y posteriormente se envejecen a 650 °C, y presentan elevada dureza, alta fragilidad y dificultad (obviamente) de ser mecanizadas, por lo cual son fabricadas mediante colada o por el sinterizado de polvos metálicos.

Aceros Sinterizados

Se utiliza la técnica de la metalurgia de los polvos metálicos o pulvimetalurgia, desde hace unos años, para fabricar piezas en serie, con dimensiones de estrechas tolerancias y con propiedades mecánicas similares a la de las piezas fabricadas mediante los procesos normales metalúrgicos.

Proceso:

- ♦ **Selección de la materia prima:** Se fabrica, básicamente, polvo de hierro, que puede ser Reducido, Atomizado o Electroítico.
- ♦ **Compresión del polvo metálico:** Se comprimen los diferentes polvos de materiales, dentro de un molde, que le dará las dimensiones a la pieza que se está fabricando.
- ♦ La presión aplicada es del orden de 98.07 MPa a 980.7 MPa, a temperatura ambiente.
- ♦ **Sinterizado:** Obtenida la pieza comprimida, se lleva a una temperatura de 0.6 a 0.75 de la temperatura de fusión del metal, es decir cerca de los 1200 °C para los aceros, en una atmósfera protegida.
- ♦ **Recompresión:** Tras la sinterización, se somete nuevamente a la pieza a una compresión en moldes que le den las medidas y tolerancias finales y características mecánicas.
- ♦ **Acabado:** Tras la Recompresión, las piezas pasan a los procesos de tratamientos térmicos, operaciones de mecanizado y acabado o tratamiento superficial.

En los acabados o tratamientos superficiales, se somete a la pieza sinterizada a procesos de cromación o fosfatación, etc, los cuales persiguen dar resistencia al desgaste o a la corrosión.

Hoy día, se está dando mucha atención a los forjados sinterizados, sobre toda para la industria automovilística.

Estas piezas se fabrican mediante compresión, sinterizado y forja, con lo cual se ha logrado reducir el costo de fabricación.

Tipos de aleaciones que se utilizan

Según la *Metal Powder Industries Federation* (M. P. I. F.) se tienen las siguientes aleaciones:

Metal Powder Industries Federation

M. P. I. F.	Aplicaciones
F-0000-N	Engranajes, piezas magnéticas, bujes autolubricados, pequeñas levas.
F-0005-N	Engranajes y levas sometidos a esfuerzos mayores.
F-0008-N	Engranajes y levas sometidos a esfuerzos mayores.
FC-0200-P	Componentes Mecánicos.
FC-0205-P	Componentes Mecánicos y bujes.
FC-0208-N	Componentes Mecánicos y bujes.
FC-0508-N	Engranajes, levas, soportes, bajo sollicitaciones de cargas medias.
FC-0808-N	Componentes mecánicos.
FC-1000-N	Componentes mecánicos.
FX-1005-T	Componentes mecánicos especiales.
FX-1008-T	Componentes mecánicos especiales.
Inoxidable 303	-----
Inoxidable 316	Engranajes, levas, sometidos a ambiente marino y Ácidos industriales.
Inoxidable 410	Engranajes, levas, sometidos a ambiente marino y Ácidos industriales.