
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



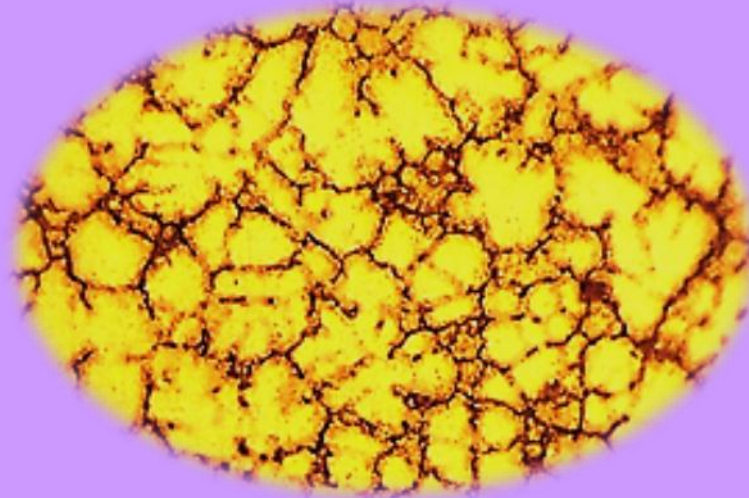
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LECTURAS DE INGENIERÍA 24

OTRAS ALEACIONES



Recopiló:

M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

CUAUTITLÁN IZCALLI 2016

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
---------------------------	---

CAPITULO 1 ACEROS MARAGING

1.1. INTRODUCCIÓN	2
1.2. PRINCIPIOS.....	2
1.3. METALURGIA FÍSICA	4
1.4. ENDURECIMIENTO POR ENVEJECIMIENTO	5
1.6. PROPIEDADES MECÁNICAS	7
1.7. APLICACIONES	8
1.8. CONCLUSIONES	9

CAPITULO 2 ACEROS HADFIELD	10
---	----

CAPITULO 3. ACEROS MICROALEADOS O HSLA

3.1. CLASIFICACIÓN	16
3.2. GRADOS SAE	18
3.3. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	19

CAPITULO 4 ACEROS ESPECIALES SSAB

4.1. ACERCA DE SSAB	21
4.2. ACERO SSAB	22

CAPÍTULO 5 ACEROS PARA HERRAMIENTA SINTERIZADOS, PROPIEDADES MECÁNICAS Y APLICACIONES

5.1 ACEROS PARA HERRAMIENTA SINTERIZADOS	33
5.2 PROPIEDADES DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS SINTERIZADOS	36

5.3 APLICACIONES DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTA SINTERIZADOS	46
--	----

CAPITULO 6 ACEROS AL SILICIO

6.1. METALURGIA	50
6.2. ORIENTACIÓN DEL GRANO	51
6.3. REVESTIMIENTO	52
6.4. PROPIEDADES MAGNÉTICAS	52
6.5. ACERO AMORFO	53

CAPITULO 7 MEEHANITE.....,,,,,	54
---	-----------

CAPITULO 8 ALEACIONES DE COBRE

8.1. COBRE COMERCIALMENTE PURO	62
8.2. ALEACIONES DE COBRE	63
8.3. BRONCES	65
8.4. LATONES	69
8.5. ALEACIONES COBRE – NÍQUEL	75
8.6. ALPACA O PLATA ALEMANA	78

CAPITULO 9 ALEACIONES DE ALUMINIO.....	81
---	-----------

CAPITULO 10 ALEACIONES DE MAGNESIO.	88
---	-----------

CAPITULO 10 ALEACIONES DE MAGNESIO.	88
---	-----------

CAPITULO 11

ZAMAK

11.1. ACABADOS SUPERFICIALES	94
------------------------------------	----

CAPITULO 12

ALEACIÓN BABBIT	97
------------------------------	----

CAPITULO 13

ZINALCO

13.1. PROPIEDADES DE LA ALEACIÓN ZN-22AL-2CU (% EN PESO)	102
--	-----

13.2. METALURGIA DE LA ALEACIÓN ZN-22AL-2CU (% EN PESO)	103
---	-----

CAPITULO 14

PEWTER

.....	107
-------	-----

BIBLIOGRAFÍA	108
---------------------------	-----

INTRODUCCIÓN

El Ingeniero de hoy no debe ni puede utilizar los materiales empíricamente; requiere un conocimiento de ellos que además de enseñarle “¿cómo?” debe utilizarlos, le permita saber el “¿por qué?”. Sin “ello”, no sólo no podría nunca realizar una obra técnicamente perfecta, ya que no habría de lograr más que casualmente aprovechar el máximo rendimiento de los materiales, sino que se expone a graves fracasos.

La complejidad extraordinaria de aplicaciones a las que se someten los materiales y los reducidos coeficientes de seguridad que la ligereza y economía de la obra imponen, junto con la enorme gama de aleaciones existentes, imposibilitan una utilización empírica y sólo el conocimiento científico de los materiales nos otorga una orientación para lograr la utilización racional.

El Ingeniero debe saber, ante todo, elegir un material adecuado para la obra a realizar, lo que le exige el conocimiento de las propiedades después de adquirir el material, para lo cual debe saber imponerle condiciones y saber comprobar si las cumple, con el fin de seleccionar las buenas de las malas calidades. Después, tiene que manipular aquellos metales, dándoles los tratamientos mecánicos y térmicos que sean más convenientes a los mismos y a las condiciones de trabajo que se les exigen. Finalmente, debe controlar su utilización para que los elementos fabricados se conserven con eficiencia el mayor tiempo posible. Difícil sería esta labor sin otros fundamentos que los conocimientos empíricos de manuales o catálogos.

En esta lectura se presentan algunas aleaciones que quizá no sean tan comunes, pero que juegan un papel muy importante dentro de la industria moderna, como son las aleaciones de aluminio, de cobre y aceros para herramienta sinterizados.

Como siempre, cualquier sugerencia o corrección será bien recibida.

ATTE.

Prof. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

CAPITULO 1

ACEROS MARAGING

(Ing. Alexander Saavedra Mambuscay)

1.1. INTRODUCCIÓN

Los aceros Maraging se desarrollaron inicialmente en 1960 y se sigue avanzando en la tecnología de este tipo de acero especial con alto contenido de níquel. Es una innovación de gran valor, designada con este nombre en USA en los laboratorios de la Internacional Nickel Company.

El debate de una aleación apta para un endurecimiento por envejecimiento de la martensita le dio lugar a la apelación **§MARTensitic-AGING§**, esto quiere decir Maraging. En estas composiciones se forma martensita al enfriarlas desde la temperatura de austenitización pero la martensita formada en ellas es, a diferencia de la martensita presente en los aceros de aleación AISI, es dúctil y tenaz. La ductilidad y tenacidad de esta martensita es el resultado de su bajo contenido de carbono que es inferior a 0.03%.

Los aceros de esta clase pueden trabajarse en frío, en el estado martensítico y se les puede endurecer por precipitación a temperaturas inferiores a la temperatura de austenitización, por ejemplo, 482.2 °C. Se supone que el endurecimiento resulta de la precipitación de compuestos como Ni_3Mo y Ni_3Ti . Los aceros Maraging que se endurecen ofrecen resistencias a la cesión hasta de 21098 kg/cm^2 (300000 psi) y resistencias de impacto Charpy de muesca V, bastante 1.383 kg m (10 lb ft). La resistencia al impacto de aceros Maraging cuya resistencia de fluencia es de 14065 kg/cm^2 (200000 psi) se encuentra en la escala de 6.915 a 8.298 kg m (50-60 lb ft). Este metal especial es fabricado ahora en muchas acerías y toma un lugar de gran importancia en las industrias, estos aceros son especialmente útiles en la manufactura de estructuras grandes con exigencias de resistencias críticas, tales como envolturas para vehículos espaciales, largueros para superficies hidrodinámicos y pistones para prensas de extrusión.

1.2. PRINCIPIOS

En comienzo, los aceros Maraging tuvieron en su aleación Fe-Ni ricos en una proporción de 20-25% de Ni, en menor Ti, Nb y un poco de aluminio. Continuando con las investigaciones, los

creadores tuvieron prácticamente abandonado esos matices, por tener un fuerte contenido de Ni y adoptaron una base de 18% de Ni, con modificaciones en los contenidos de otros elementos de adición; hasta un punto de tres matices principales de acero Maraging. En la elaboración de éstos aceros el contenido de carbono es siempre lo más bajo posible ($< 0.03\%$) y está en muy bajas concentraciones tal es así que se considera como una impureza, las reacciones con el titanio y el molibdeno producen compuestos intermetálicos que afectan las propiedades mecánicas por un endurecimiento de envejecimiento. El Co y el Mo asociados son elementos favorables, que mejoran la resistencia de éste acero. El titanio mejora también la resistencia, pero su tendencia a la segregación obliga a limitarlo a un contenido de 0.50-0.70%. Contenidos en silicio y manganeso inferiores cada uno a 0.12%, la suma de los dos no debe pasar el 0.20% para salvaguardar la resiliencia. El aluminio no es introducido como desoxidante por la poca resistencia, la dosis no debe pasar del 0.1%. La composición de los aceros Maraging esta determinada en la tabla 1.1:

Tabla 1.1. Composición de los aceros maraging.

Composición (a) %					
<i>Tipo</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Co</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>
18 Ni 200	18	3.3	8.5	0.2	0.1
18 Ni 250	18	5.0	7.75	0.4	0.1
18 Ni 300	18	5.0	9.0	0.65	0.1
18 Ni 350	18	4.2(b)	12.5	1.6(b)	0.1
18 Ni (Fund)	17	4.6	10.0	0.3	0.1

(a) Para todos los tipos el contenido de carbono no sobrepasa el 0.03%.

(b) Algunos productos usan una combinación de 4.8%Mo y 1.4% ti, nominal.

El principio se basa en una aleación y no el de un acero, porque el contenido de carbono es prácticamente inexistente. Sus elementos constitutivos son: Fe, Ni, Co, Mo, Ti.

1.3. METALURGIA FÍSICA

En el diagrama metaestable Fe-Ni, se muestra la transformación de austenita a martensita en el enfriamiento y el cambio de martensita a austenita en el calentamiento; al igual se muestra en el diagrama de equilibrio, figura 1.1, que el alto contenido de Ni las fases de equilibrio a baja temperatura son de austenita y ferrita.

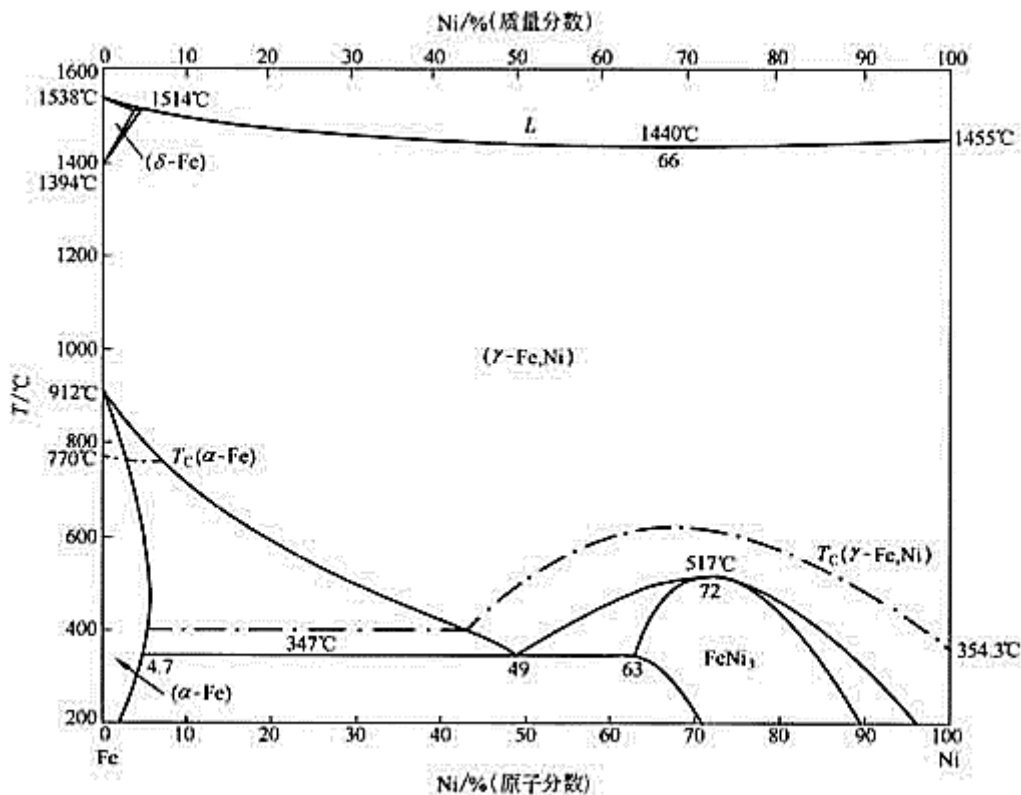


Figura 1.1. Diagrama de fases Fe-Ni.

En el diagrama metaestable, no ocurre transformación de fase hasta Ms (temperatura donde se alcanza la transformación martensítica). En equilibrio el enfriamiento es muy lento y produce secciones duras solamente de martensita, sin problemas de baja templabilidad, propia de las

secciones de mayor tamaño. El resto de los componentes de la aleación en el acero hacen que se modifique la temperatura de M_s significativa para éstos, pero las características son independientes de la velocidad de enfriamiento. Para la mayoría de los tipos de acero Maraging, M_s está en el orden de 200-300 °C y el acero es completamente martensítico a esta temperatura.

1.4. ENDURECIMIENTO POR ENVEJECIMIENTO

Es producido por tratamiento térmico severo a una temperatura típica del orden de 480 °C. Durante esta etapa el diagrama de fase del equilibrio llega a ser importante. Este comportamiento a 480 °C, la estructura tiende hacia la fase del equilibrio, primordialmente la ferrita y la austenita. Afortunadamente, las reacciones de precipitación que causan endurecimiento proceden más rápido que las reacciones de reversión que producen austenita y ferrita. Así, muchas sustancias que aumentan en proporción son tomadas antes de la reversión. Con largo tiempo de envejecimiento o más altas temperaturas, se alcanzan la máxima dureza.

Sobreenvejecimiento

El ablandamiento de los aceros Maraging es usualmente el resultado de un sobreenvejecimiento por precipitación de partículas gruesas y a la reversión de la austenita. Gran cantidad de sustancias de austenita en el orden del 50% puede eventualmente ser formada. El acero Maraging normalmente contiene pequeñas o casi poca austenita después del tratamiento normal de calor, pero a veces la austenita es deliberadamente formada. Por ejemplo: si el acero Maraging va a hacer uso en una aplicación como el moldeo a presión del aluminio y el acero está sobreenvejecido el material entonces será ligeramente ablandado de ante mano.

Esto reduce a un mínimo su servicio y resulta una superficie de acero tensionado. El extremo sobreenvejecimiento también ha sido utilizado como un tratamiento intermedio para mejorar la respuesta al trabajo en frío del metal o para minimizar los efectos de los gradientes térmicos durante el trabajo en caliente y posterior almacenamiento de secciones fuertes o duras. El hiperenvejecimiento del acero Maraging muestra resistencia a la fractura y el agrietamiento por corrosión del acero ante una carga. Desafortunadamente estos presentan consideraciones en las variables de tratamiento, sin embargo con un tratamiento específico se logran propiedades deseadas de resistencia mecánica. En general, con el esfuerzo causante de deformación, nos

ayuda a mejorar el diseño del acero Maraging; logrando así con la aleación envejecida esfuerzos altos de límite elástico.

1.5. TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico para el acero Maraging es estándar. Aleaciones con alto contenido de titanio son susceptibles a la formación de TiC que se ubican en los límites de grano de la austenita después de un sostenimiento de temperatura que varía en el orden de 900-1100 °C. Estos carburos pueden fragilizar gravemente la aleación cuando seguidamente viene un endurecimiento por envejecimiento, primero dando una baja energía de fractura a lo largo de los límites de grano de la austenita. Prolongando el recocido en un rango de temperatura, podría evitarse para toda la composición.

Tratamiento la solución

En los aceros Maraging la solución está en el recocido (austenitizado), una hora por pulgada de sección de tamaño. Con una atmósfera controlada se pueden minimizar los daños en las superficies. Normalmente Hidrógeno seco o una atmósfera de amoníaco. La velocidad de enfriamiento después del recocido es pequeña para que no afecte cada microestructura o sus propiedades. Esto es esencialmente; sin embargo, el acero debe ser enfriado en un cuarto de temperatura controlada antes del endurecimiento por envejecimiento. Si esto no se hace el acero puede contener austenita no transformada dando lugar a estructuras no esperadas.

Endurecimiento por envejecimiento

Normalmente se hace en un rango de 455-510 °C de tres a doce horas. En tratamientos típicos 480 °C en aceros 18Ni (200), 18 Ni (250) y 18 Ni (300) sostenido de tres a seis horas y en aceros 18 Ni (350) de seis a doce horas, este último tiene un rango de temperatura de 495- 510 °C. Para aplicaciones semejantes como herramientas de fundición, envejecidas a temperatura del orden de 530 °C generalmente. Los cambios en longitud son muy pequeños durante el endurecimiento esto se admite en muchos aceros Maraging hasta el final del maquinado. Cuando se requieren dimensiones exactas, se necesitan aceros cuya fabricación de una concentración buena.

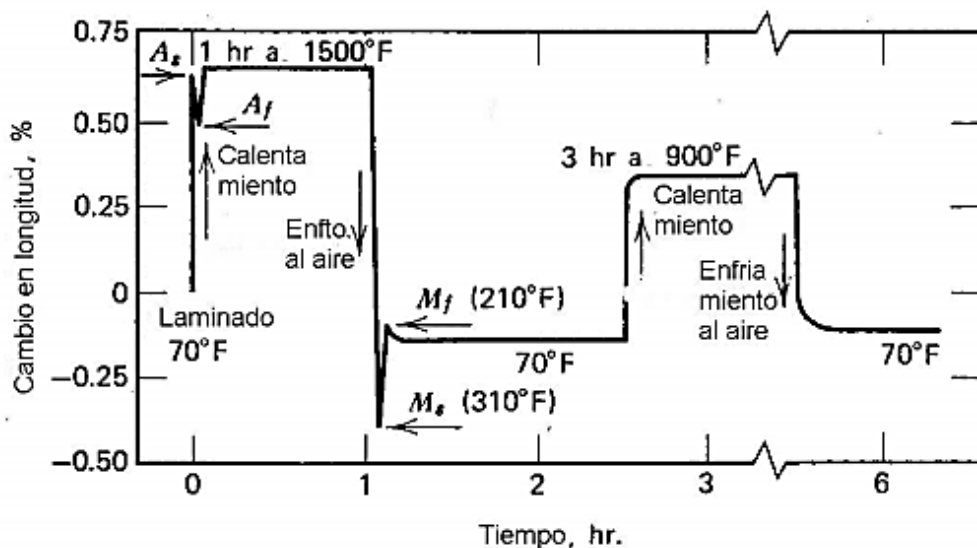


Figura 1.2. Ciclo de tratamiento térmico para el proceso maraging que ilustra también los cambios dimensionales por dilatación. Fuente: Floreen, S., "The Physical Metallurgy of Maraging Steels", Metallurgical Reviews, Vol. 134, 1968, p 115

Limpeza después del tratamiento térmico

Para remover las películas de óxido formadas por el tratamiento térmico la técnica más eficiente es usar ráfagas de gravilla. Los aceros Maraging pueden ser limpiados químicamente por desoxidación en ácido sulfúrico o por desoxidación direccional, primero en ácido clorhídrico y después en ácido Fluorhídrico-Nítrico. En aceros convencionales se debe tener cuidado con la sobreoxidación.

1.6. PROPIEDADES MECÁNICAS

Inicialmente se desarrollaron las aleaciones 200, 250 y 300 y posteriormente la 350. La resistencia se aumenta con mayores adiciones de Co y Ti. En la tabla 1.2 se muestran las propiedades mecánicas de estas aleaciones y en la figura 11 se comparan sus valores de impacto con los de un acero 4340 templado y revenido.

Tabla 1.2. Propiedades mecánicas de algunos aceros Maraging

Aleación	Cedencia, MPa	Resistencia última, MPa	Alargamiento en 1"
200 recocida	807	1000	17
200 tratada	1310 – 1550	1340 – 1590	11 - 15
250 recocida	800	1010	19
250 tratada	1650 – 1830	1690 – 1860	10 - 12
300 recocida	793	1013	17
300 tratada	1790 – 2070	1830 – 2100	7 - 11
350 recocida	---	---	---
350 tratada	2170 - 2410	2280 - 2480	7 - 8

Recientemente se han desarrollado aceros libres de cobalto con propiedades mecánicas similares a los mencionados pero con mayor tenacidad, del orden de $70 \text{ MPa.m}^{1/2}$

1.7. APLICACIONES

Las altas cualidades de diseño en los aceros Maraging los hacen útiles en aplicaciones exigentes como en piezas de misiles y de aviación, cascarones de submarinos de grandes profundidades, matrices de forja y de colada bajo presión, todas las piezas de alta de alta resistencia y de formas complicadas, puesto que las propiedades citadas no se tienen por endurecimiento estructural sino basándose en temperatura y después de la fabricación completa. También se utilizan como envolturas para vehículos espaciales y pistones para prensas de extrusión.



Figura 1.3. Componentes grandes para la industria aeronáutica (Cortesía de Boehler AG, Austria)

NOTAS

Las especificaciones de estos aceros fijan contenidos de azufre y fósforo que no sobrepasan el 0.01%, ya que de lo contrario la ductilidad puede resultar muy disminuida. Científicos han demostrado que la tenacidad y ductilidad máximas en los aceros Maraging Con 18% de Ni se logran cuando los contenidos de azufre y fósforo no sobrepasan el 0.003-0.004%. Investigaciones realizadas por la International Nickel Limited demostraron que 0.005% de Pb en estos aceros reduce la relación resistencia a la tracción con entalla/resistencia a la tracción a 350 °C, mientras que un aumento del contenido de Bismuto en el intervalo 0.001-0.010% tiene un efecto similar progresivo. La soldabilidad de los aceros Maraging empeora si no se mantiene un cuidadoso control de las impurezas.

1.8. CONCLUSIONES

- El carbono de hecho, es una impureza en el acero Maraging y está en muy bajas concentraciones.
- El uso de precipitados intermetálicos para causar el endurecimiento produce características únicas de dureza que se diferencian de los aceros convencionales.
- Lo más interesante de los aceros Maraging es que después de un recocido, seguido de un enfriamiento al aire libre, la estructura se compone de martensita dúctil y tenaz.
- Este acero es especialmente útil en la manufactura de estructuras grandes con exigencias de resistencia crítica.
- Este acero tiene un contenido de Ni que oscila entre 17-20%, con elementos de aleación tales como Co, Mo, Ti. Con un tiempo de envejecimiento y temperatura de tratamiento adecuados, se alcanzará la máxima dureza.

CAPITULO 2

ACEROS HADFIELD

Los aceros austeníticos al Manganeso, también llamados aceros Hadfield por su creador Sir Robert Hadfield, figura 2.1. se caracterizan por su alta tenacidad y ductilidad, además de poseer una alta capacidad de endurecimiento por trabajo y una moderada resistencia al desgaste. Estos aceros son ampliamente utilizados con pequeñas modificaciones en su tratamiento térmico y composición química basada en componentes como carbono, manganeso, cromo, níquel y molibdeno.



Figura 2.1 Robert Hadfield a principios del siglo XX

Entre sus principales usos están la minería, canteras, industria de ferrocarril, movimientos de tierra, perforación etc. La tabla 2.1 presenta 10 calidades incluidas en la norma internacional ASTM.

Tabla 2.1. Aceros al manganeso según normas ASTM

IDENTIFICACION		COMPOSICION QUIMICA							HB Dureza Brinell
Norma	Grado	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	% P	
ASTMA 128	A	1,05 - 1,35	11 min.	1,00 máx				0,07 máx.	180
	B1	0,90 - 1,05	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B2	1,05 - 1,20	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B3	1,12 - 1,28	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B4	1,20 - 1,35	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	200
	C	1,05 - 1,35	11,5 - 14,0	1,00 máx		1,5 - 2,5		0,07 máx	
	D	0,7 - 1,30	11,5 - 14,0	1,00 máx	3,0 - 4,0			0,07 máx	
	E1	0,7 - 1,30	11,5 - 14,0	1,00 máx			0,9 - 1,2	0,07 máx	185
	E2	1,05 - 1,45	11,5 - 14,0	1,00 máx			1,8 - 2,1	0,07 máx	
	F	1,05 - 1,35	6,0 - 8,0	1,00 máx			0,9 - 1,2	0,07 máx	180

Con estas calidades, dependiendo de cada caso, se elige la aleación más adecuada para fabricar los más variados tipos de mandíbulas dentadas, mandíbulas cónicas, barras batidoras de grandes molinos de impactos, rotores, placas de impacto, forros laterales, blindajes, martillos, parrillas, etc.

Los aceros al manganeso son materiales de baja resistencia y alta ductilidad como se puede determinar por medio de un ensayo antes de su puesta en servicio. Su microestructura es principalmente una fase austenítica metaestable, posterior a su tratamiento térmico, figura 2.2.



Figura 2.2. Microestructura acero Hadfield grado A, atacado con picral 4% 100X. Se observan granos de austenita (claro) con carburos precipitados (oscuro) Fuente: [1] G. Aggen *et al.*, *ASM Handbook: Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*. 10th ed. Vol. 1. USA: ASM International Handbook Committee 1993

Los aceros austeníticos al manganeso presentan ciertas propiedades que tienden a restringir su uso, por ejemplo, son difíciles de maquinarse y usualmente tienen resistencias a la fluencia de 345 a 415 MPa (50 a 60 ksi). Consecuentemente no son aptos para partes que requieren alta precisión durante el maquinado o que deben resistir deformación plástica cuando son sometidos a altos esfuerzos durante el servicio.

Su alta ductilidad permite lograr una tenacidad al impacto sobre los 136 J a temperatura ambiente y una tenacidad a la fractura del orden de $120 \text{ MPa}/\text{m}^2$, por lo que es muy adecuado para trabajar en condiciones de fuerte impacto.

La característica más importante de estos aceros es su capacidad de endurecimiento por trabajo, desde una dureza inicial de aprox. 200 hasta los 500/550 BHN, de tal forma que en la mayoría de los casos las piezas deben sustituirse cuando mejor estructura presentan para resistir la abrasión y el desgaste. Cuanto mayores sean los impactos que se producen en el trabajo, mayor será la velocidad de transformación de *austenita a martensita* y por lo tanto, mayor será su endurecimiento.

Existen también aceros con una proporción superior al 14% Mn, que deben aplicarse en casos muy precisos. Nos referimos a las calidades 18 y 21% de Mn, que no siempre son por su mayor coste más rentables.

Estas calidades deben emplearse sólo cuando los aceros al Mn normales al 14% se desgasten muy rápidamente en sus primeros días de trabajo, por estar trabajando con materiales finos que producen un menor endurecimiento.

CAPITULO 3.

ACEROS MICROALEADOS O HSLA

Acero microaleado (o en inglés, High-Strength Low-Alloy (HSLA) steel) es un tipo de aleación metálica que provee mejores propiedades mecánicas o mejor resistencia a la corrosión que los aceros comunes. Los aceros microaleados difieren de otros aceros en que no son fabricados para cumplir una composición química específica sino para cumplir con **propiedades mecánicas específicas**.

Tienen un contenido de carbono entre 0.05% y 0.25% en peso para mantener la conformabilidad y la soldabilidad. Otros elementos de aleación incluyen hasta un 2.0% de manganeso y pequeñas cantidades de cobre, níquel, niobio, nitrógeno, vanadio, cromo, molibdeno, titanio, calcio, tierras raras, o zirconio.

Se agrega cobre, titanio, vanadio y niobio para incrementar la resistencia. Estos elementos tienen por objeto alterar la microestructura de los aceros al carbono, la cual es generalmente una mezcla de ferrita-perlita, para producir una dispersión muy fina de aleaciones de carburos en una matriz casi pura de ferrita. Esto elimina el efecto de reducción de la tenacidad provocado por la fracción en volumen de perlita, aunque manteniendo e incrementando la resistencia del material mediante el refinamiento del tamaño de grano, el cual en el caso de la ferrita incrementa la tensión de fluencia en un 50% para cada reducción a la mitad del tamaño de grano promedio. El endurecimiento por preprecipitado juega un rol menor también.



Figura 3.1. Microestructura de un acero HSLA 340 laminado en caliente

La resistencia a la fluencia para estos aceros puede estar entre 250 MPa y 590 MPa. Debido a su mayor resistencia y tenacidad, los aceros microaleados suelen requerir entre un 25% y un 30% más de energía para conformarse, en comparación con aceros al carbono.

Se agregan cobre, silicio, níquel, cromo y fósforo para incrementar la resistencia a la corrosión y zirconio, calcio y las tierras raras para controlar la forma de las inclusiones de sulfuros, que incrementa la conformabilidad. Son necesarios porque la mayoría de los aceros microaleados tienen propiedades altamente dependientes de la dirección considerada. La conformabilidad y la resistencia al impacto pueden variar significativamente cuando son ensayados longitudinal o transversalmente al grano. Las flexiones paralelas al grano longitudinal son más propensas a fisurarse cerca del borde externo debido a las tensiones de tracción provocadas. Esta característica direccional se ve significativamente reducida en los aceros microaleados que han sido tratados para el control de las formas de sulfuros.

Son utilizados en autos, camiones, grúas, puentes, montañas rusas y otras estructuras que son diseñadas para manejar grandes esfuerzos o que necesitan una relación tensión-peso alta. Los aceros microaleados son utilizados en general con secciones que resultan entre un 20% y 30% más livianas que las que corresponderían a aceros al carbono para la misma resistencia.

Los aceros microaleados también son más resistentes a la corrosión que la mayoría de los aceros debido a su falta de perlita – las finas capas de ferrita (casi hierro puro) y cementita. El Ángel del Norte, figura 3.2, es un ejemplo conocido de una estructura de acero microaleado sin pintar (la aleación específica utilizada se llama COR-TEN e incluye una pequeña cantidad de cobre). Los aceros microaleados tienen densidades de alrededor de 7800 kg/m^3 .



*Figura 3.2. El Ángel del Norte, 1998, por Antony Gormley, Acero Corten, 22 x 54 x 2.20 m.
(Arte Contemporáneo-Arte en el espacio público), Gateshead, (UK)*

3.1. CLASIFICACIÓN

- Aceros para intemperie: Aceros que tienen mejor resistencia a la corrosión. Un ejemplo común es el COR-TEN.

- Aceros de laminado controlado: Aceros laminados en caliente que tienen una estructura de austenita fuertemente deformada que se van a transformar en una estructura de ferrita muy fina equiaxiada al enfriarse.
- Aceros de perlita reducida: Aceros de bajo contenido de Carbono que resultan con poco o nada de perlita, pero principalmente un grano muy fino de matriz ferrítica. Son endurecidos por preprecipitado.
- Aceros microaleados (propriadamente dichos): Aceros que tienen agregados de muy pocas cantidades de niobio, vanadio y/o titanio para obtener un tamaño de grano refinado y/o endurecimiento por precipitado.

Un tipo común de aceros microaleados son los de conformabilidad mejorada. Tienen una resistencia a la fluencia de hasta 550 MPa, pero sólo cuestan un 24% más que los aceros A-36 (36,000 psi (250 MPa)). Una de las desventajas de este acero es que es entre un 30% y un 40% menos dúctil. En los Estados Unidos de Norteamérica estos aceros están normalizados por los estándares ASTM A1008/A1008M y A1011/A1011M para láminas de metal y A656/A656M para placas. Estos aceros fueron desarrollados para la industria automotriz, para reducir peso sin perder resistencia. Ejemplos de su uso incluye vigas en puertas anti-robo, elementos de chasis, refuerzos y soportes de montaje, partes de suspensión y dirección, parachoques y ruedas.

Tabla 3.1. Composición química de algunos aceros HSLA

Composición química (%)

	C Max	Mn Max	Si Max
■ HSLA 260	0,080	0,50	0,04
■ HSLA 300	0,080	0,60	0,04
■ HSLA 340	0,080	0,70	0,04
■ HSLA 380	0,080	0,90	0,35
■ HSLA 420	0,140	1,60	0,40
■ HSLA 320	0,080	0,50	0,03
■ HSLA 360	0,080	0,60	0,03
■ HSLA 420	0,080	0,75	0,03
■ HSLA 460	0,120	1,60	0,40
■ HSLA 500	0,090	1,50	0,03
■ HSLA 550	0,090	1,65	0,35

■ Laminado en caliente ■ Laminado en frío

3.2. GRADOS SAE

La Society of Automotive Engineers (SAE) mantiene estándares para grados de acero HSLA debido a que son usualmente utilizados en aplicaciones automotrices, tabla 3.2.

Tabla 3.2. Composiciones de grado de acero SAE HSLA

Composiciones de grado de acero SAE HSLA						
Grado	% Carbono (máx)	% Manganeso (máx)	% Fósforo (máx)	% Azufre (máx)	% Silicio (max)	Notas
942X	0.21	1.35	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio o vanadio
945A	0.15	1.00	0.04	0.05	0.90	
945C	0.23	1.40	0.04	0.05	0.90	
945X	0.22	1.35	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio o vanadio
950A	0.15	1.30	0.04	0.05	0.90	
950B	0.22	1.30	0.04	0.05	0.90	
950C	0.25	1.60	0.04	0.05	0.90	
950D	0.15	1.00	0.15	0.05	0.90	
950X	0.23	1.35	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio o vanadio
955X	0.25	1.35	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio, vanadio o nitrógeno
960X	0.26	1.45	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio, vanadio o nitrógeno
965X	0.26	1.45	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio, vanadio o nitrógeno
970X	0.26	1.65	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio, vanadio o nitrógeno
980X	0.26	1.65	0.04	0.05	0.90	Tratado con niobio, vanadio o nitrógeno

Y sus propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 3.3

Tabla 3.3. Propiedades mecánicas de los aceros SAE-HSLA

Grado	Presentación	Tensión de fluencia (mín) [psi (MPa)]	Resistencia a la tracción (mín) [psi (MPa)]
942X	Planchas, formas y barras hasta 4 plg.	42.000 (290)	60.000 (414)
945A, C	Chapas y flejes	45.000 (310)	60.000 (414)
	Planchas, formas y barras:		
	0-0,5 plg.	45.000 (310)	65.000 (448)
	0,5-1,5 plg.	42.000 (290)	62.000 (427)
	1,5-3 plg.	40.000 (276)	62.000 (427)
945X	Chapas, flejes, planchas, formas y barras hasta 1,5 plg.	45.000 (310)	60.000 (414)
950A, B, C, D	Chapas y flejes	50.000 (345)	70.000 (483)
	Planchas, formas y barras:		
	0-0,5 plg.	50.000 (345)	70.000 (483)
	0,5-1,5 plg.	45.000 (310)	67.000 (462)
	1,5-3 plg.	42.000 (290)	63.000 (434)
950X	Chapas, flejes, planchas, formas y barras hasta 1,5 plg.	50.000 (345)	65.000 (448)
955X	Chapas, flejes, planchas, formas y barras hasta 1,5 plg.	55.000 (379)	70.000 (483)
960X	Chapas, flejes, planchas, formas y barras hasta 1,5 plg.	60.000 (414)	75.000 (517)
965X	Chapas, flejes, planchas, formas y barras hasta 0,75 plg.	65.000 (448)	80.000 (552)
970X	Chapas, flejes, planchas, formas y barras hasta 0,75 plg.	70.000 (483)	85.000 (586)
980X	Chapas, flejes y planchas hasta 0,375 plg.	80.000 (552)	95.000 (655)

Los grados extras de acero de alta resistencia se utilizan en aplicaciones tales como chasis de camiones, grúas, volquetes color amarillo. En estas aplicaciones, la alta resistencia de los aceros se utiliza para guardar peso y / o aumentar la carga útil. Como resultado de esto y la buena conformabilidad de los aceros, el costo total se puede reducir.

3.3. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Los aceros de la gama HSLA están destinados a piezas de estructura como elementos de suspensión, refuerzos, travesaños, largueros, piezas de bastidor... Las características mecánicas de los aceros laminados en caliente, sus excelentes prestaciones para conformación en frío, así como su resistencia a la rotura por fragilidad a bajas temperaturas permiten encontrar

soluciones económicas para numerosas piezas y subconjuntos, que requieren una reducción del peso, del espesor y del volumen, como:

- Bastidor;
- Ruedas;
- Guías de asiento;
- Travesaños.



Figura 3.3. Travesaño trasero en HSLA 300 revestimiento Extragal

CAPITULO 4

ACEROS ESPECIALES SSAB

4.1. ACERCA DE SSAB

SSAB (**Swedish Steel AB, Acero Sueco, Sociedad Anónima**), es un fabricante de acero con sede en Suecia y los Estados Unidos y proyección internacional que cuenta con un sistema de producción flexible y de bajo coste. SSAB es una empresa destacada en el mercado internacional por sus avanzados aceros de alta resistencia (Advanced High Strength Steels, AHSS) y aceros revenidos y & templados (Quenched and Tempered, Q&T) que suministra flejes, chapas y tubos, además de productos para la construcción.

Los aceros de SSAB confieren ligereza al producto terminado a la vez que incrementan su resistencia y durabilidad.

La empresa tiene una capacidad de producción anual de 8.8 millones de toneladas de acero. SSAB cuenta con plantas de producción en Suecia, Finlandia y los Estados Unidos. Además, posee capacidad para procesar y dar acabado a su gama de productos de acero en China y otros países. En Suecia y Finlandia la producción está integrada en procesos de altos hornos. En los EUA la producción se realiza a partir de chatarra en hornos de arco eléctrico.

En SSAB se trabaja conjuntamente con el consumidor para asegurarnos de que obtiene los mejores resultados posibles. Y ese estilo forma parte de nuestro negocio. Independientemente de su área de actividad, ofrecemos ayuda en forma de cursos, seminarios, manuales y recomendaciones técnicas, así como a través del Knowledge Service Center, un centro coordinador dedicado a compartir conocimientos y a dar soporte técnico.

También se trabaja en muchos proyectos de desarrollo conjuntamente con los clientes. Hace más de 30 años, fuimos una de las primeras empresas que desarrollamos aceros avanzados de alta resistencia, pero nuestro historial abarca casi 140 años. Esta experiencia nos ha dotado de amplios conocimientos en nuestras áreas de operación.

Y en vez de guardarnos ese conocimiento, se ofrece a cada uno de nuestros clientes. Esta es una de las ventajas de trabajar con nosotros, uno de los detalles que llegará a valorar más.

Los productos de SSAB se fabrican con materias primas de alta calidad, usan procedimientos limpios y se someten a múltiples comprobaciones.

En los esfuerzos por ayudar a crear un mundo más sostenible, no solamente ofrecemos productos con ventajas ambientales, sino que nos imponemos las más altas exigencias con numerosos certificados ambientales que nos avalan, incluyendo: ISO 14001, ISO/TS 16949, ISO 9001.

4.2. ACERO SSAB

SSAB produce siete tipos de productos de acero, y cada uno ofrece sus propias características exclusivas, áreas de enfoque, así como experiencia, servicios y soporte. Siga leyendo para conocer sus áreas de aplicación, lo que los diferencia y cómo aportarán ventajas a su negocio.

4.2.1. Acero Domex

Los aceros Domex para conformado en frío se fabrican mediante técnicas de laminación termomecánicas, y cada calidad individual está definida por el límite aparente de elasticidad garantizado. La gama de aceros Domex para conformado en frío se divide en dos grupos diferentes, caracterizados por su dirección de ensayo. Ambos tienen un análisis bajo y presentan excelentes propiedades de plegado multidireccional, combinadas con alta resistencia.

Domex MC

Fabricado según la norma EN 10149-2 y ensayado longitudinalmente a la dirección de laminado. Puede obtenerse con límites de elasticidad garantizados de 315 N/mm² a 700 N/mm². El espesor mínimo es 2.00mm con un espesor máximo de 12.00mm, dependiendo de la calidad. Los aceros Domex para conformación en frío se usan cuando es preciso incrementar la resistencia sin ocasionar aumentos en el peso, o cuando se necesita un radio de plegado menor que el disponible en los aceros convencionales.

En algunos casos de conformación en frío los aceros Domex permiten prescindir de operaciones de conformación en caliente caras. Los aceros Domex de conformación en frío tienen propiedades uniformes, proporcionando a los diseñadores la opción de proyectar estructuras

más robustas pero con el mismo peso, o menos pesadas de igual resistencia, junto con propiedades uniformes de plegado multidireccional.

Aplicaciones

Las ventajas de Domex ya han sido valoradas por algunas de las mayores marcas de fabricantes de remolques y carrocerías, y por algunos fabricantes de camiones. No obstante, Domex se puede utilizar en todo tipo de elementos, desde barcos, puentes, edificios y maquinaria hasta diversos tipos de dispositivos de elevación, tanques y contenedores.



Figura 4.1. Acero estructural laminado en caliente para soluciones fuertes y livianas.

Domex le otorga los beneficios siguientes:

- Más ligeras con mayor carga útil
- Mayor formabilidad y soldabilidad
- Acceso fácil a investigación, conocimiento y soporte
- El acero para transporte más ecológico del mercado
- Acero para construcción excepcionalmente versátil.

4.2.2. Aceros Hardox

Mayor carga útil y vida de servicio. Hardox es el nombre del acero antidesgaste de SSAB. Es la mejor opción para las aplicaciones que deben cumplir las exigencias más difíciles y se presenta como un paquete completo que incluye chapa, personas, conocimientos, etc. Hardox

Chapa antidesgaste que dura ofreciendo una gama de grados, espesores y anchuras, cada una con sus propias características exclusivas.

No obstante, todas ellas le ofrecen la capacidad de mejorar el rendimiento antidesgaste de sus productos o maquinaria, así como el recorte de plazos de entrega del taller y aumentar la productividad de sus operaciones. Reconocida como la chapa antidesgaste más resistente disponible en el mercado, Hardox es fácil de usar en el taller, pues tiene excelentes propiedades de soldadura, plegado, corte y mecanizado. Y combinada con un fácil acceso a conocimientos y soporte basado en muchos años de experiencia en chapas antidesgaste, Hardox se ha convertido en un símbolo mundial de calidad. Busque el sello de conformidad Hardox in My Body y la certificación Hardox Wearparts que aseguran la autenticidad. Hardox es especialmente útil para herramientas de demolición, martillos, chapas de revestimiento, depósitos y tolvas, paletas y trituradoras, cargadores frontales, y en cualquier aplicación que requiera uso continuado y precise evitar fisuras, deformaciones y desgaste. Usted se beneficiará de Hardox por: Soluciones de menor peso con la mayor carga útil Excelentes propiedades en el taller Mayor vida útil del producto con el menor tiempo de parada Una alianza en marketing y soporte técnico, con los más altos niveles de servicio Pioneros en innovación.

Aplicaciones

Hardox es especialmente útil para herramientas de demolición, martillos, chapas de revestimiento, depósitos y tolvas, paletas y trituradoras, cargadores frontales, y en cualquier aplicación que requiera uso continuado y precise evitar fisuras, deformaciones y desgaste.



Figura 2.60. Volteo lateral Smart Trailers.

Hardox le otorga los beneficios siguientes:

- Soluciones de menor peso con la mayor carga útil
- Excelentes propiedades en el taller
- Mayor vida útil del producto con el menor tiempo de parada
- Una alianza en marketing y soporte técnico, con los más altos niveles de servicio
- Pioneros en innovación.

4.23. Aceros Docol

El acero avanzado de alta resistencia más resistente del mundo, Docol, es el acero que puede ayudar a los fabricantes de coches a satisfacer las nuevas exigencias del sector de reducir las emisiones de CO₂, a la vez que obtienen cinco estrellas en las pruebas de colisiones.

Docol Acero más resistente, coches más seguros Desarrollado para el sector de la automoción, el acero Docol destaca como el acero más fuerte, avanzado y de alta resistencia del mundo para componentes de seguridad de automóviles. Su inigualable absorción de energía y excepcional

resistencia también le ofrecerán muchas ventajas ambientales. La relación alta resistencia-peso que tiene Docol significa que se puede utilizar acero más fino sin sacrificar la resistencia y le permite reducir significativamente el peso de sus productos. Esto aumenta la eficiencia del combustible, mejora el rendimiento de la tracción y reduce sus costes. Docol también tiene otra ventaja importante: un conocimiento técnico vital y el acceso a datos de muchos años de suministro al sector de la automoción.

Aplicaciones

Docol se puede utilizar en muchas aplicaciones, pero a menudo se encuentra en sillas de bebe, parachoques, barras de impacto laterales y otros componentes estructurales. Muchos de los mayores OEM y fabricantes de coches del mundo usan Docol. Según se vayan desarrollando grados incluso mayores, esta tendencia crecerá.



Figura 4.3. El Opel Insignia fue elegido Coche del Año 2009. Este modelo obtuvo 35 de los 37 puntos posibles en las pruebas de Euro NCAP, lo que le valió las valiosas 5 estrellas en protección del pasajero. El refuerzo de talonera del Opel Insignia está realizado con Docol 900 M con superficie ZE. Las piezas estructurales del techo y del suelo están fabricadas con Docol 980 DP.

Docol le otorga los beneficios siguientes:

- Ser el acero AHSS y UHSS más resistente disponible en el mercado
- El más elevado conocimiento técnico
- Menores costes debido al menor uso de material
- Mayor ahorro de combustible en coches y mejores características de propulsión
- Ser el acero AHSS y UHSS más uniforme y soldable disponible en el mercado
- Exclusiva oferta de existencias de material de prueba.

4.2.4. ACEROS WELDOX

Para ir más allá de los límites de la ingeniería estructural, SSAB ha creado una gama de aceros que es considerada líder en el mercado. Weldom Creatividad ilimitada Weldom está diseñado para satisfacer y superar las altas exigencias y normas del sector de la elevación. Su altísimo límite elástico permite reducir el peso del producto sin sacrificar la resistencia. O bien, alternativamente, permite mantener el peso existente y agregar resistencia extra para un mayor alcance.

La consistencia de las propiedades del Weldom y su facilidad para tareas en el taller ofrece mayor productividad y menores plazos de entrega a producción. Y gracias a nuestro programa de precisión exclusivo AccuRollTech, podemos garantizar la menor tolerancia disponible en el mercado para espesores de chapa gruesa. Como cliente de Weldom, siempre podrá confiar en nuestros conocimientos sobre acero y simplemente dejar fluir su creatividad.

Aplicaciones

Weldom se usa con frecuencia en la fabricación de grúas móviles, además de en grúas montadas sobre camiones, camiones de bombeo de hormigón, manipuladores telescópicos, plataformas aéreas y otras aplicaciones de ingeniería avanzada que requieren precisión, consistencia y la eficiencia en el taller.



Figura 4.4. La empresa Xuzhou Heavy Machinery Company, que forma parte del grupo XCMG, ha experimentado un notable crecimiento durante los últimos 20 años y hoy exporta grúas móviles a 90 países de todo el mundo. La clave del éxito es el acero Weldom®. Para sus gigantescas grúas, que alcanzan alturas de hasta 100 metros, la empresa usa una combinación de Weldom 700/ 900/ 960 y 1100

Weldom le otorga los beneficios siguientes:

- ✓ Material más fino que permite mayor carga útil
- ✓ Mayor alcance por un mayor límite elástico
- ✓ Menor número de horas de taller gracias a sus propiedades uniformes
- ✓ Superior precisión y consistencia del acero durante su fabricación
- ✓ Un programa extenso de productos para todos los usos
- ✓ Los conocimientos acerca de nuestro acero y su adaptabilidad.

4.2.5. ACEROS ARMOX

Cuando la seguridad personal es crítica, tenemos Armox revestimiento de protección de acero de alto rendimiento y fácil de usar que satisface rigurosos criterios de balística internacionales. Armox Seguridad a toda costa Los aceros Armox son duraderos, robustos y están probados rigurosamente en entornos balísticos, así como en la vida real, donde no se pueden correr riesgos. Certificados por Ministerios de Defensa de todo el mundo, es la chapa de protección preferida por los fabricantes líderes de equipos militares y es perfecto para diversas aplicaciones de blindajes civiles. No obstante, las superiores propiedades antibalísticas no son

el único modo en el que podrá beneficiarse de Armox. Su relación alta resistencia-peso significa que se pueden producir aplicaciones más ligeras con el mismo rendimiento antibalístico. Armox también es excelente en el taller, pues es fácil de cortar, taladrar, soldar y se puede doblar sin que afecte a su rendimiento.

Aplicaciones

Armox se usa ampliamente en todo el mundo en aplicaciones de blindaje para defensa y uso civil. Incluye vehículos de seguridad, de limpieza de minas, blindajes para el cuerpo, y estructuras de puertas y paredes, así como equipos militares. No obstante, Armox se puede utilizar para casi cualquier aplicación antibalística.



Figura 4.5. Blindaje de vehículos para el transporte de valores

Armox le otorga los beneficios siguientes:

- Protección antibalística certificada por Ministerios de Defensa de todo el mundo
- Aplicaciones más robustas y ligeras, que usan menos material
- Facilidad de uso en el taller
- Una gran variedad de áreas de aplicación
- Innovación continua.

4.2.6. ACEROS TOOLOX

Con su tratamiento térmico, listo para usar tras su entrega, con propiedades mecánicas medidas y garantizadas, y su resistencia superior, la idea tras el acero Toolox de SSAB se basa en una sola cosa: la simplicidad. Toolox Pre-tratado y listo para usar Toolox es el acero para herramientas y máquinas. Le ofrece menores costes, riesgos reducidos y le ahorra valioso tiempo de su procedimiento de fabricación debido a su excelente maquinabilidad. Todo esto, combinado con la ventaja del trabajo con el acero pre-tratado para herramientas más duro del mundo le ofrece un material fácil de usar y con una amplia variedad de usos. Toolox está basado en el concepto metalúrgico de bajo carbono de Hardox y Weldox, pero está especialmente producido para herramientas y componentes de máquinas que trabajan a altas temperaturas. Tiene excelentes propiedades de fatiga y le permite aumentar realmente la dureza superficial para conseguir más control sobre la vida útil de sus herramientas o componentes.

Aplicaciones

Toolox tiene una amplia gama de usos, pero normalmente se encuentra en elementos como herramientas para hojas de metal, herramientas para molduras plásticas, así como en componentes de máquinas muy expuestos.



Figura 4.6. Portaherramientas fabricado por Premefer cpn acero Toolox 33

Toolox le otorga los beneficios siguientes:

- Menor número de horas de taller y producción
- Maquinabilidad incomparable
- Menores costes de servicio
- Resistencia superior
- Gran facilidad para el usuario.

4.2.7. Acero de alta resistencia Strenx

SSAB aprovechó el evento para presentar Strenx, un nuevo acero estructural de alta resistencia que ofrece la gama de Productos de acero de alta resistencia más amplia del mercado, lo que abre nuevas posibilidades más competitivas. Strenx es el resultado de la unión de tres materiales que ya existentes dentro de la compañía: Domex, Weldox y Optim. este acero ofrece una resistencia que oscila entre 600 y 1,300 megapascales (MPa) y tiene un espesor que va desde los 0.7 hasta los 160 milímetros. “Producimos materiales que el mercado todavía no es consciente de que existen”, afirmó Pedro Rodríguez durante la presentación.



Figura 4.7. Desarrollo de los aceros Strenx

La alta resistencia que ofrece y su ligereza en peso hacen que Strenx sea un producto ideal para la industria de elevación, manipulación y transporte. “Gracias a Strenx se obtiene un resultado final mejorado, como por ejemplo, grúas capaces de alcanzar alturas mayores, tráilers que pueden transportar mayor carga o camiones que utilizan menos combustible”, explicó Rodríguez. Strenx es también un producto adecuado para los sectores agrícola, estructuras de maquinaria móvil pesada, materiales rodantes, estructuras marítimas y de construcción.



Figura 4.8.

CAPÍTULO 5

ACEROS PARA HERRAMIENTA SINTERIZADOS, PROPIEDADES MECÁNICAS Y APLICACIONES

5.1 Aceros para herramienta sinterizados

La meta por alcanzar mejoras e innovaciones en aceros para herramientas no se ha frenado, grandes avances en este campo se han realizado por la introducción de la pulvimetalurgia para la fabricación de herramientas, gracias a esto se han obtenido grandes propiedades mecánicas que superan a las herramientas fabricadas con métodos convencionales como la forja y/o colada, en consecuencia del uso de los polvos metálicos también se ha podido desarrollar aleaciones “superduras” que, incluso, pueden rayar el diamante, algunas de estas aleaciones no se han podido lograr con métodos tradicionales lo cual marca un punto a favor para la pulvimetalurgia.

Las piezas de acero producidas por pulvimetalurgia generalmente son empleados para herramientas de alta velocidad (aceros rápidos), aunque no excluye la aplicación en otro tipo de herramientas por ejemplo de conformación en frío que exigen muy buenas propiedades mecánicas.

En ocasiones los fabricantes de productos sinterizados no son los mismos que fabrican el polvo metálico para este fin, generalmente son diferentes industrias metálicas que llevan este complicado proceso hasta el producto final, por lo que el costo del producto se eleva notablemente y es relativamente caro en comparación con otros productos similares que cumplen la misma función. Por eso es importante realizar un estudio de costo beneficio para la buena elección de una herramienta a adquirir.

Es importante mencionar que las herramientas obtenidas mediante este proceso de pulvimetalurgia es un tema relativamente nuevo, pero con una inversión elevada en la investigación por desarrollar más variedad de productos con excelentes propiedades. Por tal motivo las industrias dedicadas a la fabricación de herramientas, mediante polvos metálicos, desarrollan nuevos productos únicos de cada fabricante, en consecuencia desarrollan su propia nomenclatura para estos aceros en el mercado.

En algunos casos las industrias dedicadas a la fabricación de productos sinterizados fabrican herramientas con composición química similares a las herramientas existentes fabricadas por otro método habitual con el objetivo de mejorar las propiedades ya existentes en estas últimas, esto permite realizar una equivalencia con un producto ya estandarizado mediante normas reconocidas mundialmente, lo que implica que el usuario final se formule una idea para su adecuada utilización y posibles tratamientos térmicos aplicables a este tipo de acero sin necesidad de una investigación excesiva.

Por otro lado el acero de fabricación propia de cada industria, que no tiene similitud a otro acero estandarizado, requiere de mayor estudio para su adecuada utilización, mecanizado, tratamientos térmicos aplicables, etc., este estudio debe realizarse directamente en las fichas técnicas del fabricante, al igual que otros aceros tienen diferentes aplicaciones pero en su mayoría estos aceros son diseñados para tener aplicaciones específicas.

En la tabla 3.1 se muestran siete tipos de aceros diferentes fabricados por el Grupo Nachi-Fujikoshi Corp. (empresa fundada en Japón en 1928 con presencia en México desde 1982) uno de los fabricantes más grandes de herramientas de corte a nivel mundial, en esta tabla podemos observar la similitud de sus productos con otros aceros más reconocidos, así como su composición química y algunas propiedades mecánicas de mayor interés.

Tabla 3.1 Acero grado Alta velocidad, composición química

Tipo de aleación		Designación				Composición química (%)					
Tipo de acero	Tipo V	Grado NACHI	Norma relacionada			C	W	Mo	Cr	V	Co
			AISI	DIN WINr	JIS						
Mo W		FAX18	M42	1.3247	SKH59	1.10	1.5	9.5	4.0	1.0	8.0
		FAX31	M3-2	1.3344	SKH53	1.30	6.0	5.0	4.0	3.0	
Mo W Co	Alto V	FAX38				1.30	6.0	5.0	4.0	3.0	8.0
		FAX55	T15		SKH10	1.55	13.0		4.0	5.0	5.0
		FAX40	(T42)		SKH57	1.30	10.0	3.5	4.0	3.0	10.0
		FAXG1									
		FAXG2									

Además de Grupo Nachi- Fujikoshi Corp. existe otra empresa que figura entre los líderes mundiales del mercado para la fabricación de aceros rápidos y aceros para herramienta, actualmente es una de las empresas más importantes para el desarrollo y la producción de aceros especiales, estamos hablando de la empresa BÖHLER que remota sus orígenes en el año 1446 y se construye como empresa en el año 1870 en Viena Austria.

Esta empresa caracteriza sus aceros como:

- *Primera generación:* son principalmente ejes laminados que se introducen en el horno y se producen los procesos de lavado del acero dejando algunos contaminantes, esto último debido a la baja calidad alcanzada mediante el proceso, el acero al tener contaminantes baja notablemente su calidad.
- *Segunda generación:* son los mismos aceros de primera generación pero ahora se llevan a una segunda etapa antes de comercializarse, esta segunda etapa consiste en meterlos en un nuevo horno donde se les hace una limpieza que puede ser al vacío o con electro escoria, de esta forma se obtiene un acero más limpio que el de primera generación por lo que sus propiedades son mejoradas al tener menos contaminantes.
- *Tercera generación:* es acero de segunda generación con la particularidad que el acero sale en forma líquida y se atomiza con gas carbónico de tal forma que el acero líquido se vuelve polvo que es comprimido posteriormente a altas presiones y es sinterizado a 1,200°C aproximadamente. Por lo tanto su precio este acero es más elevado por los diversos procesos que lleva, pero el precio es compensado por las mejoras en las propiedades mecánicas.

A este tipo de acero BÖHLER los denomina MICROCLEAN, mediante este proceso de pulvimetalurgia de tercera generación se lograron producir polvos de tamaño de grano medio de 60 μm , lo cual garantiza una máxima homogeneidad que influye definitivamente en la calidad del acero.

En la tabla 3.2 se muestran los aceros pulvimetalurgicos comercializados por BÖHLER, su composición química en porcentaje y el estándar aproximado o equivalente.

Tabla 3.2 Aceros MICROCLEAN comercializados por BÖHLER- UDDEHOLM

GRADO BÖHLER	Composición química (%)						ESTANDAR	
	C	Cr	Mo	V	W	Co	DIN	AISI
Aceros de alta velocidad								
BÖHLER S290 MICROCLEAN	2.00	3.75	2.55	5.00	14.30	11.00	---	---
BÖHLER S390 MICROCLEAN	1.60	4.80	2.00	5.00	10.00	8.00	---	---
BÖHLER S590 MICROCLEAN	1.30	4.20	5.00	3.00	6.30	8.40	---	---
BÖHLER S690 MICROCLEAN	1.25	4.30	4.90	4.10	5.90	---	---	M4
BÖHLER S790 MICROCLEAN	1.30	4.20	5.00	3.00	6.30	---	1.3344 S6-5-3	M3 CLASE 2
Acero de herramienta para trabajo en frio								
BÖHLER K190 MICROCLEAN	2.30	12.50	1.10	4.00	---	---	1.2380 X220	D7
BÖHLER K390 MICROCLEAN	2.45	4.20	3.80	9.00	1.00	2.00	---	---
BÖHLER K490 MICROCLEAN	1.40	6.40	1.50	3.70	3.50	+Nb	---	---
BÖHLER K890 MICROCLEAN	0.85	4.35	2.80	2.10	2.55	4.50	---	---
Acero para moldes de plástico								
BÖHLER M390 MICROCLEAN	1.90	20.00	1.00	4.00	0.60	---	---	---

5.2 Propiedades de los aceros para herramientas sinterizados

En ingeniería, las propiedades mecánicas de los materiales son las características esenciales, que permiten diferenciar un material de otro, así como su aplicación, alguna de estas propiedades pueden ser modificadas muy fácilmente en los aceros desde su fabricación hasta en el producto final mediante tratamientos térmicos principalmente.

Las propiedades mecánicas que deben cumplir los aceros para la fabricación de herramientas son diversas y depende de la aplicación a la que está destinada la herramienta, a continuación se presentan algunas propiedades de forma general que cumple el acero para la fabricación de herramientas.

Para aceros de alta velocidad (HSS):

- Resistencia a la compresión
- Resistencia al desgaste
- Dureza y resistencia a elevadas temperaturas de operación
- Buena maquinabilidad
- Resistencia a la abrasión
- Distorsión mínima durante tratamientos térmicos.

Para aceros para trabajo en caliente:

- Alta tenacidad arriba de 250°C.
- Alta resistencia al desgaste en caliente.
- Resistencia al agrietamiento

Para aceros para trabajo en frío:

- Alta tenacidad
- Buena resistencia a la compresión
- Resistencia al desgaste abrasivo y adhesivo
- Resistencia a la fatiga
- Estabilidad térmica
- Buena ductilidad
- Resistencia al desgaste abrasivo y adhesivo.
- Resistencia al agrietamiento.
- Alta resistencia por debajo de los 250°C.

Para aceros para procesado de plásticos:

- Resistencia a la corrosión
- Resistencia al desgaste
- Pulido de alto brillo
- Elevada tenacidad
- Resistencia contra movimiento oscilantes y golpes mecánicos

A continuación se describe un panorama general de algunas propiedades y aplicaciones de aceros para herramienta obtenidos mediante pulvimetalurgia, haciendo comparación con los aceros para herramientas convencionales, véase que en algunos casos los aceros a mencionar cumplen con una semejanza con otros aceros ya estandarizados.

- **Tamaño de grano Snyder-Graff pequeño y uniforme**

Para lograr mejoras en las propiedades mecánicas de los aceros es importante tener un tamaño de partícula adecuado y uniforme, con los productos obtenidos mediante polvos metálicos se logra el objetivo como se muestra en la figura 3.1.

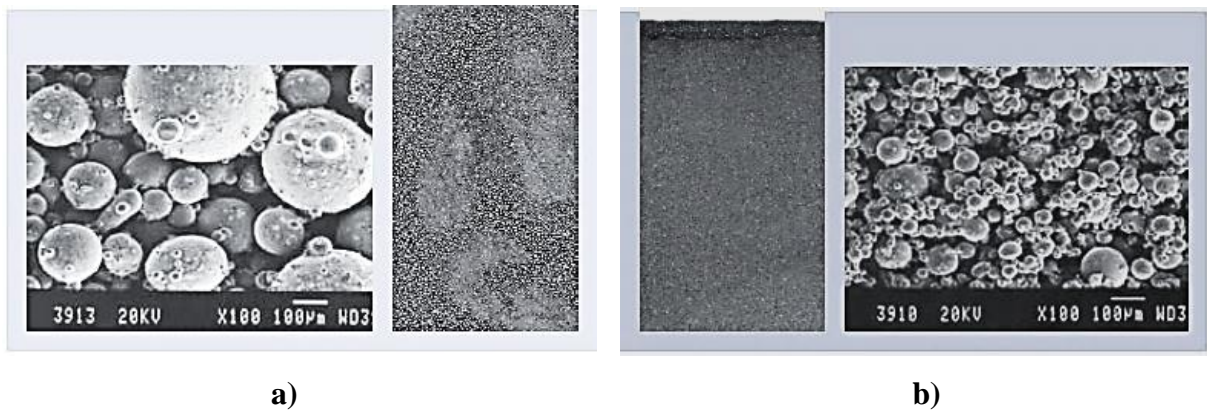


Figura 3.1 Comparación de tamaño de partícula de un acero de 1ª y 2ª generación (a) vs un acero pulvimetalurgico de 3ª generación (b) [].

- **Microestructura más uniforme**

Los aceros P/M tienen una estructura uniforme de carburos por lo que se pueden obtener excelentes propiedades gracias a esta estructura, en la figura 3.2 se puede observar la uniformidad de distribución de carburos más elevada que un acero convencional.

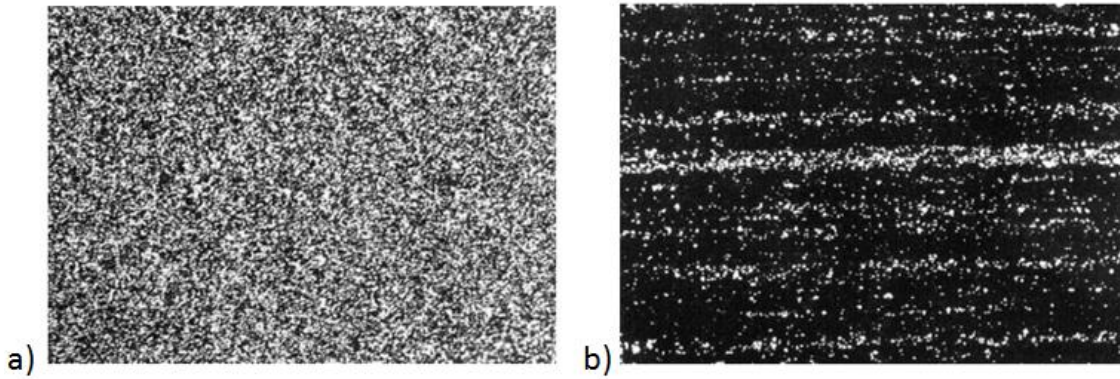


Figura 3.2 Comparación de la distribución de carburos (escala 100=1), a) acero BÖHLER S690 de alta velocidad, b) acero de alta velocidad convencional ~AISI-M4

- **Menor deformación después de un tratamiento térmico**

La deformación dimensional después del tratamiento térmico es común en todos los aceros, en algunos aceros esta deformación es significativa, por el contrario en la gran mayoría de los aceros de pulvimetalurgicos esta deformación es estable, como se muestra en la figura 3.3, esto se debe a la tensión mínima del tratamiento térmico.

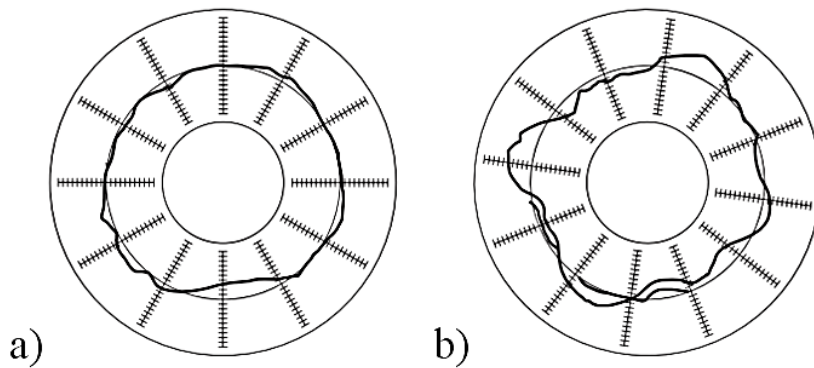


Figura 3.3 a) P/M acero de alta velocidad, b) acero regular convencional de alta velocidad [].

- **Excelente rectificabilidad**

Con contenidos de Vanadio altos se puede obtener buena rectificabilidad que con otros procesos de fabricacion no es posible obtener, figura 3.4.

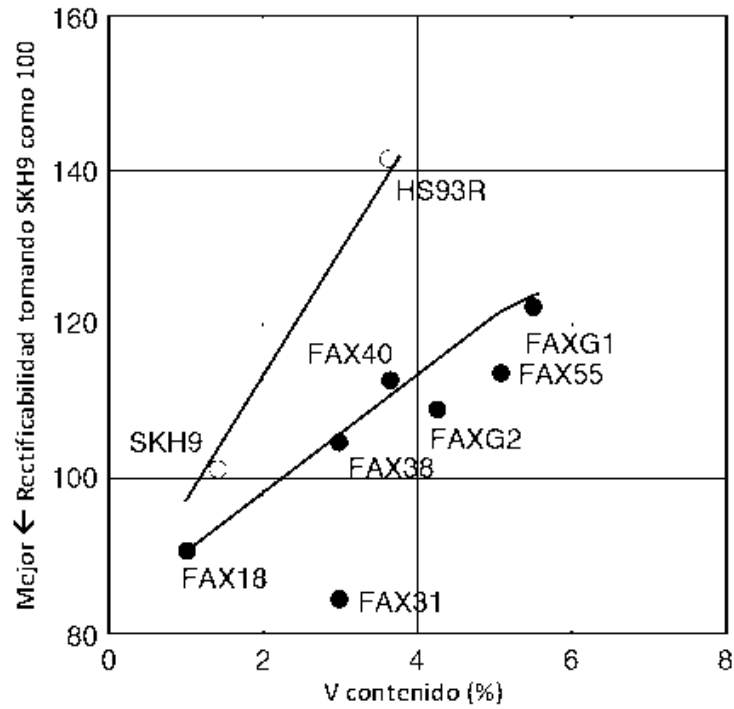


Figura 3.4 Comparación de aceros convencionales y pulvimetalúrgicos respecto a rectificabilidad vs contenido de vanadio

- **Menor coste de acabado**

Al ser un producto obtenido por metalurgia de polvos, la pieza total o parcialmente terminada no se requiere de operaciones de acabado excesivas, esto aminora el coste además de una producción en serie como se puede apreciar en la figura 3.5.

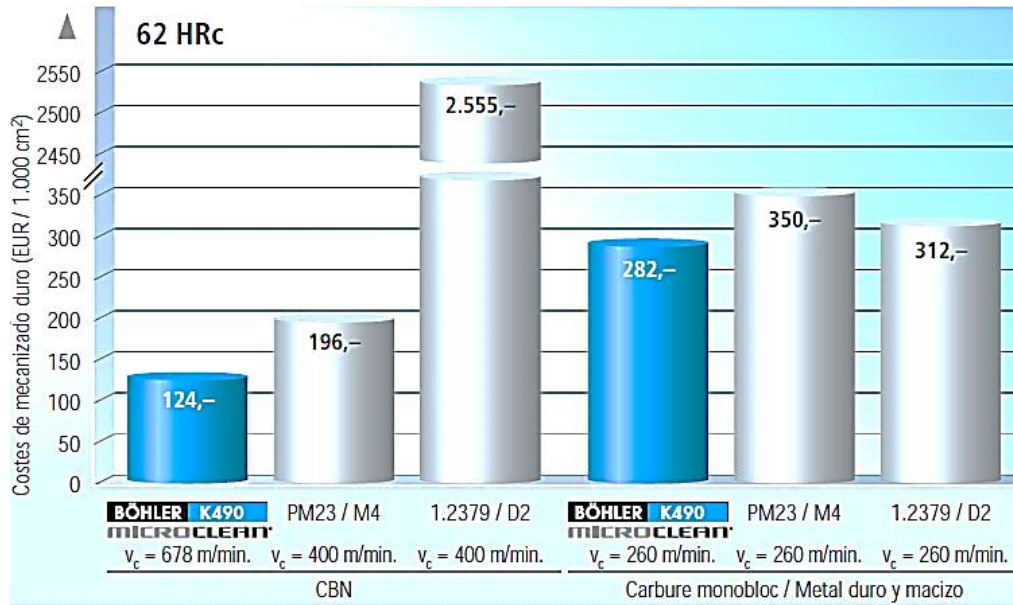


Figura 3.5 Comparación de costes M4 y D2 vs BÖHLER MICROCLEAN K490

- Tenacidad y resistencia al desgaste

Como es conocido, al elevar la dureza, disminuye la tenacidad en un acero, piezas producidas mediante polvos metalicos se puede obtener una tenacidad al mismo tiempo que una mayor resistencia al desgaste en comparacion con los procesos convencionales figura 3.6.

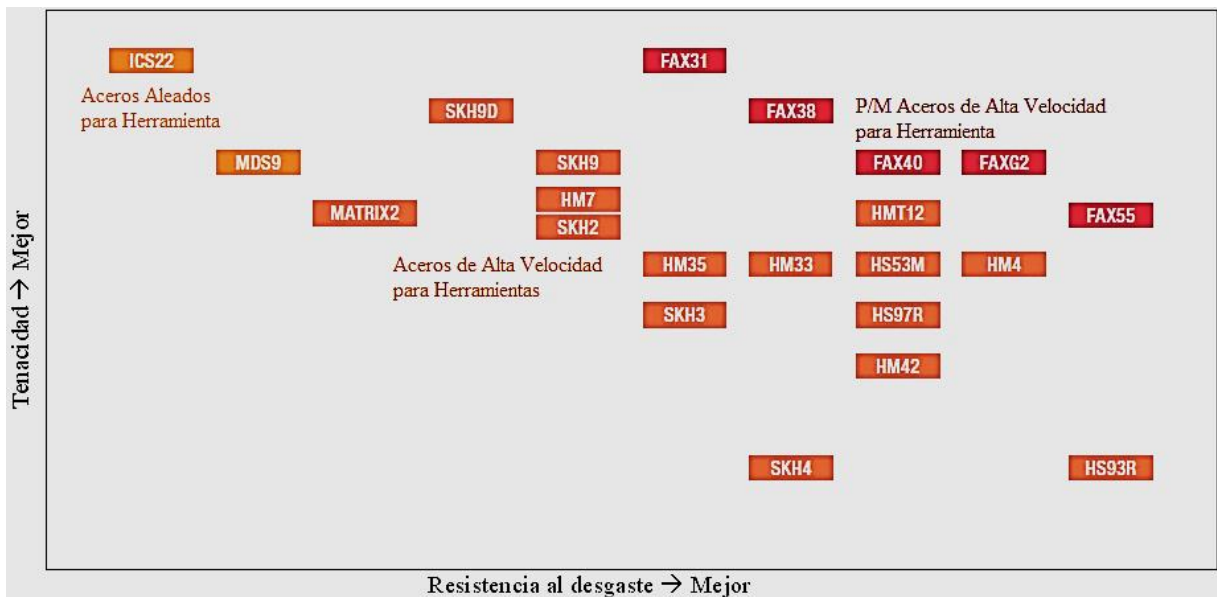


Figura 3.6 Resistencia al desgaste vs tenacidad [].

- **Mayor coeficiente de tenacidad**

Se puede tener una mayor tenacidad con altos niveles de dureza.

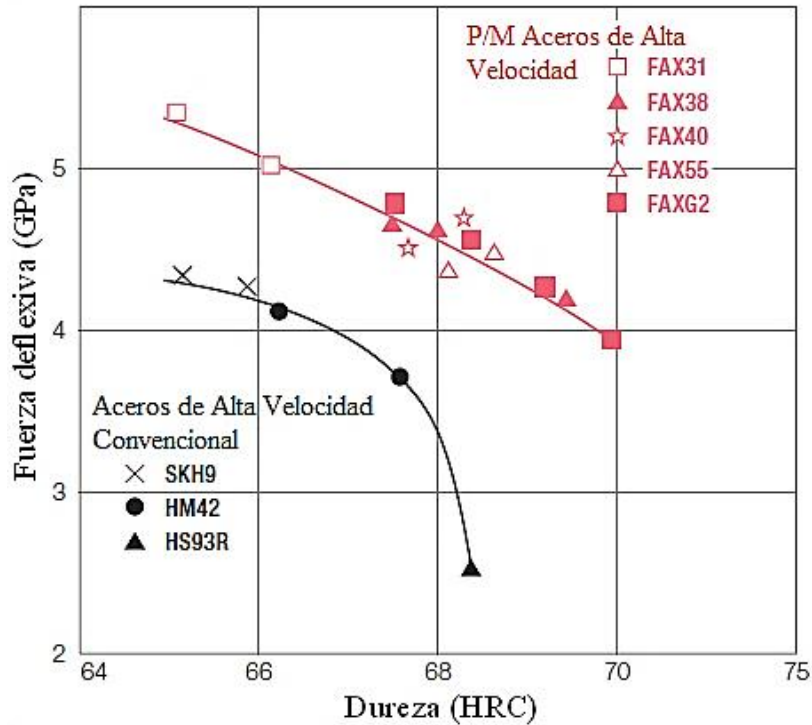
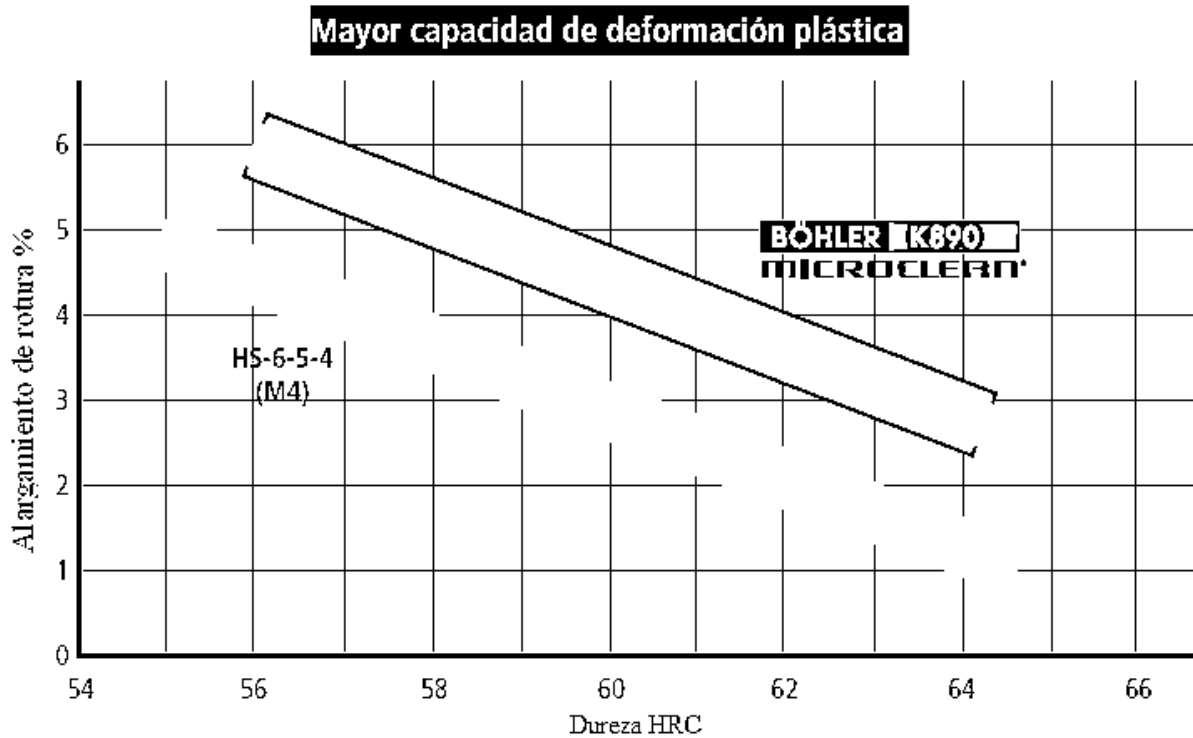


Figura 3.7 Dureza (HRC) vs Fuerza deflexiva.

- **Mayor resistencia a la tracción.**

La prueba más importante para caracterizar ductilidad y resistencia es la prueba de tracción uniaxial, como ninguna de las probetas normalizadas es apta para la caracterización de aceros para herramientas de alta dureza, BÖHLER y Material Center Leoben Forschung GmbH desarrollaron una probeta adecuada para tal prueba obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la siguiente figura 3.8.



Valores obtenidos de pruebas de tracción uniaxiales con probetas desarrolladas específicamente para aceros de herramientas de alta resistencia en Materials Center Leoben Forschung GmbH.

Figura 3.8 Capacidad de deformación plástica acero HS-6-5-4 (M4) y BÖHLER K890 MICROCLEAR

- **Buena resistencia al impacto**

En los aceros para trabajo en frío se requiere de una buena resistencia al impacto, por lo que los aceros para trabajo en frío producidos mediante polvos cumplen perfectamente con esta propiedad mecánica, a continuación se muestran dos graficas 3.9 y 3.10 que comparan esta propiedad mecánica con otros aceros.

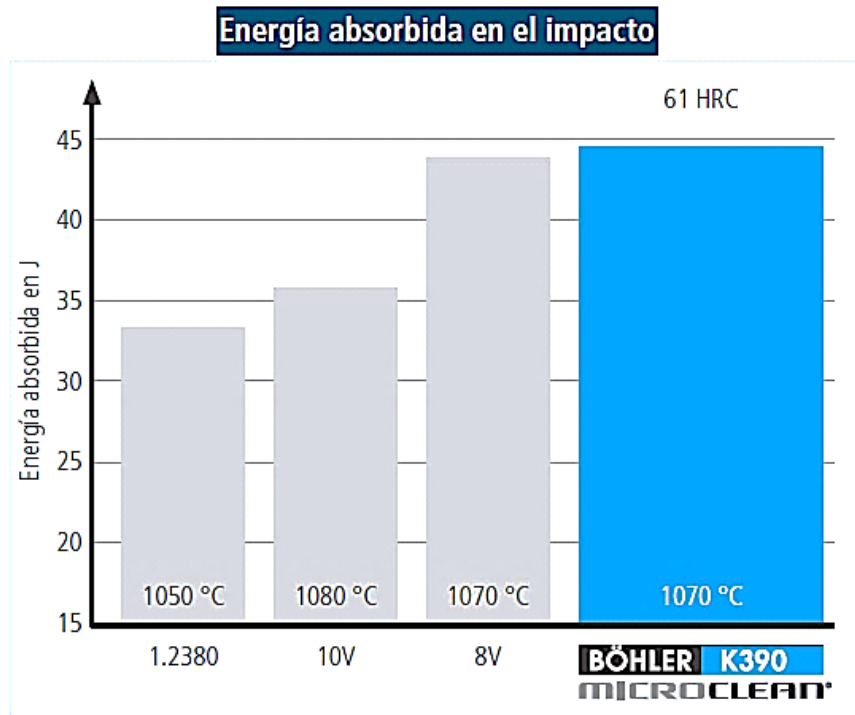


Figura 3.9 BÖHLER K390 destacando su excepcional tenacidad bajo cualquier condición de uso

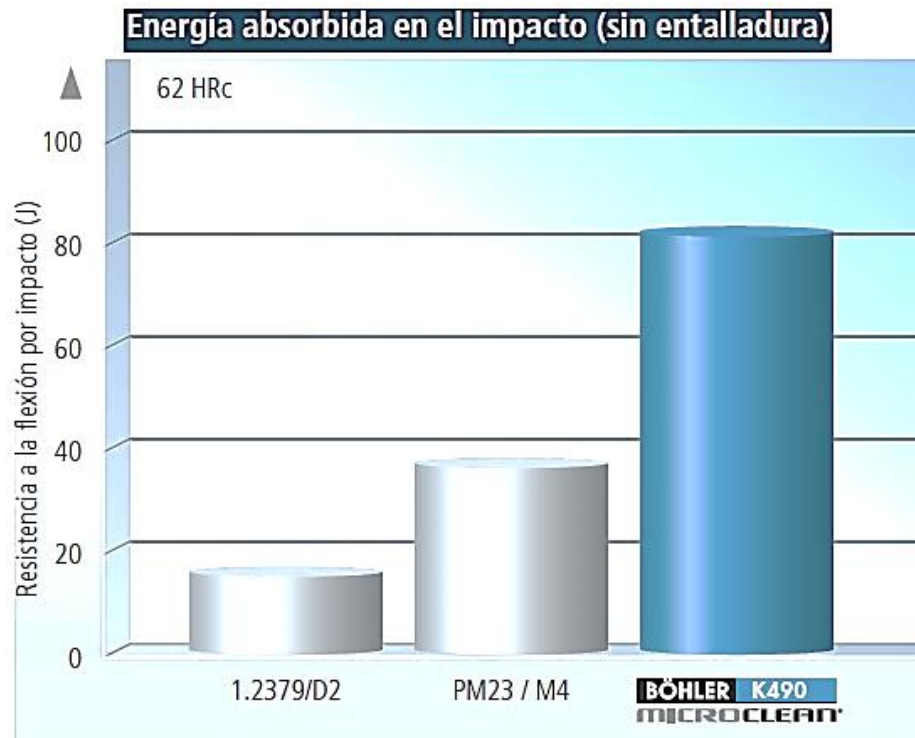


Figura 3.10 Probetas de acero en barra laminado en dirección longitudinal, tratadas térmicamente con enfriamiento a velocidad controlada: $\lambda \leq 0,5$. Dimensiones de barra: cerca de 35 mm, Tamaño de probeta: 10 x 7 x 55 mm, Parámetros de tratamiento térmico para: BÖHLER K490 MICROCLEAN: 1080 °C, 3 x 2 h, 560 °C, PM23: 1100 °C, 3 x 2 h, 570 °C 1.2379/D2: 1070 °C, 3 x 2 h, 520 °C

- **Optima resistencia a la compresión**

En una herramienta que trabaja en condiciones elevadas de temperatura y desgaste, esta propensa a sufrir compresión, esto se debe a diferentes factores principalmente atómicos, al tener una buena distribución de partículas en la pieza, esta eleva su resistencia a la compresión en el trabajo, figura 3.11.

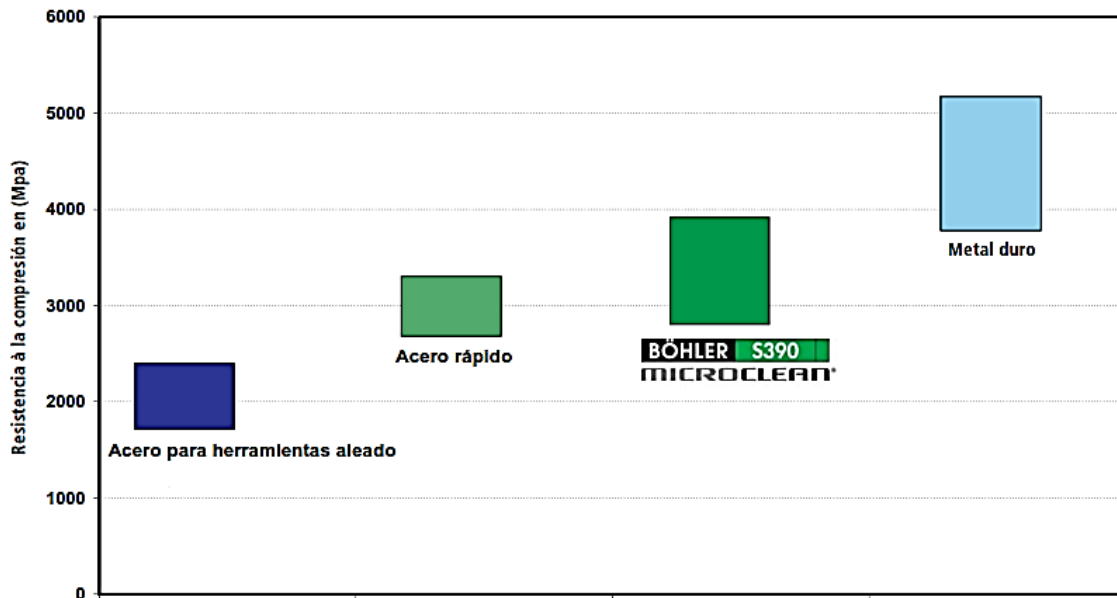


Figura 3.11 Resistencia a la compresión, acero BÖHLER S390

5.3 Aplicaciones de los aceros para herramienta sinterizados

Para aceros de alta velocidad (HSS):

Herramientas de arranque de viruta de alto rendimiento, como puede ser aleaciones de titanio y níquel.

- Fresas cilíndricas de una o varias piezas
- Fresas de disco, fresas perfiladoras, fresas helicoidales
- Herramientas de brochar de todo tipo
- Machos para roscar máquinas
- Brocas espirales
- Peines de roscar
- Escariadores
- Cintas de sierra bimetálica
- Brocas para taladro

Herramientas para esfuerzos compresivos extremos

- Punzón cortador, punzón de conformado
- Troqueles

Para aceros para trabajo en frio:

Aplicaciones en troquelado

- Herramientas de corte (matrices, punzones) para el troquelado normal y de precisión
- Rodillos de corte

Aplicaciones en conformación en frio

- Herramientas de extrusión (conformación en frio y semicaliente)
- Herramientas de embutición normal y profunda
- Herramientas de estampado
- Herramientas de laminación de roscas
- Cilindros de laminación en frio para soportes de rodillos múltiples
- Mandriles de laminación en frio con paso peregrino
- Herramientas para prensado en la industria cerámica y farmacéutica
- Herramientas de prensar para piezas sinterizadas
-

Cuchillas

- Industria del papel y embalaje
- Cuchillas circulares para cortadoras de tiras
- Cuchillas circulares para cortadoras de tiras
- Cuchillas para la industria del reciclaje
- Cuchillas para el corte de chapa fina

En la transformación de plásticos

- Cilindros de extrusión y transportadores sin fin
- Insertos de moldes
- Toberas de inyección
- Válvulas antiretorno

Otras aplicaciones:

Sierras para metales de bricolaje

Pasadores para impresoras de matriz de puntos

Partes de máquinas como eyectores

Cuchillas alisadoras motorizadas

Paletas de compresores rotativos de aire acondicionado

Broches de superficies para cuchillas de disco de la turbina de motores a reacción

Paletas para bomba hidráulica de paletas

Como ya se conoce, un acero puede ser utilizado para diversas aplicaciones, en seguida se muestra una tabla 3.3 donde revelan una perspectiva particular de las aplicación de cada tipo de acero desarrollado mediante polvos metálicos por el Grupo Nachi- Fujikoshi Corp.

Tabla 3.3 Aplicaciones de los aceros pulvimetalurgicos de Grupo Nachi- Fujikoshi Corp (○ bueno, ● excelente) [].

Grados NACHI	Herramientas de corte								Sierras para madera	Cuchillas industriales	Moldes/placas	Punzones	Rodillos para laminado	Elementos de máquinas resistentes al desgaste	Aletas	Mandriles	Pasadores	Herramientas para formado	Rodamientos para altas temperaturas
	Cortadores pequeños	Brochas	Rimas o escariadores	Fresas de vástago	Fresas simples	Cortadores de engranes	Brochas	Sierra cinta											
FAX18	○			○	○		○	●		○	○		○						
FAX31										●	●	○			○				
FAX38		●	○		○	●		○	●	○	○	○				○			
FAX55	○			○	○	●		●	○		○			○					
FAX40		●		○	○	○	○	○			○			○	○	○			
FAXG1	●			●			●				○			○					
FAXG2							●	●			○								

CAPITULO 6

ACEROS AL SILICIO

El acero al silicio, también llamado acero magnético, acero eléctrico, o acero para transformadores, es un acero especial fabricado para poseer determinadas propiedades magnéticas, tales como una zona de histéresis pequeña (poca disipación de energía por ciclo), figura 6.1, que equivale a bajas pérdidas en el núcleo y una alta permeabilidad magnética.

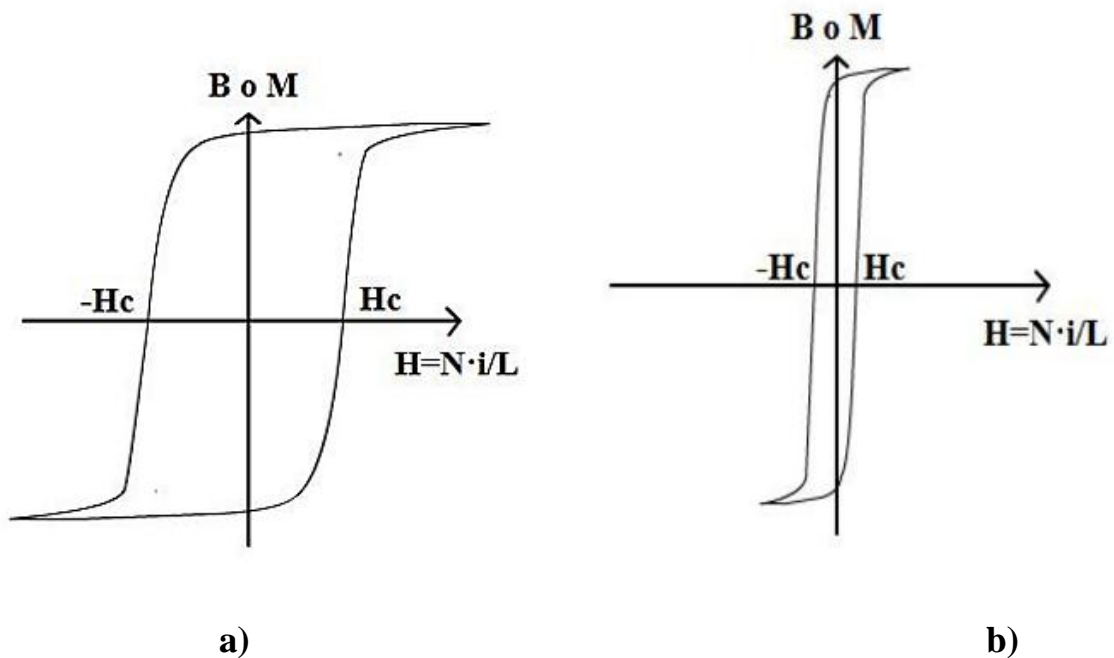


Figura 6.1. a) Materiales magnéticos duros: Los materiales magnéticos duros se caracterizan por una alta fuerza coercitiva H_c y una alta inducción magnética remanente B_r de este modo, los ciclos de histéresis de estos materiales son anchos y altos. Estos materiales, una vez se imantan, son difíciles de desimantar, por ello se utilizan para fabricar imanes artificiales. **b) Materiales magnéticos blandos:** Los materiales magnéticos blandos se imantan y desimantan fácilmente, por lo que presentan curvas de histéresis de apariencia estrecha con bajos valores de fuerza coercitiva (H_c) y alta saturación. Por tanto, tienen permeabilidades magnéticas altas. El uso de estos materiales está centrado en núcleos para transformadores, motores, generadores...

El material se fabrica habitualmente en forma de chapas laminadas en frío de 2 mm de espesor o menos. Estas chapas se apilan y una vez reunidas, forman los núcleos de transformadores o de estatores y rotores de motores eléctricos, figura 6.2. Las láminas se pueden cortar a su forma final mediante troquelado; para cantidades pequeñas, el material se puede cortar con láser o por electroerosión.

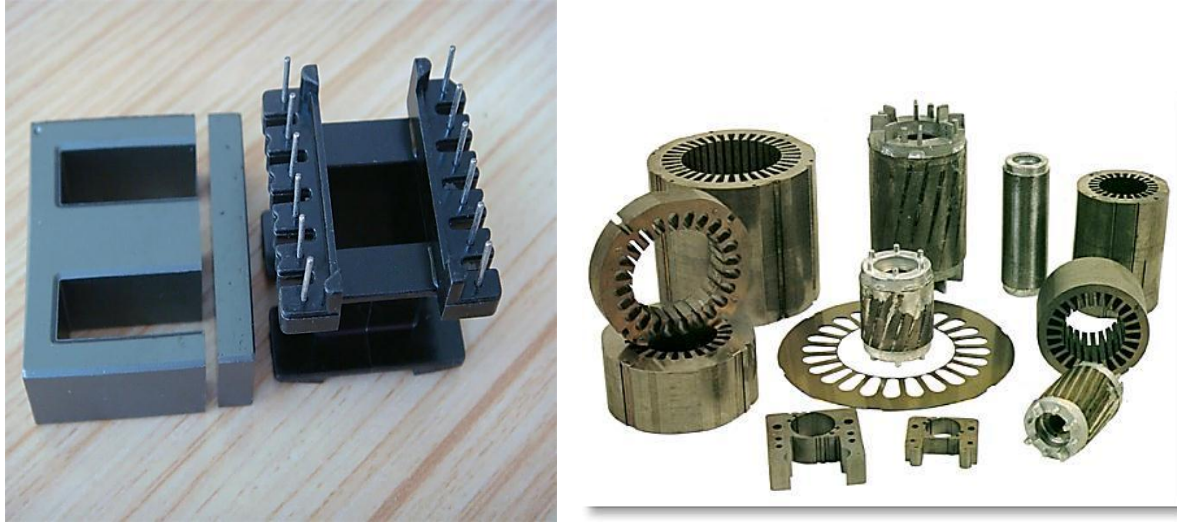


Figura 6.2. Aplicaciones de los aceros al silicio

6.1. METALURGIA

El acero eléctrico es una aleación de hierro con un contenido de silicio que varía de cero a 6.5%. El silicio aumenta significativamente la resistencia eléctrica del acero, lo que disminuye las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético y por lo tanto reduce las pérdidas en el núcleo. Se pueden añadir también manganeso y aluminio hasta en una proporción de 0.5%.

Sin embargo, la estructura del grano así logrado aumenta tanto la dureza como la fragilidad del metal, lo cual trae desventajas durante la laminación. Durante el proceso de aleación, los niveles de concentración de carbono, azufre, oxígeno y nitrógeno deben mantenerse bajos, ya que estos elementos elevan la presencia de carburos, sulfuros, óxidos y nitruros. La presencia de estos compuestos, aun en partículas tan pequeñas como un micrómetro de diámetro, aumenta las pérdidas por histéresis mientras que reduce la permeabilidad magnética. El carbono tiene un efecto más perjudicial que el azufre y el oxígeno, pues provoca una gradual reducción de las propiedades magnéticas al precipitar en forma de carburos, lo que a su vez resulta en un aumento de las pérdidas en el material. Por estas razones, el nivel de carbono se debe mantener en 0,005% o menos. Para reducirlo, se puede recocer el acero en un ambiente descarbonizante, por ejemplo, rico en hidrógeno.

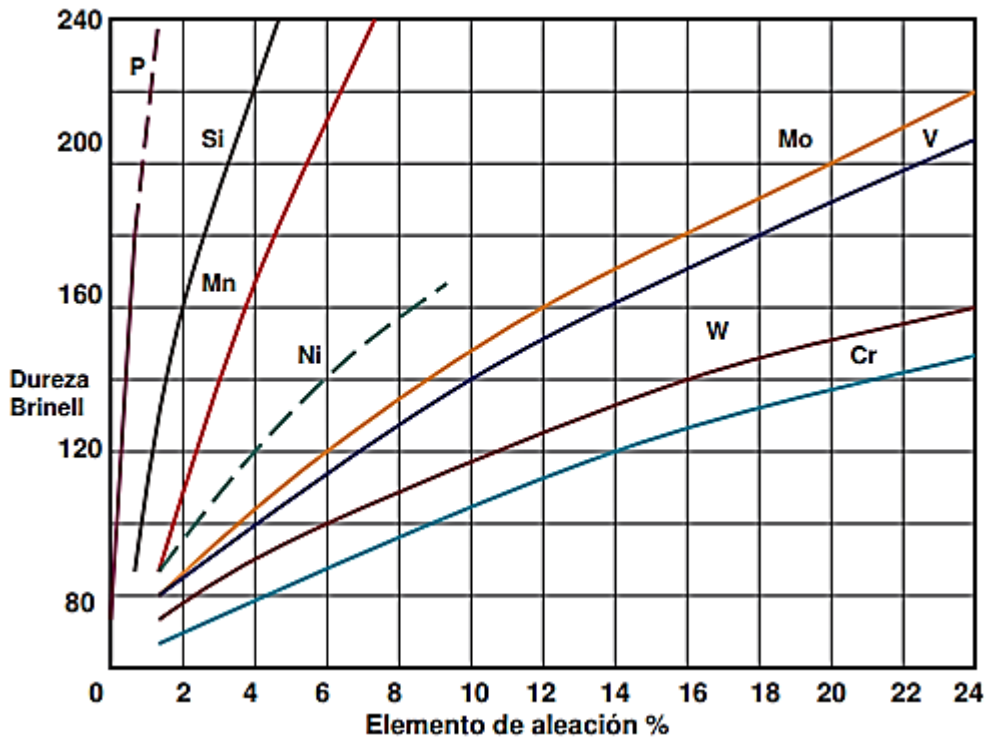


Figura 6.3. . Efecto del contenido de silicio en la dureza del acero.

6.2. ORIENTACIÓN DEL GRANO

Hay dos tipos principales de acero eléctrico: con grano orientado y no orientado.

Los aceros eléctricos de grano orientado normalmente tienen un nivel de 3% de silicio. Es procesado de tal manera que las propiedades óptimas se desarrollan en la dirección de la laminación, debido a un control estricto de la orientación de los cristales con respecto a la lámina. Debido a la orientación especial, la densidad de flujo magnético se incrementa en un 30% en la dirección de laminación, aunque su punto de saturación magnética se reduce en un 5%. Se utiliza para fabricar núcleos de transformadores de alta eficiencia y electroimanes.

El acero eléctrico no orientado por lo general tiene un nivel de silicio de 2 a 3.5% y tiene propiedades magnéticas isotrópicas, esto es, similares en todas las direcciones, por lo cual es menos costoso y es apropiado para su utilización en aplicaciones donde la dirección del flujo magnético no es rectilínea, mayormente en construcciones con simetría cilíndrica (máquinas

eléctricas rotantes). También se utiliza cuando la eficiencia es menos importante o cuando la geometría de construcción no deja espacio suficiente para alinear apropiadamente los componentes y así aprovechar las propiedades anisotrópicas de las chapas eléctricas de grano orientado.

6.3. REVESTIMIENTO

El acero eléctrico suele ser recubierto para aumentar la resistencia eléctrica entre las láminas, para proporcionar resistencia a la corrosión u oxidación y lubricación durante el corte. Existen varios revestimientos, tanto orgánicos como inorgánicos y su utilización depende de la aplicación del acero.² El tipo de recubrimiento seleccionado depende del tipo de tratamiento térmico de las láminas, de si la aplicación incluye inmersión en aceite y de la temperatura de trabajo del aparato. La práctica tradicional consistía en aislar cada lámina con una capa de papel o de barniz, pero esto reduce el factor de apilamiento del núcleo, limitando la temperatura máxima de operación del núcleo.

6.4. PROPIEDADES MAGNÉTICAS

Las propiedades magnéticas del acero eléctrico dependen del tratamiento térmico, puesto que el aumento del tamaño medio de los cristales disminuye las pérdidas por histéresis. Las pérdidas por histéresis se determinan mediante una prueba estándar y para los grados comúnmente disponibles de acero eléctrico, pueden variar de 2 a 10 vatios por kilogramo para una frecuencia de 60 Hz y un flujo magnético de 1.5 Tesla. Existen también aceros eléctricos semielaborados, los cuales son entregados en un estado tal que, después de darle a las chapas la forma final mediante troquelado, un posterior y último tratamiento térmico desarrolla el tamaño de grano deseado de 150 micrómetros. Los aceros totalmente elaborados generalmente se entregan con revestimiento aislante, tratamiento térmico completo, y propiedades magnéticas definidas, para aplicaciones donde la operación de troquelado no degrada significativamente las propiedades del material. Una curvatura excesiva, un tratamiento térmico incorrecto, o incluso una manipulación o almacenaje incorrectos del acero pueden afectar negativamente a las propiedades magnéticas y aumentar el ruido debido a la magnetostricción.

6.5. ACERO AMORFO

Para ciertos tipos de transformadores se utilizan núcleos de acero amorfo. Este material es un metal amorfo que se prepara vertiendo la aleación de acero fundido en un enfriador rotativo, que enfría el metal tan rápidamente (a una tasa de alrededor de un megakelvin por segundo) que los cristales no tienen tiempo de formarse. En los transformadores con núcleo de metal amorfo, las pérdidas debido al material del núcleo llegan a ser de tan sólo un tercio de las que ocurren en los núcleos de acero convencional. Sin embargo, su alto costo (aproximadamente el doble que el del acero convencional) y sus desventajosas propiedades mecánicas hacen que el uso del acero amorfo sea rentable sólo para determinados tipos de transformadores de distribución

CAPITULO 7

MEEHANITE

Meehanite® es la marca registrada de una familia de hierros fundidos fabricados bajo rígido control metalúrgico reuniendo propiedades bajo especificaciones de ingeniería y que ofrece las ventajas de **solidez uniforme, propiedades físicas consistentes y un rendimiento confiable en servicio.**



Figura 7.1. Logotipo de Meehanite

Meehanite® es en realidad de tres cosas.

- Es un proceso patentado de fundiciones de hierro a especificaciones de ingeniería exactas y bien definidas.
- Es un grupo de hierros fundidos de ingeniería de calidad superior y que incluye hierros de grafito nodular, hierros grises y blancos.
- Es un selecto grupo de compañías fundidoras de clase mundial capaces de suministrar fundiciones Meehanite® incluyendo bastidores que pesan desde menos de una libra hasta grandes componentes con un peso de más de 300,000 libras, pudiendo ser uno sólo o en cantidades superiores a los millones de piezas, figura 7.1



Figura 7.1. Ejemplos de piezas fabricadas con fundición Meehanite

Meehanite® nace en 1927 modificando las estructuras de grafito y controlando las propiedades de la fundición en relación el tamaño de sección. Metalúrgistas de Meehanite® encontraron que añadiendo siliciuros alcalinotérreos en el cucharón de colada a un hierro de poco carbono los carburos podrían reducirse y el hierro podía ser muy maquinable y con propiedades mecánicas uniformes, figura 7.2



Figura 7.2. Producción de fundición Meehanite

El proceso

La estructura compacta, de grano fino de metal de Meehanite® asegura la solidez de la fundición y propiedades físicas constantes se relacionan con la estabilidad del carburo del metal fundido, antes y después del procesamiento de la fundición. Estos controles son la base de una serie de patentes y que se remontan a 1926 son fundamentales para el proceso de

Meehanite® y son las principales razones para la integridad estructural de las fundiciones de Meehanite®.

1. El proceso Meehanite involucra una serie de características patentadas que buscan controlar y producir la distribución deseada de grafito y la estructura de la matriz deseada en el molde. Requiere una muy cuidadosa selección de materias primas, controles de proceso meticuloso y un conocimiento muy profundo de la industria de la fundición de hierro fundido.
2. El proceso Meehanite utiliza procedimientos estándar en todas las fases de fabricación de fundición, incluyendo técnicas de anillo de compuerta y elevación, métodos de ensayo y control de la arena y muchos procedimientos especializados de moldeo. Elimina las conjeturas, lo que resulta en un producto de ingeniería de alta calidad y confiabilidad.
3. Más recientemente, el proceso Meehanite ha avanzado para cubrir la fabricación de hierro dúctil austenítico de alta resistencia – MEEHANITE® ADI.

Expresado en su forma más simple, el metal Meehanite® funde primero a un grado definido de sobreenfriamiento (un estado donde los líquidos no solidifican aún por debajo de su punto de solidificación normal) o constitución que se relaciona con el tamaño de la fundición que será colada y el rango de propiedades físicas tales como resistencia a la tracción y la dureza necesaria. La nucleación con mezclas patentadas de agentes grafitizantes da como resultado la reducción de sobreenfriamiento, en la precipitación controlada de grafito y en una estructura eutéctica celular de grano fino que determina la densidad y la integridad física de la fundición. Hierros fundidos ordinarios obtenidos bajo especificaciones químicas no incluyen el beneficio de sobreenfriamiento controlados están influenciadas por el efecto de masa en un grado máximo y, por ello y otras razones no pueden considerarse un equivalente del metal Meehanite®

Tipos de Metal Meehanite®

Las especificaciones de metal de Meehanite® cubren toda la gama de hierros fundidos desde el más blando fácilmente maquinable hasta hierros fundidos dúctiles de alta resistencia con una resistencia máxima superior a la de muchos aceros.

Hay una serie de hierros con hojuelas de grafito y tipos de grafito nodular que se utilizan para aplicaciones de ingeniería general donde la fuerza y manufacturabilidad son las principales consideraciones. Se recomiendan otros tipos donde la corrosión, resistencia térmica o resistencia al desgaste tienen un papel dominante.

La metalurgia de Meehanite

Existen dos materiales básicos cubiertos por la mayoría de especificaciones de MEEHANITE, el hierro fundido gris (hojuelas de grafito) y los tipos de "nodular", SG o fundición nodular o esferoidal. Los hierros fundidos grises fueron el resultado de las patentes originales de MEEHANITE desarrollada a mediados de los años 20' Del siglo XX.

Se trata de fundiciones de servicio pesado producidos a partir de una cuidadosa selección de los materiales de la carga fundidos en un horno para producir un hierro líquido de un valor constitucional conocido. Este metal fundido es procesado posteriormente por inoculación controlada; es decir, el hierro líquido con un grado conocido de sobreenfriamiento se "dopa" con una cantidad predeterminada de material inoculante para obtener una estructura definida, para cualquier tipo dado de MEEHANITE, relacionados con la velocidad de enriamiento que depende del tamaño de la pieza fundida. Esto significa que la composición química del metal MEEHANITE es meramente incidental a la estructura del molde. El objeto de estas técnicas de procesamiento es la producción de microestructuras en el material que generalmente consisten de hojuelas cortas, rechonchas de grafito en una matriz perlítica y la ausencia de microconstituyentes indeseables como fosfuro de hierro y cementita. Aunque, el último componente será encontrado en ciertos tipos resistentes al calor y desgaste para asegurar un alto grado de resistencia al calor o abrasión.

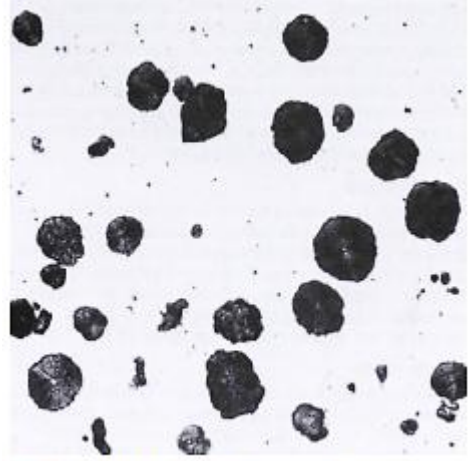
En tipos de mayor resistencia, la ferrita, un constituyente de baja dureza y resistencia está ausente; sin embargo, está presente, en la matriz, en cantidades relativamente pequeñas en los tipos GE200/GE30 y GF150/GF20. En lo que se refiere a las piezas de fundición, el resultado es una uniforme, firme estructura de grano fino a lo largo de la sección de molde, la ausencia

de grano abierto en el centro de perfiles grandes en el centro de perfiles pesados y la ausencia de bordes y esquinas, templados duros. Todos estos factores hacen de fácil mecanización, coherente y garantizan que los parámetros de diseño adoptadas por el diseñador se cumplen en la pieza fundida.

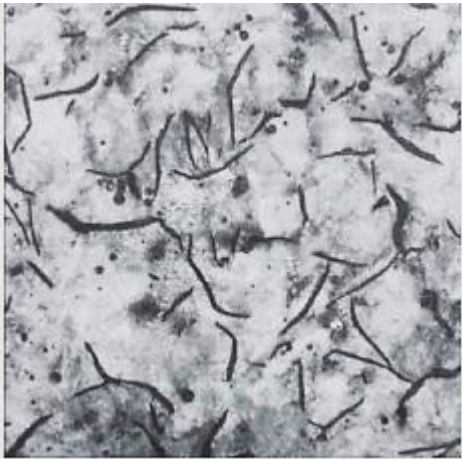
El hierro dúctil, fundición nodular o SG de MEEHANITE fueron desarrollados en la década de los 50's del siglo XX y una serie de procesos fueron patentados para su fabricación Una vez más, la selección de materiales cuidado y control de procesos son las notas clave para la producción de la variedad de piezas de fundición de hierro nodular MEEHANITE a una gama de especificaciones Un bajo nivel de azufre inicial en el metal fundido se combina con un tratamiento de nodularización bien probado ofrece las garantías necesarias a los diseñadores y compradores de piezas de hierro fundido nodular MEEHANITE. En este sentido, la Organización MEEAHNITE ha desarrollado, a lo largo de los años, una serie de técnicas de procesamiento patentadas muy satisfactorias, tales como los procesos: "Flotret", "Osmose", "Inmold, "IMCONOD" y "Trigger". Cada técnica tiene un lugar en la fundición y el uso de cualquier método particular depende esencialmente de la naturaleza de la producción que se esté llevando a cabo. En cuanto al material resultante, con una matriz ferrítica puramente, pueden obtenerse valores de elongación de hasta un 25%, con una resistencia a la tensión de 350N/mm^2 [$\sim 50000\text{lbf/in}^2$]. Si una parte de la ferrita en la matriz se sustituye por perlita aumenta la resistencia a la tracción y la ductilidad, medida por el alargamiento, disminuye. Con sólo perlita en la microestructura son posibles valores de resistencia de hasta 800N/mm^2 [115000lbf/in^2] en la condición as-cast. En piezas de fundición con tratamiento térmico que contienen estructuras de sorbita-perlita se pueden lograr resistencias de más de 800 N / mm^2 [115000 lbf / in^2]. El material sigue siendo relativamente tenaz en estos valores de resistencia con niveles de elongación del 2% al 3%. La estructura perlítica de la matriz se puede convertir en bainita o martensita por tratamientos térmicos más severos, con un posterior aumento en resistencia o dureza. El estricto control metalúrgico ejercido por las fundidoras con licencias de MEEHANITE proporciona a diseñadores e ingenieros un material confiable y uniforme que el máximo de beneficios de un buen diseño de moldeo se puede utilizar con el fin de lograr factores de seguridad adecuadas, eliminar peso innecesario y maquinabilidad consistente. En la figura 7.3 se muestran algunas microestructuras que se pueden obtener en fundiciones Meehanite



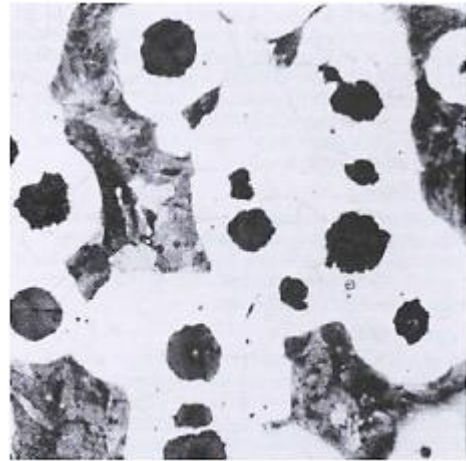
MEEHANITE Type GE200



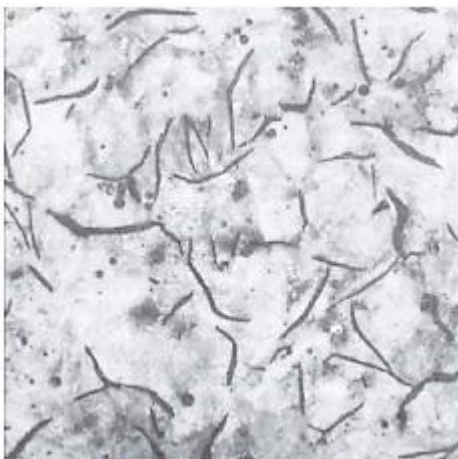
MEEHANITE Type SF400



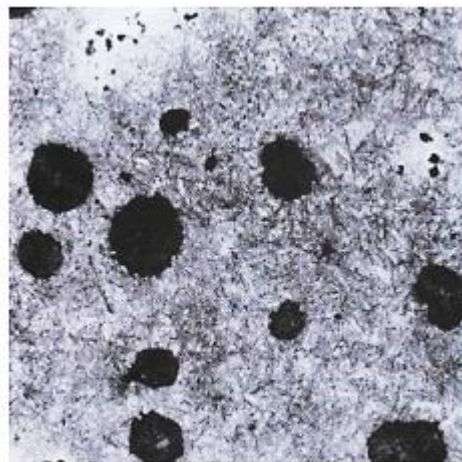
MEEHANITE Type GC275



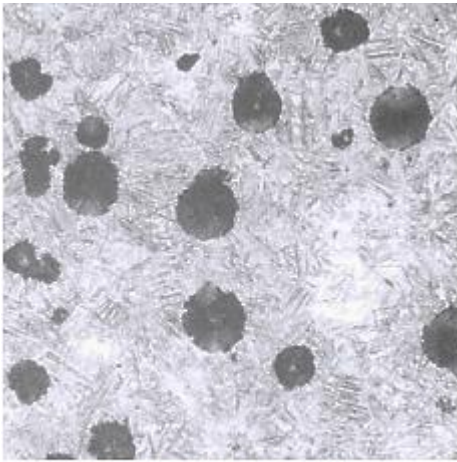
MEEHANITE Type SFP500



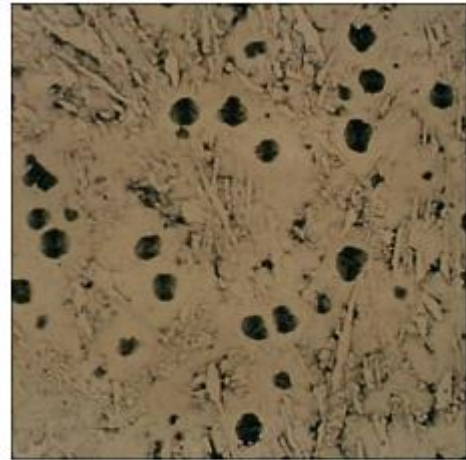
MEEHANITE Type GC275



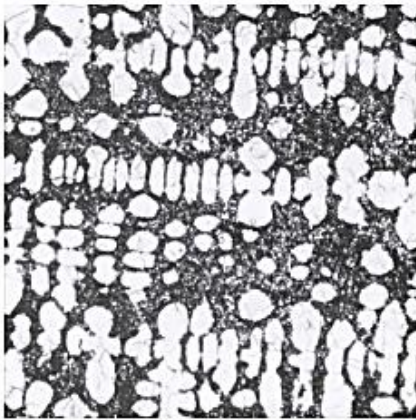
MEEHANITE Type SH1000



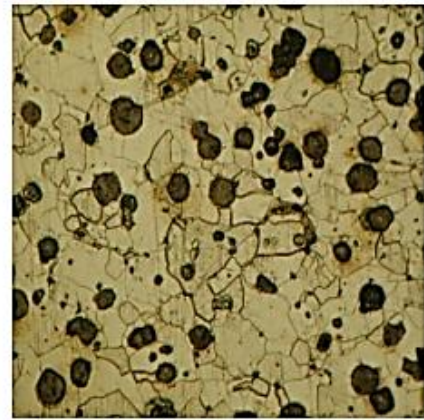
MEEHANITE Type ADI



MEEHANITE Type WSH₁



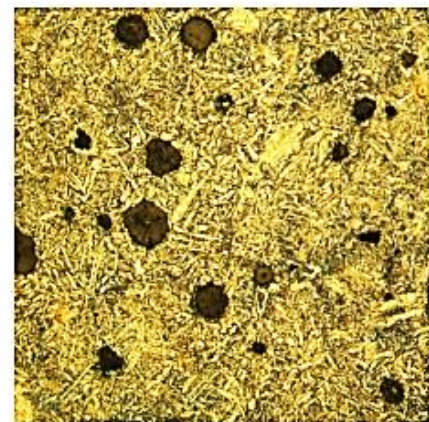
MEEHANITE Type UC



MEEHANITE Type SFF500



MEEHANITE Type FC275



MEEHANITE Type SHBP1250

Figura 7.3. Microestructuras obtenidas en fundiciones Meehanite

CAPITULO 8

ALEACIONES DE COBRE

Las aleaciones base cobre son más pesadas que el hierro, y si bien la temperatura de fluencia es elevada, la relación resistencia-peso es típicamente inferior a la de las aleaciones de aluminio y magnesio. Las aleaciones tienen mayor resistencia a la fatiga, a la termofluencia y la desgaste abrasivo que las aleaciones ligeras, presentando una excelente ductilidad, resistencia a la corrosión, muy buena conductividad eléctrica y electrónica, y responden muy bien al endurecimiento por deformación.

Existen más de 400 aleaciones de cobre, cada una con una combinación única de propiedades, que se adaptan a un gran número de aplicaciones, procesos de fabricación y entornos.

Para hacer que el cobre sea lo más versátil posible, se pueden modificar sus características originales en función del uso final que se le quiera dar, aleándolo o "mezclándolo" con otros metales. Dos de las aleaciones de cobre más conocidas, son el latón (donde se mezcla con zinc) y el bronce (donde se mezcla con estaño).

La industria del cobre continúa desarrollando aleaciones innovadoras que aprovechan la versatilidad del cobre para nuevas aplicaciones. Hoy en día, el cobre se mezcla con una gran variedad de metales, incluidos el aluminio, el níquel, el silicio, el manganeso, la plata y el telurio, ver figura 8.1. Constantemente se están desarrollando nuevas aleaciones que satisfacen las crecientes necesidades que se dan en el campo de la electrónica, los superconductores, el transporte y la sanidad.

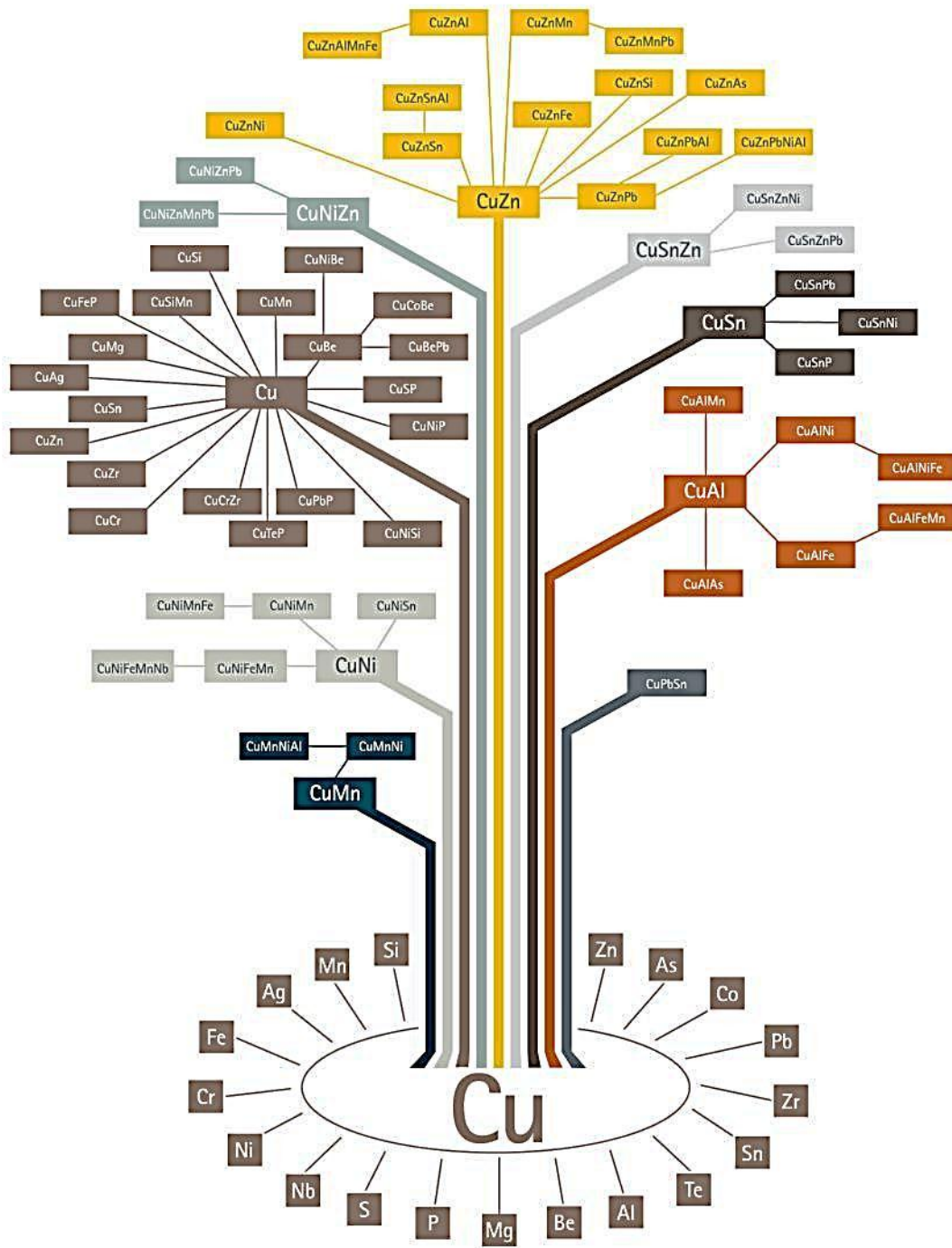


Figura 8.1. Elementos de aleación del cobre.

8.1. COBRE COMERCIALMENTE PURO.

Los cobre que contienen menos del 1% de impurezas se utilizan en aplicaciones eléctricas por su elevada conductividad, debiendo tener especial cuidado en el contenido en oxígeno de los

mismos, por lo que suelen utilizarse desoxidados con fósforo. Algunas aleaciones se endurecen por dispersión al adicionar pequeñas cantidades de óxidos, fundamentalmente alúmina, lo cual mejora la dureza de la aleación sin disminuir significativamente la conductividad eléctrica. Cualquiera de estas aleaciones puede endurecerse por deformación, consiguiendo grandes aumentos de sus características mecánicas con disminuciones poco relevantes de sus prestaciones eléctricas.

8.2. ALEACIONES DE COBRE

La forma más común de clasificar a las aleaciones de Cu es dividirla en 6 familias: a) cobre b) cobre diluido (high coppers alloys) c) latones d) bronce e) Cu-Ni (cuproníqueles) f) Cu-Ni-Zn (alpaca, o plata alemana, o metal blanco, o plata nueva o argentán) La primera familia de aleaciones (a) cobre, es básicamente cobre comercialmente puro, el cual es blando y dúctil. Su contenido de impurezas siempre es menor a 0,7%. La segunda familia (b) cobre diluido, son las llamadas high copper alloys en la literatura anglosajona. Contienen pequeñas cantidades de elementos aleantes (Be, Cd, Cr, Fe) y cada uno de estos muestra una solubilidad en estado sólido menor al 1% p/p. Estos elementos modifican una o varias propiedades básicas. Las siguientes familias (latones, bronce, cuproníqueles, aleaciones Cu-NiZn), contienen uno de los cinco elementos siguientes Zn, Sn, Al, Si, Ni como aleante primario. Se clasifican como se muestra en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Clasificación primaria de las aleaciones de cobre.

Cuando el aleante es el:	Se forma la familia de:	Solubilidad en estado sólido (at %) a 20°C
Zn	Latones	37
Sn	Bronces al fósforo	9
Al	Bronces al aluminio	19
Si	Bronces al silicio	8
Ni	CuNi y CuNiZn	100

Designación

La designación del cobre y las aleaciones de cobre forman parte del "Unified Numbering System" (UNS) para metales y aleaciones, normalizado por "American Society for Testing and

Materials" (ASTM) y la "Society of Automotive Engineers" (SAE). Pero el sistema de denominación más antiguo es el desarrollado por "Copper Development Association" (CDA), actualmente todavía utilizado.

Sistema UNS:

El cobre y las aleaciones de cobre se designan por 5 dígitos numéricos precedidos de la letra "C". En realidad este sistema añade dos dígitos a la designación de CDA. Por ejemplo el latón libre de mecanizado en CDA se denomina con el número: 360, y en sistema UNS: C36000.

El sistema UNS clasifica el cobre en dos grandes grupos. Aleaciones para forja, denominadas entre C10000 y C79999, y aleaciones para colada denominadas entre C80000 y C99999. En los dos casos se clasifican en familias como: cobres, aleaciones de alto contenido en cobre, latones, bronces, cupro-níqueles y níquel-plata. Las aleaciones que no se encuentran en estos casos se clasifican como "otras aleaciones de cobre-cinc" en aleaciones para forja y "aleaciones especiales" en aleaciones para colada

Sistema ISO:

La Organización Internacional de Normalización (ISO) describe el sistema composicional en ISO 1190 Part1. Se basa en los símbolos de los elementos de aleación puestos en orden decreciente del porcentaje. Por ejemplo: CuZn39

Sistema CEN:

El sistema ISO es difícil de manejar cuando se tratan de aleaciones complejas, por eso en Europa se ha formulado un nuevo sistema de numeración, por el "Comité Européen de Normalisation" (CEN). El CEN/TC 132 describe un sistema de seis dígitos alfa-numéricos. La primera letra es: "C", que indica aleación de cobre. La segunda letra indica el estado del material: "W" para material de forja, "C" para colada, "B" en forma de lingotes y "M" para aleación madre. Los tres números siguientes se usan para identificar el material, el rango va de 001 a 999, y finalmente la última letra se usa para identificar la clasificación individual del grupo.

8.3. BRONCES

El bronce es toda aleación de cobre y estaño. El contenido de cobre en esta aleación es generalmente superior al 60%. Se puede reconocer el contenido de estaño por el color del bronce: los tonos más dorados tienen un mayor contenido de estaño, mientras que los tonos más rojizos tienen un menor contenido de estaño. Además, el estaño ayuda a que se forme la característica pátina protectora que aumenta la dureza del cobre y su resistencia a la corrosión.

Bronce al estaño

Generalmente conocido como bronce al fósforo, debido a que este se encuentra presente como un desoxidante al fundir. El rango usual de contenido de fósforo está entre 0.01% y 0.5% y de estaño entre 1% y 11%.

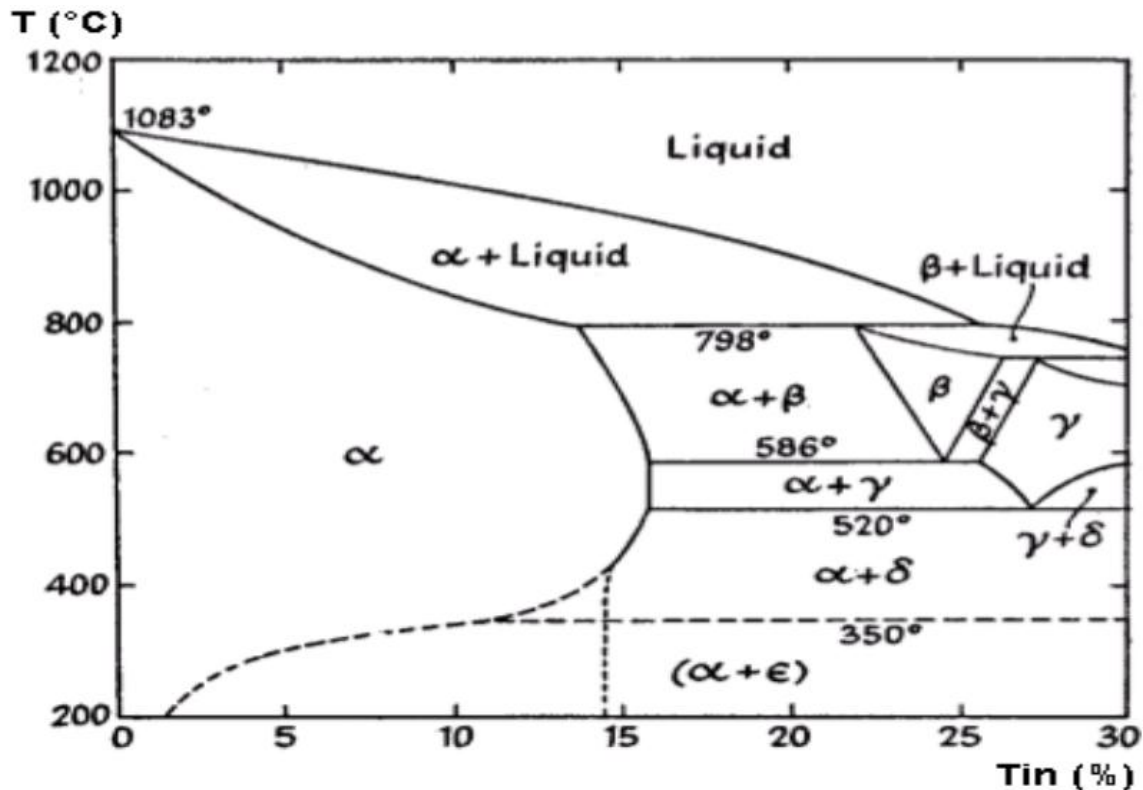


Figura 8.2. Porción del diagrama de fases Cu-Sn

Los bronce al fosforo se caracterizan por tenacidad, alta resistencia a la corrosión. bajo coeficiente de fricción y libertad de presencia de fisuras por esfuerzo de corrosión. Se utilizan

ampliamente para diafragmas, fuelles, arandelas de sujeción, seguros, bujes, discos de embrague y resortes.

En ocasiones, el zinc se emplea para sustituir parte del estaño; esto da como resultado una mejoría en las propiedades de las piezas fundidas y en la tenacidad del mismo, con poco efecto sobre la resistencia al desgaste.

Generalmente se le añade plomo al bronce y al estaño a fin de mejorar la maquinabilidad y la resistencia al desgaste. El bronce al estaño al alto plomo puede contener hasta un 25% de plomo. Las aleaciones que contienen plomo se utilizan en bujes y cojinetes sujetos a cargas moderadas o ligeras.

Tabla 8.2. Aleaciones de cobre y sus propiedades mecánicas.

CDA	SAE	Cobre %	Estaño %	Plomo %	Zinc %	Alum. % Max	Níquel % Max	Hierro % Max	Otros % Max.	Resistencia a la Tensión Mínima	% Alargamiento en 5 cm.	Dureza Brinell En 500 Kg.	Densidad (gr/cm ³) a 20°C
Sinterizado	841	86.3-90.5	9.5-10.5	--	--	--	--	1	1.75 C	14000			6.6
844	STD.	79-82	2.3-3.5	6-8	7-10	--	0.8	0.3	0.3	29000	18	50-60	8.33
905	62	86-89	9-11	0-0.3	1-3	0.005	1	0.15	0.3	40000	20	75-85	8.72
932	660	82-84	6.5-7.5	6.5-7.7	2.5-4	--	0.8	0.2	0.4	30000	12	55-65	8.93
937	64	78-81	9-11	8-11	0-0.75	0.005	0.5	0.15	0.6	34000	22-8	56-70	8.86
954	Bronce al Al.	85-88	--	--	--	10-11.5	0-2.5	3-5	0.5	75000 90000	12-6	150-190 (3000 Kgs)	7.45
180	Bronce al Ni Cr	95 Min	0.4-0.8 Si.	--	--	--	1.8-3	0.15	0.1-0.8 Cr	100000	13	210 (3000 kgs)	
C 630	Bronce Ni-Al	82	--	--	--	10	5	3	--				7.58

Bronce al Silicio

Los bronce al silicio son los más fuertes de las aleaciones de cobre y son endurecibles por trabajo en frío. Tienen propiedades mecánicas comparables a las de los aceros de medio carbono y una resistencia a la corrosión comparable a la del cobre. Se utiliza en tanques, recipientes de presión, construcción marítima y conductos hidráulicos sujetos a presión.

Bronce al Aluminio

La mayoría de los bronce al aluminio comerciales contienen entre 4 y 11% de aluminio. Aquellas aleaciones que contienen hasta 7.5% de aluminio suelen ser aleaciones monofásicas, en tanto que las que poseen entre 7.5 y 11% de aluminio son aleaciones bifásicas. El hierro, el níquel, el manganeso y el silicio frecuentemente se añaden a los bronce al aluminio. El hierro (0.5% a 5.0%) incrementa la resistencia a la dureza y refina el grano; el níquel (hasta 5%) tiene el mismo efecto que el hierro, pero no es tan eficaz; el silicio (hasta 2%) mejora la maquinabilidad; el manganeso disminuye la formación de defectos en las piezas fundidas al combinarse con gases y también mejora la resistencia.

Los bronce al aluminio unifásicos muestran buenas propiedades de trabajo en frío y gran resistencia, combinadas con resistencia a la corrosión por ataques atmosféricos y por agua. Se utilizan en tubos para condensador, piezas trabajadas en frío, recipientes que resisten la corrosión, tuercas y tornillos y cubiertas de protección en aplicaciones marinas.

Los bronce al aluminio tratados térmicamente se utilizan para engranes, ejes motrices, palets, piezas de bombas, cojinetes, bujes, herramientas que formen chispas y dados para estiramiento y formado.

Algunos Usos:

- Equipos industriales y de construcción.
- Cuerpos de bombas, impulsores y turbinas hidráulicas.
- Hélices para barcos.
- Coronas, sinfines y engranes.
- Bujes y pernos para mecánica pesada.
- Guías de válvulas, pernos y bielas para motores diesel.

Bronce al Níquel Aluminio C-630 SAE J463(Cu 82%, Al 10%, 3% Fe, 5% Ni) AMS 4640

El bronce 630 es un bronce al Níquel Aluminio siendo una excelente opción para aplicaciones donde lleva cargas pesadas, una fuerte abrasión, alta fricción y que esté expuesta a la corrosión. El Níquel en ésta aleación incrementa la fuerza de éste bronce sin disminuir su ductilidad, resistencia a trabajos pesados y resistencia a la corrosión.

Tiene buena resistencia al ácido sulfúrico, hidroclicórico y a otros ácidos no oxidantes así como el agua salada. Su superior erosión y propiedades específicas facilitan su aplicación en bombas y hélices. En conjunto, las propiedades del bronce 630 lo hacen adecuado para dar servicio dentro de motores de combustión interna y aplicaciones donde se encuentre en contacto con químicos.

No adecuado para ser trabajado en frío. La temperatura ideal para ser trabajado varía entre un rango de 760 a 900 °C.

Algunos usos:

- Válvulas de escape.
- Agarradera de bombas.
- Casquillo de cerraduras.
- Bujes de trenes de aterrizaje.
- Cojinetes.
- Bujes del alerón.
- Bujes del puntal.
- Guías de válvulas.
- Asiento de válvulas.
- Intercambiador de calor de cabezales.
- Hélices para barcos, tuercas y ejes.
- Engranajes, levas, etc.

Bronce Sintetizado: SAE 841 (Autolubricado)

Utilizado para cubrir parte del mercado de refacciones y fabricación de bujes o cojinetes cilíndricos. Es muy utilizado ya que éste material no necesita lubricación pues viene saturado en aceites de alta calidad entre 200 y 400 s.s.u. dependiendo del tamaño de la barra.

Algunos Usos: Electrodomésticos, motores eléctricos de mediana y baja potencia, componentes de automóviles, asientos giratorios, etc.

La sinterización de las barras se lleva a cabo dentro de una atmósfera controlada con alto contenido de hidrógeno. Las propiedades generales corresponden a la norma ASTM-B-438, grado I, tipo I.

- No someta los bujes a impactos o golpes, ya que se pueden quebrar.

Durante el maquinado de las piezas es necesario vigilar que no se cierren los poros, ya que se disminuiría considerablemente su vida útil. No se recomienda utilizar aceites de corte soluble que contengan solventes, sino aceites universales o en seco. Tampoco se deben usar lijas ni abrasivos para terminar los bujes. Sin embargo, la mejor forma es mediante bruñidores rotativos o baleadores que permiten tolerancias estrechas, sin perjudicar la porosidad.

Su almacenamiento debe ser en lugares frescos y fuera de contacto con materiales absorbentes, a fin de evitar la pérdida del aceite.

8.4. LATONES

El latón es una aleación de Cu y Zn. Sus propiedades mecánicas varían enormemente en función de su composición y la forma de trabajo. Existen alrededor de 70 aleaciones distintas de latón, cada una con características específicas.

Tipo de latón ternario	Composición	Características y aplicaciones
Latón al plomo	CuZn38Pb2 CuZn39Pb2 CuZn40Pb2	Utilizados para estampación y trabajo con máquinas herramientas, en particular para la producción de grifería y accesorios varios para baño, valvulería, monturas y tornillería
Latón al estaño	CuZn28Sn1As	Condensadores, intercambiadores de calor, destiladores, aplicaciones marinas en general (latón almirantazgo)
	CuZn19Sn	Instrumentos musicales (latón)
Latón al Aluminio	CuZn20Al2As	Utilizado para tubos condensadores e intercambiadores de calor, tuberías y racordería para agua marina

Figura 8.3. Tipos, composiciones y aplicaciones de los latones ternarios

Propiedades

En general, poseen las propiedades esenciales del cobre (dúctiles, maleables, buenos conductores, etc.), pero con un menor coste, mayor facilidad para ser trabajados y algo más de resistencia mecánica. Su color varía entre un gris oscuro hasta un amarillo a medida que disminuye el contenido en cinc. La película superficial sobre el latón en agua potable está

compuesta mayoritariamente por Cu_2O y por oxohidroxidos de Zn siendo difícilmente reducible. Tienen excelente resistencia a la corrosión, siendo económicamente la primera opción para muchas aplicaciones. Con la exposición al aire libre se puede crear una fina película protectora no muy estética de carbonato cúprico. En ambiente salino hay que procurar escoger aleaciones con adiciones de estaño (admiralty brasses) y en los latones con un contenido en cinc superior al 15%, debe contemplarse la producción de un proceso de descifricación, por eso se adiciona pequeñas cantidades de arsénico a las aleaciones alfa para ser más resistente a este tipo de corrosión.

Las conductividades eléctrica y térmica son propiedades secundarias, siendo el objetivo principal de las aleaciones de cobre conseguir buenas propiedades mecánicas, facilidad de conformación, tanto por forja como por moldeo, y alta resistencia a la corrosión. Esta última propiedad quizás sea la más importante, puesto que, al igual que los aceros inoxidable especiales, el cobre es el único metal apto para ambientes agresivos con un costo considerablemente más bajo que el de los aceros. Estas aleaciones poseen un contenido en cinc máximo de 50%, pues a porcentajes superiores las aleaciones resultantes son muy frágiles; también el peso específico depende del porcentaje de aleación así como las demás propiedades físicas entre ellas las mecánicas en las que además influye el proceso que se haya utilizado en ellos, así por ejemplo los deformados en frío, igual que ocurre con el cobre, son mucho más resistentes que los latones recocidos.

El latón es menos resistente que el cobre a la acción de los agentes atmosféricos, pero resiste perfectamente el agua y el vapor recalentado, sobre todo el latón con constituyente "?", así como bastante bien la acción del agua del mar, sin embargo resiste mal la acción de los ácidos sulfúrico y clorhídrico.

Clasificación

Estas aleaciones se dividen, al igual que los bronce, en ordinarios (binarios) y en aleados. Los ordinarios son los formados únicamente por cobre y cinc, y pueden dividirse en dos grupos: latones para moldeo y latones para forja. Los latones para moldeo requieren de pequeñas cantidades de otros elementos que faciliten su moldeabilidad. Por su parte, los latones para forja

se dividen a su vez en latones rojos, utilizados en joyería y decoración y en la fabricación de tubos flexibles, y en latones amarillos empleados para la fabricación de muelles y resortes.

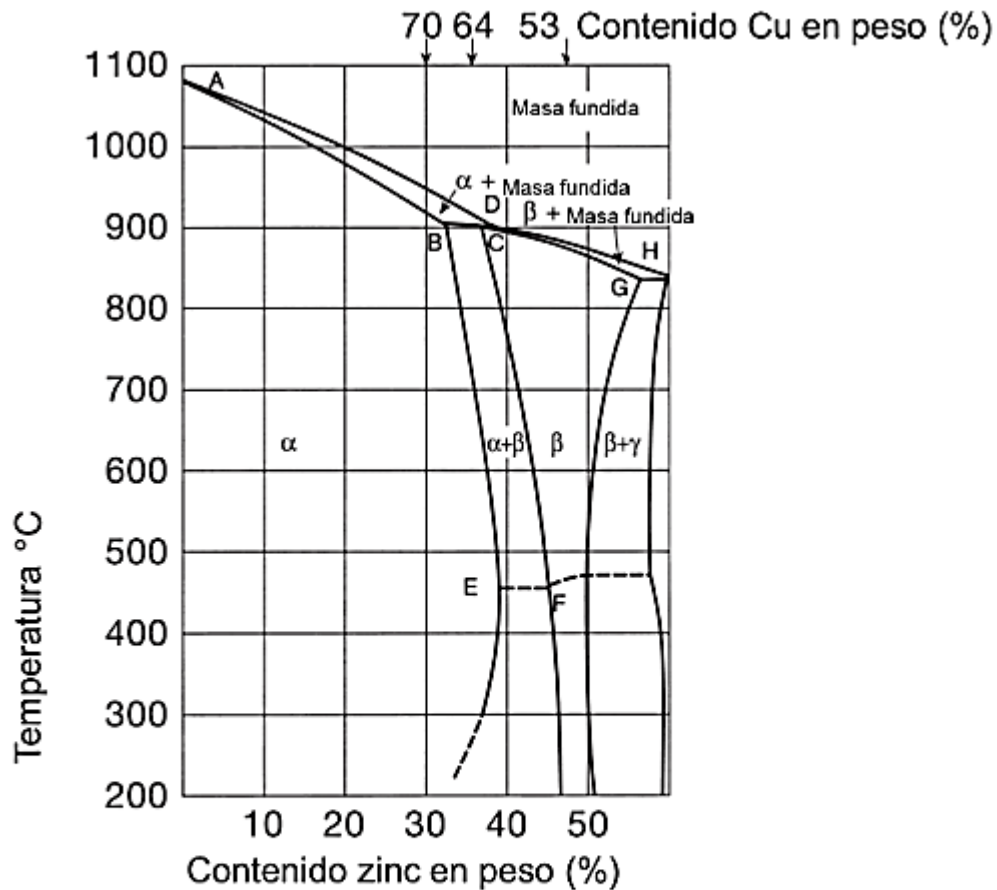
Los latones aleados son actualmente en Europa los materiales base para la fabricación de los cuerpos fundidos y estampados (prensados) de muchos de los dispositivos y componentes de las redes de agua potable y entre ellos de las griferías y válvulas domésticas e industriales, utilizándose también para piezas de decoletaje y micromecánica, siendo habitualmente empleados, entre la amplia gama existente, las aleaciones de 35 % a 42 % de cinc, es decir de latones " $\alpha+\beta$ " (ver diagrama de fases Cu-Zn de la figura 4), en los que se consideran buenas las impurezas que benefician las propiedades mecánicas (aluminio, estaño, el hierro y el níquel) o favorecen la resistencia a la corrosión como el aluminio, el estaño y el níquel, siendo por el contrario perjudiciales el antimonio el arsénico, azufre, bismuto, cadmio, fósforo, magnesio y silicio.

La influencia de estos elementos depende esencialmente de los porcentajes en la aleación y de la presencia de otros elementos con los que interactúan modificando su influencia. Su peso específico es del orden de 8.3 y la dureza Brinell viene a estar comprendida entre 82 y 65 (a mayor porcentaje de cobre mayor dureza, aunque a partir del 75 % de cobre la dureza vuelve a disminuir). Este material no es inyectable con lo que no son obtenibles o fácilmente ejecutables determinados diseños y formas que en el caso de los órganos de maniobra diferencian en gran forma a fabricantes y modelos. En el caso de estas piezas específicas son dos las jerarquías de materiales particularmente adecuados para hacer piezas por inyección: por una parte la extensa gama de los plásticos técnicos y composites y por otra, entre los metales, las aleaciones de cinc-aluminio (zamak).

Latones binarios y aleados

Del diagrama Cobre – Zinc, figura 8.4, se puede percibir que las aleaciones se pueden clasificar según su microestructura en tres grupos: Latones α con un contenido de cobre por encima del 61% en peso, Latones ($\alpha + \beta$) con un contenido en cobre del 54 al 61% en peso y Latones β con un contenido del 50 al 54% en peso de cobre (sólo técnicamente utilizable con la adición de otros elementos de aleación). Con la adición creciente de zinc las aleaciones se

endurecen, el color se vuelve más claro a medio dominio de α , y cambia de rojo a dorado hacia un amarillo claro. Desde el principio de la fase β el color adquiere un brillo rojizo, de manera que a partir del 70% de peso o más de cobre vuelve a haber un cambio de tonalidad que tiende hacia el amarillo dorado.



	A	B	C	D	E	F	G	H
Temperatura en °C	1083	902	902	902	454	454	834	834
Contenido en Zn	0	32,5	36,8	37,6	39,0	45,0	56,5	60,0

Figura 8.4. Diagrama de fases Cu-Zn

Únicamente las aleaciones Cobre - Zinc con más de un 54% en peso de cobre son técnicamente importantes. Por lo tanto en la imagen sólo se describe la parte rica en cobre del diagrama de fase Cu - Zn. Por encima de la línea ADH en la región de la mezcla fundida predomina la disolución total de los dos componentes, cobre y zinc. En la parte izquierda del diagrama, hasta

un 67% del cobre, predomina el dominio de la fase α . A su derecha encontramos las regiones correspondientes a las fases $(\alpha + \beta)$ y β .

Cuando se enfría una mezcla fundida con un contenido del 70% en peso de cobre, se solidifican a los 950°C los primeros cristales de fase α . A 920°C termina la solidificación. Un enfriamiento posterior hasta temperatura ambiente supone la obtención de una microestructura únicamente compuesta de fase α . Mezclas fundidas de un 53% de peso en cobre precipitan cristales puros de fase β al enfriar por debajo de la línea DH. Por debajo de línea CG esta totalmente compuesto de cristales fase β . Un enfriamiento posterior provoca a los 460°C la aparición de una cristales fase β' , a temperaturas más bajas cristales fase β . Los cristales fase β y fase β' no se llegan a distinguir en la microestructura, aunque a efectos de propiedades puede ignorarse su aparición.

Si se enfría una mezcla con un 64% de cobre, a los 915°C se empiezan a solidificar cristales fase α por debajo la línea AD. Al alcanzar la línea BC a los 902°C, ocurre una reacción entre la mezcla restante y los cristales fase α , sin variación en la temperatura, donde aparece una segunda clase de cristales, en este caso fase β . En esta composición, tras más enfriamiento aparecen de forma conjunta cristales α y β , que con el descenso progresivo de la temperatura tienden a la formación de más cristales tipo fase α . A 700°C la aleación alcanza la línea BE. Los cristales β , ricos en zinc desaparecen completamente al enfriar lentamente, mientras el cristal de fase α incrementa la capacidad de disolución del zinc. Si se enfría de forma rápida, lo cual es la norma habitual, los cristales tipo β no tienen tiempo de disolverse completamente y quedan como restos incluso hasta cuando se alcanza la temperatura ambiente. Si se calentara posteriormente justo por debajo de la línea BE se pueden redisolverse de forma paulatina los cristales fase β en un periodo de tiempo relativamente corto. Si se calentara por encima de ésta línea, de los cristales fase α se precipitarían de nuevo cristales fase β .

Todo esto es muy importante a la hora de trabajar con aleaciones en la frontera de los cristales fase α y fase β . Así se podría, por ejemplo, dar el caso de un latón con un contenido en cobre del 63% que tras un enfriamiento rápido contendiera cristales fase β . De igual forma a elevadas temperaturas de recocido o de otros tratamientos térmicos, al exceder la línea BE se volvieran a formar cristales fase β . Esto implica que el diagrama de fase no sólo es importante a la hora de

seleccionar la aleación, sino también es importante para su manipulación en caliente y su trabajo posterior.

http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/aleaciones_1/serie_m___z/serie_m___z.jsp

Una aleación cobre – zinc compuesta únicamente de cristales fase α , figura 8.5a) se puede deformar bien en frío, aunque son problemáticos para el mecanizado. Por otro lado el mecanizado resulta excelente en latón totalmente compuesto de fase β , figura 8.5b) aunque difícilmente se puede deformar en frío. La deformación en caliente del latón α resulta mucho más problemática que la del latón tipo β . Como se ve en las imágenes, se distinguen de forma clara los tipos de cristales en la microestructura. Para los cristales fase α son características las líneas de macla.

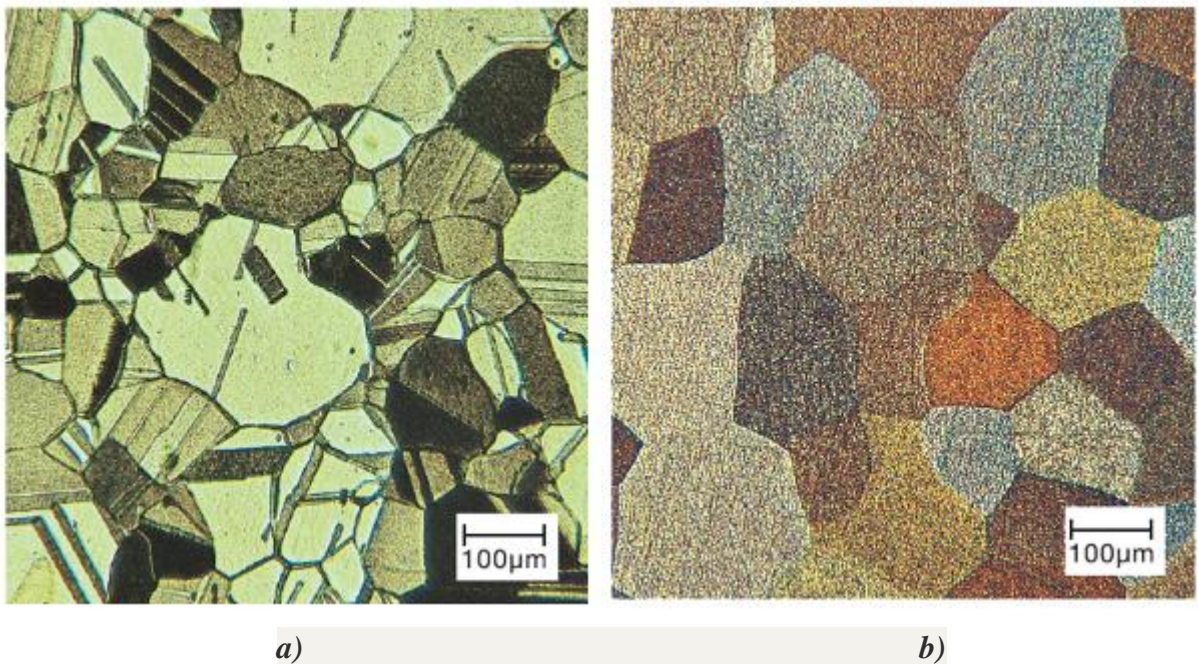
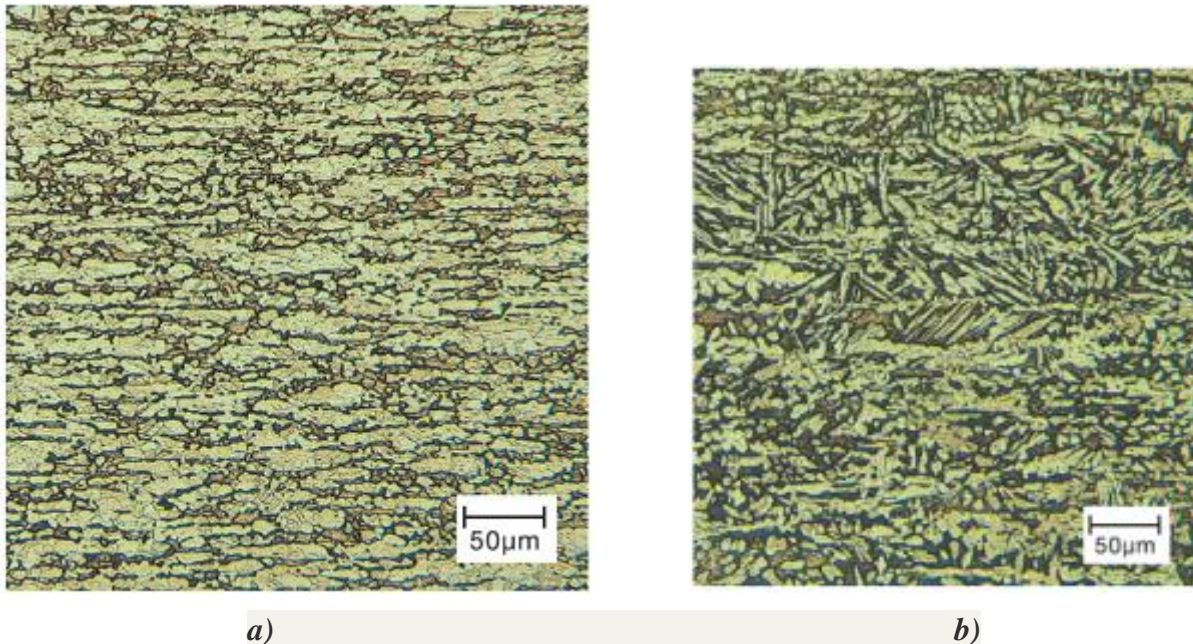


Figura 8.5 a) Estructura de un latón α , pulido b) Estructura de un latón β , pulido

Aunque la línea de saturación de los cristales fase α se extiende del 67,5% peso en cobre (punto B) hasta el 61% en peso de cobre (punto E), en la práctica ocurre que debido a los enfriamientos tan rápidos que tienen lugar, la solubilidad no aumenta hasta el punto de llegar a un equilibrio, así que ocasionalmente se pueden encontrar cristales fase β en la fase α .

De más interés a nivel técnico son las aleaciones tipo $(\alpha + \beta)$. Son extraordinariamente buenas para ser mecanizadas. Su microestructura puede ser granular o bien acicular figura 8.6, lo cual tiene poca influencia en sus propiedades. Con un descenso en la proporción de β y un ascenso en la de α , se consiguen estados estructurales con una combinación interesante de buena capacidad de mecanizado y excelente deformabilidad en frío.



8.6. a) Estructura granular $(\alpha + \beta)$, atacado y pulido b) Estructura acicular $(\alpha + \beta)$, atacado y pulido

8.5. ALEACIONES COBRE - NÍQUEL

Las aleaciones cobre – níquel, conocidas también como **cuproníqueles**, contienen entre un 4 y un 50% en peso de níquel. Las aleaciones cobre – níquel con aplicaciones tecnológicas contienen habitualmente entre un 5 y un 30% en peso. Los materiales con contenidos en níquel superiores al 50% se consideran aleaciones de níquel (aleación Monel). A partir de aleaciones binarias de éste sistema se producen sobretodo monedas. Para otros campos de aplicación, por ejemplo tubos para condensadores, se añaden hierro y manganeso, con lo cual se mejora la resistencia a la corrosión y la erosión, y se incrementa la resistencia y la temperatura de recristalización.

Una aleación cobre – níquel compleja, con aproximadamente un 9% en peso de níquel y un 2% en peso de estaño, demuestra mejoras en las propiedades mecánicas y excelente resistencia a la relajación de tensiones. Este material se emplea en la fabricación de muelles y resortes.

A través de adiciones de elementos de aleación concretos en concentraciones pequeñas se llegan a mejorar características como la soldabilidad. La adición de cromo lleva a aleaciones endurecidas en caliente, con propiedades interesantes con aplicaciones en campos tecnológicos muy específicos.

Los elementos **cobre** y **níquel** son totalmente miscibles tanto en estado sólido como en estado líquido, es decir, aleaciones hechas a partir de ambos componentes estarán compuestas, independientemente de la composición, de una única fase cristalina, en este caso una fase α cúbica centrada a las caras (Imagen izquierda)

Al enfriar las aleaciones de cobre – níquel del estado de masa fundida, el equilibrio de concentraciones a través de difusión entre los primeros cristales formados y el resto de la mezcla líquida es muy lento. Por lo tanto en la estructura se forman cristales con proporciones diferentes de cobre y níquel. Las primeras zonas cristalinas solidificadas, más cristalinas, son más ricas en níquel. La diferencia de concentraciones solo se puede homogeneizar mediante deformación en caliente o bien un recocido largo a alta temperatura.

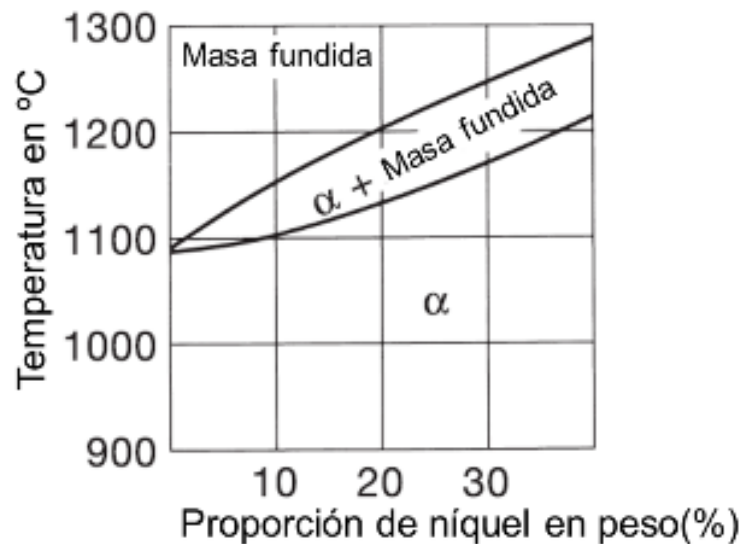


Figura 8.7. Diagrama de fases para el sistema binario Cu-Ni (Hansen y Anderko, 1958)

Propiedades mecánicas

La resistencia de las aleaciones cobre – níquel monofásicas se incrementa a medida que aumenta el contenido en níquel. Las adiciones de hierro, manganeso y estaño también contribuyen en ese incremento, figura 8.8.

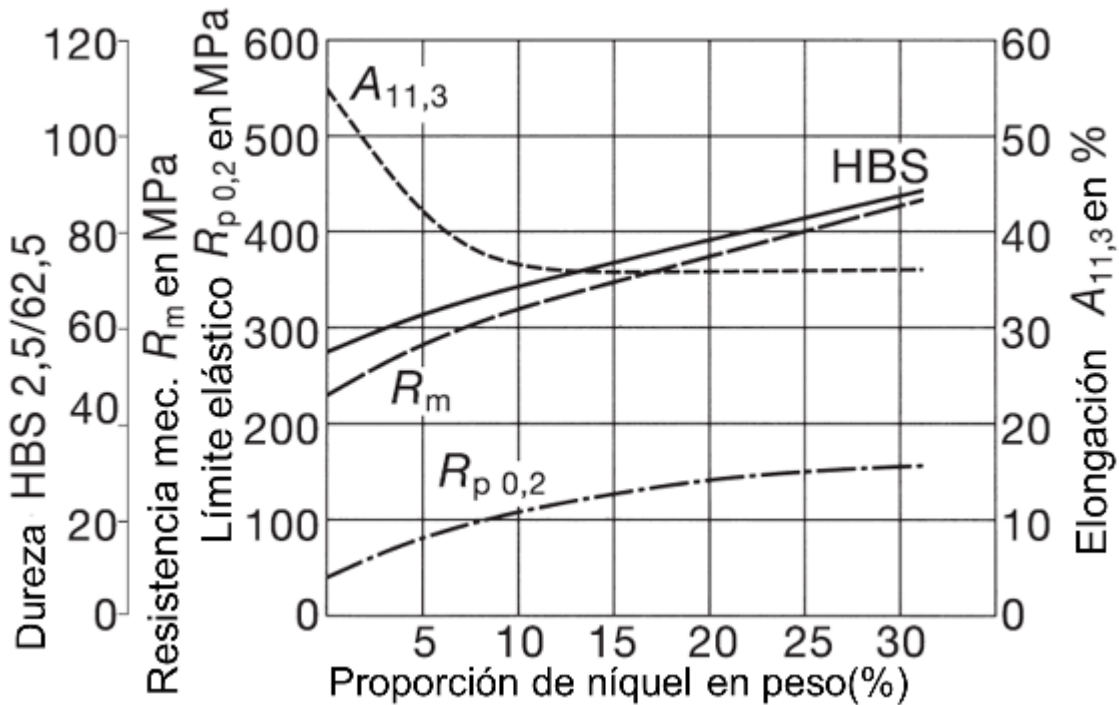


Figura 8.8. Propiedades de resistencia de la aleación Cu-Ni en dependencia del contenido en níquel (estado blando)

A través de la deformación plástica se aumentan el límite de cedencia al 0,2%, la resistencia a fractura y la dureza, mientras que la elongación y estricción se ven reducidas. En la imagen derecha se puede observar el endurecimiento para la aleación L49, típica de las aleaciones cobre – níquel. El caso del L10 sería un endurecimiento menor y para el L30 es algo superior.

El reblandecimiento después de una deformación en frío del 60% y un tratamiento de recocido de una hora se ve en las dos imágenes inferiores. La recristalización tiene lugar en el rango de temperaturas entre 500 y 600°C. Estas temperaturas son relativamente altas para aleaciones de cobre. Todavía se debe considerar, si el hierro puede bloquear este reblandecimiento, debido a que tiende a la formación de precipitados. Para el L49 y su comportamiento de dureza conocido

a 400°C se emplea un tratamiento de envejecimiento para contrarrestarlo. El CuNi10Fe1Mn no exhibe este comportamiento.

8.6. ALPACA O PLATA ALEMANA

La alpaca, que ha recibido originalmente el nombre de maillechort, y conocida también como alférido, plata alemana, metal blanco, plata nueva o argentán es una aleación ternaria compuesta por zinc (8–45 %), cobre (45–70 %) y níquel (8–20 %), con un color y brillo parecido al de la plata. Las aleaciones que contienen más del 60 por ciento de cobre son monofásicas y se caracterizan por su ductilidad y por la facilidad para ser trabajadas a temperatura ambiente, la adición de níquel confiere una buena resistencia a los medios corrosivos.

Esta aleación, conocida en Francia como maillechort, fue inventada por los franceses Maillot y Chorier en 1819, de quienes proviene ese nombre de la aleación. El objeto de la misma fue y es imitar a la plata para cubertería y demás servicio de mesa. La combinación de su color tan atractivo y su resistencia a la corrosión le dan preferencia para los trabajos arquitectónicos; en Inglaterra fabrican con alpaca los servicios de mesa, que llevan las siglas E.P.N.S. El platinoide es un metal blanco, compuesto por 60% de cobre, 14% de níquel, 24% de zinc y 1 a 2 % de tungsteno.

Características

La plata alemana es una aleación muy conocida, casi igual a la plata en blancura, siendo susceptible de adquirir un buen pulimento. Y aventajando a aquella dureza e inalterabilidad.

Debido a que las alpacas presentan una maquinabilidad relativamente baja, es necesario mejorar esta propiedad agregando plomo.

Las alpacas con plomo pueden ser moldeadas. Sin embargo, se encuentran mas frecuentemente, en forma de productos forjados, tales como chapas o barras que se prestan bien al maquinado, como asimismo llaves y bulones.

Aplicaciones

Sus aplicaciones son variadas, pero se destacaron algunas áreas como las Telecomunicaciones, Arquitectura, Decoración.

Las aleaciones de alpaca tienen una buena resistencia a la corrosión y buenas cualidades mecánicas. Su aplicación se abarca materiales de telecomunicaciones, instrumentos y accesorios de fontanería y electricidad, como grifos, abrazaderas, muelles, conectores. También se emplea en la construcción y ferretería, para elementos decorativos y en las industrias químicas y alimentarias, además de materiales de vajillas y orfebrería.

Entre las aplicaciones se encuentran la fabricación de imágenes religiosas, vajillas de mesa, bombillas, (sorbete) para mate, cremalleras, objetos de bisutería, llaves de los instrumentos musicales (p. ej. el oboe), diales de los aparatos de radio, monedas, instrumentos quirúrgicos y dentales y reostatos.

Composición

La composición de esta aleación varía considerablemente, pero del promedio de las cantidades que damos a continuación puede deducirse aproximadamente la composición normal:

- ✓ Cobre de 50 a 66 partes
- ✓ Zinc de 19 a 31 partes
- ✓ Níquel de 13 a 18 partes

Las propiedades de las diferentes clases, tales como color, ductilidad, fusibilidad, etcétera, varían con las proporciones de los distintos metales que interviene en su composición. Para hacer cucharas, tenedores, cuchillos, candeleros, etc., las mejores proporciones son 50 partes de cobre, 25 de zinc y 25 de níquel. Este metal tiene un bonito color blanco azulado y no se deslustra con facilidad.

La plata alemana es a veces tan frágil, que si se cae una cuchara al suelo, se rompe, lo cual indica una composición defectuosa. En la tabla 8.9 se ve como varía el carácter de la aleación con las proporciones de sus metales componentes:

	Cobre	Zinc	níquel	Calidad.
I	8	3,5	4	Excelente calidad.
II	8	3,5	6	Muy bonita, pero refractaria.
III	8	6,5	3	Ordinariamente muy fusible.
IV	52	26,0	22	Primera calidad.
V	59	30,0	11	Segunda calidad.
VI	63	31,0	6	Tercera calidad.

En algunas clases de plata alemana se han encontrado cantidades variables de hierro, manganeso, estaño, y con mucha frecuencia plomo, agregados con objeto de variar las propiedades de la aleación o de reducir el coste de producción. Pero todos estos metales tienen sobre la aleación un efecto mas perjudicial que beneficioso, y sobre todo le hacen perder resistencia a los ácidos diluidos, que es una de las propiedades de mas valor de la plata alemana el plomo hace mas fusible esta aleación; el estaño obra casi como el bronce, aumentando la densidad y sonoridad y facilitando su pulimento; con hierro o manganeso la aleación es mas blanca, pero al mismo tiempo resulta mas refractaria y aumenta su tendencia a la fragilidad.

CAPITULO 9

ALEACIONES DE ALUMINIO.

http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_4.html

El aluminio es un metal ligero con una densidad de 2.70 g/cm^3 , y por ello, aunque las aleaciones de aluminio tienen características mecánicas relativamente bajas comparadas con las del acero, su relación resistencia-peso es excelente. Es precisamente debido a esto que el aluminio se utiliza cuando el peso es un factor importante, como ocurre en las aplicaciones aeronáuticas y de automoción.

El aluminio también responde fácilmente a los diferentes mecanismos de endurecimiento, tal como se recoge en la tabla 9.1, donde se observa que el mecanismo más notable es el de endurecimiento por precipitación, donde se consigue una dureza hasta 30 veces superior a la del aluminio puro, figura 9.1.

Tabla 9.1. Propiedades mecánicas y aplicaciones de algunas aleaciones comerciales de aluminio.

UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
Aleaciones para forja						
1100	>99Al, 0.12Cu	Recocido (O)	89	24	25	Componentes eléctricos, hojas metálicas finas (papel).
		Trab. en frío (H14)	124	97	4	
3003	1.2Mn	Recocido (O)	117	34	23	Recipientes a presión, resistencia a corrosión, hojas metálicas finas.
		Trab. en frío (H14)	159	149	7	
5052	2.5Mg, 0.25Cr	Recocido (O)	193	65	18	Transportes, metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos.
		Trab. en frío (H34)	262	179	4	
2024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Recocido (O) Tratamiento T6	220 442	97 345	12 5	Estructuras aeronáuticas.
6061	1.0Mg, 0.6Si, 0.27Cu, 0.2Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	152 290	82 345	16 10	Transportes, estructuras aeronáuticas y marinas y otras de alta resistencia.
7075	5.6Zn, 2.5Mg, 1.6Cu, 0.23Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	276 504	145 428	10 8	Estructuras aeronáuticas y aeroespaciales.
Aleaciones para fundición						
355,0	5Si, 1.2Cu	Arena (T6)	220	138	2.0	Bombas domésticas, accesorios aeronáutica, cárter aviación.
		Molde metálico (T6)	285	-	1.5	
356,0	7Si, 0.3Mg	Arena (T6),	207	138	3.0	Fundiciones de gran complejidad, ejes portadores de las motoras, ruedas de camiones.
		Molde metálico (T6)	229	152	3.0	
332,0	9.5Si, 3Cu, 1.0Mg	Molde metálico (T5)	214			Pistones de automóviles.
413,0	12Si, 2Fe	Fundición en coquilla	297	145	2.5	Fundiciones complicadas.

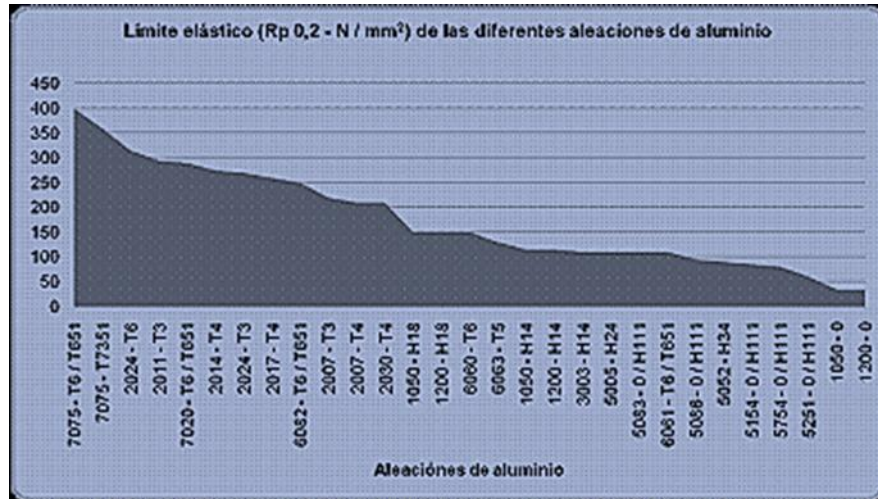


Figura 9.1.

Por otra parte, el aluminio no suele presentar un límite a la fatiga bien definido, de modo que la fractura puede suceder incluso a niveles muy bajos de esfuerzo. Debido a su bajo punto de fusión, el aluminio no se comporta bien a temperaturas elevadas. Finalmente, las aleaciones de aluminio tienen escasa dureza, lo que origina poca resistencia al desgaste abrasivo en ocasiones.

Las aleaciones de aluminio pueden subdividirse en dos grandes grupos, para forja y aleaciones para fundición, de acuerdo con el proceso de fabricación. Las aleaciones para forja, es decir chapas, láminas, extrusión, varillas y alambres, se clasifican de acuerdo con los elementos que contengan en aleación. Para identificar las aleaciones de aluminio se utiliza una designación numérica de cuatro dígitos, el primero de los cuales indica el grupo de aleación e indicando el segundo los límites de impurezas. Los dos últimos identifican la aleación o indican la pureza del metal. En la tabla 9.2 se recogen los diferentes grupos de aleaciones de aluminio indicándose los principales elementos de aleación de cada uno de ellos. El grado de endurecimiento o tratamiento viene expresado por letras colocadas después del número de su designación, tal como se recoge en la tabla 9.3, por ejemplo aleación 6061-T6.

Tabla 9.2. Designación de las diferentes familias de aluminio.

Familia de aluminio	Designación
Aluminio puro, 99% mínimo	1xxx
Aluminio-Cobre	2xxx
Aluminio-Manganeso	3xxx
Aluminio-Silicio	4xxx
Aluminio-Magnesio	5xxx
Aluminio-Magnesio-Silicio	6xxx
Aluminio-Zinc	7xxx
Otros elementos, Al-Sn, etc.	8xxx

Tabla 9.3.

Designación	Subdivisión	Tratamiento
F		Material tal como se ha fabricado. Sin control en el endurecimiento por deformación.
O		Recocida y recristalizada. Endurecimiento con mínima resistencia y máxima ductilidad.
H		Endurecimiento por deformación, trabajada en frío.
	H1	Endurecido sólo por deformación. El grado de endurecimiento se indica mediante un segundo dígito, H12, hasta el endurecimiento total, H18, que proporciona aproximadamente una reducción del 75%.
	H2	Endurecido por deformación y recocido parcial. Igualmente se indica con un segundo dígito el nivel de trabajado en frío.
	H3	Endurecido por deformación y estabilizado a bajas temperaturas para evitar el endurecimiento por envejecimiento.
T		Tratado térmicamente, endurecida por precipitación.
	T4	Tratada por solución y envejecida naturalmente.
	T5	Enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida artificialmente.
	T6	Tratada por solución y envejecida artificialmente.
	T8	Tratada por solución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.

Las **aleaciones de aluminio para forja** pueden subdividirse en dos grupos, aquellas que son tratables térmicamente y las que no lo son. Las aleaciones de aluminio para forja no tratables térmicamente no pueden ser endurecidas por precipitación y sólo pueden trabajarse en frío para aumentar su resistencia. Los tres grupos más importantes de estas aleaciones corresponden a las familias de aluminio puro, Al-Mg y Al-Mn.

Las *aleaciones de la serie 1000* tienen un contenido en aluminio mínimo del 99%, siendo las principales impurezas de Fe y Si. En la aleación 1100 se añade hasta un 0.12% de Cu para aumentar su resistencia, 90 MPa. Se utilizan principalmente para conductores eléctricos y en la obtención de láminas muy finas.

Las *aleaciones de la serie 3000* tienen como elemento de aleación principal el Mn, siendo la aleación más utilizada la 3003 que contiene un 1.2% de Mn que le proporciona una resistencia de 110 MPa en estado de recocido, utilizando muy frecuentemente cuando se requiere una buena trabajabilidad.

Las *aleaciones de la serie 5000* contienen principalmente Mg, que se adiciona por su endurecimiento por solución sólida hasta cantidades de aproximadamente un 5%, figura 9.2. Una de las aleaciones más importantes de esta serie es la 5052, que contiene un 2.5% de Mg y un 0.2% de Cr, que presenta, en estado de recocido, una resistencia de 193 MPa, utilizándose igualmente en forma de chapas para la industria del transporte tanto naval como terrestre.

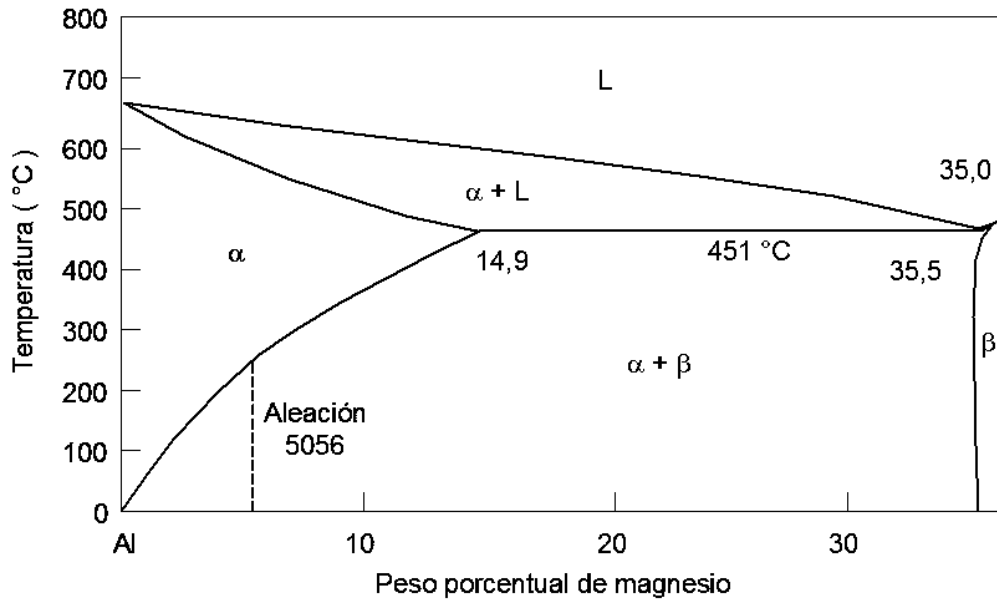


Figura 9.2. Porción del diagrama de fases Al-Mg

Sin embargo, el grupo quizás más importante de aleaciones está formado por aquellas que son tratables térmicamente, teniendo lugar el endurecimiento por precipitación. Tales aleaciones combinan elementos químicos como el Cu, Zn, Si y Mg formando las series 2000 de Al-Cu y Al-Cu-Mg, la 6000 de Al-Si-Mg y la 7000 de Al-Zn-Mg, todas ellas endurecibles por precipitación. En la figura 9.3 se representa esquemáticamente la evolución de la dureza en las diferentes etapas del tratamiento de envejecimiento.

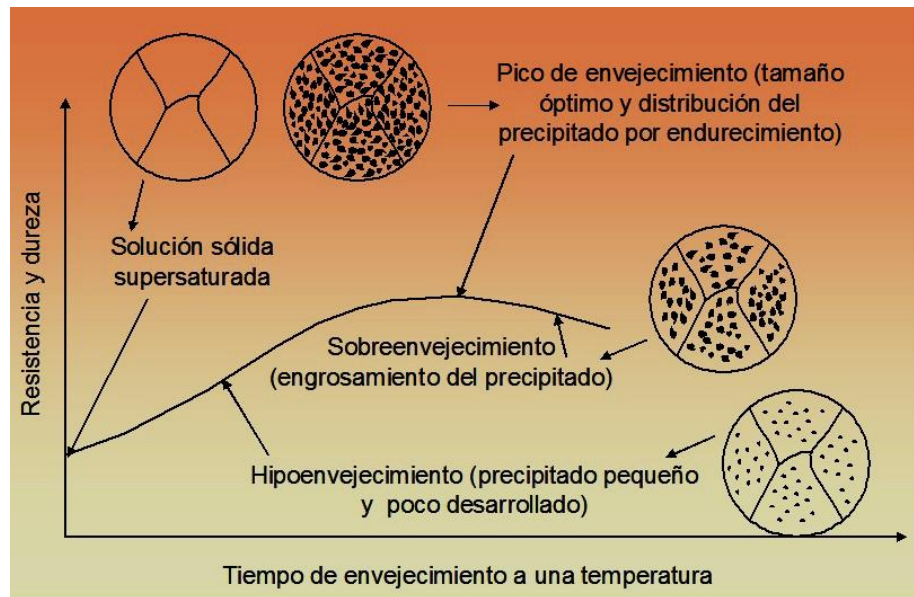


Figura 9.3. Tratamiento de precipitación o envejecimiento

Las *aleaciones de la serie 2000* tienen como principal elemento de aleación el Cu, aunque también contienen pequeñas cantidades de Mg y algún otro elemento de aleación. Una de las aleaciones más importantes de la serie es la 2024, que contiene alrededor de un 4.5% de Cu, 1.5% de Mg y 0.6% de Mn, que endurece por la precipitación del compuesto intermetálico Al_2CuMg , alcanzando en las condiciones T6 resistencias de hasta 442 MPa.

Las *aleaciones de la serie 6000* tienen como principales elementos de aleación el Mg y Si, que al combinarse entre sí forman el compuesto intermetálico Mg_2Si , que junto a otros compuestos complejos del tipo FeCrAlSi endurecen fuertemente el material. La aleación más ampliamente utilizada de esta serie, la 6061, presenta contenidos de 1.0% de Mg y 0.6% de Si, junto a otros elementos como un 0.2% de Cr y hasta un 0.3% de Cu, que en condiciones de T6 alcanza resistencias de 290 MPa, utilizándose para fines estructurales de carácter general.

Las *aleaciones de la serie 7000* añaden al aluminio contenidos variables de Zn, Mg y Cu que al combinarse entre sí forman compuestos intermetálicos del tipo $MgZn_2$ que es el principal elemento endurecedor de estas aleaciones, y debido a la alta solubilidad del zinc y magnesio en el aluminio, permite una alta densidad de precipitados y por lo tanto un elevado índice de endurecimiento. La aleación más importante de esta serie es la 7075, que tiene una composición aproximada de 5.6% de Zn, 2.5% de Mg, 1.6% de Cu y 0.25% de Cr, que con un tratamiento T6 alcanza resistencias a tracción de 504 MPa. La mayor importancia de las aleaciones de esta serie está en que alcanzan mediante envejecimiento natural unas elevadas prestaciones mecánicas por lo que se utilizan ampliamente en estructuras de vehículos de transporte, principalmente en la industria aeronáutica.

Las **aleaciones de aluminio para fundición** se han desarrollado por sus buenas cualidades de colabilidad, fluidez y capacidad de alimentación de los moldes, así como por la optimización de las propiedades de resistencia y tenacidad o resistencia a la corrosión de estas aleaciones. En la tabla 13.8 se recogen las composiciones químicas, propiedades mecánicas y principales aplicaciones de algunas de las aleaciones más utilizadas

Tabla 9.4. Propiedades mecánicas y principales aplicaciones de algunas aleaciones de aluminio para fundición.

355,0	5Si, 1.2Cu	Arena (T6) Molde metálico (T6)	220 285	138 -	2.0 1.5	Bombas domésticas, accesorios aeronáutica, cárter aviación.
356,0	7Si, 0.3Mg	Arena (T6), Molde metálico (T6)	207 229	138 152	3.0 3.0	Fundiciones de gran complejidad, ejes portadores de las motoras, ruedas de camiones.
332,0	9.5Si, 3Cu, 1.0Mg	Molde metálico (T5)	214			Pistones de automóviles.
413,0	12Si, 2Fe	Fundición en coquilla	297	145	2.5	Fundiciones complicadas.

El silicio, en cantidades del 5 al 12%, es el elemento de aleación más importante dentro de estas aleaciones, al aumentar sobre todo la colabilidad de las mismas. La adición de magnesio, en porcentajes del 0.3 al 1%, facilita el endurecimiento por precipitación con lo que aumenta las características resistentes. Adiciones de cobre entre el 1 y el 4% aumentan en gran medida la resistencia, sobre todo a temperaturas elevadas.

Para optimizar las propiedades resistentes de las aleaciones de fundición, se realiza el enfriamiento de las piezas en moldes que permiten elevadas velocidades de enfriamiento, lo que produce estructuras en estado sólido sobresaturadas, que tras las correspondientes etapas de envejecimiento alcanzan niveles resistentes considerables. Un buen ejemplo de la aplicación de este proceso es la fabricación de pistones para automoción, que tras su extracción del molde se somete a un tratamiento de envejecimiento que posibilita su endurecimiento por precipitación, tratamiento denominado T5.

CAPITULO 10

ALEACIONES DE MAGNESIO.

El magnesio es un metal ligero, con una densidad de 1.74 g/cm^3 , que compite con el aluminio para aplicaciones que requieren metales de baja densidad, a pesar de su mayor precio, alrededor del doble. Sin embargo, el magnesio y sus aleaciones muestran una serie de desventajas que limitan su utilización. Por una parte la reactividad del magnesio es elevada y sin embargo la estabilidad de sus óxidos es pobre por lo que su resistencia a corrosión es pequeña, sus características mecánicas son del orden de las correspondientes a las aleaciones de aluminio incluso de forma específica, y muestran una baja resistencia a la termofluencia, fatiga y desgaste.

Además, resultan aleaciones de difícil colabilidad y que en estado fundido arde en contacto con el aire, y su transformación en frío resulta igualmente difícil al cristalizar el Mg en una estructura hexagonal compacta (HCP) que no favorece precisamente su deformación. No obstante tiene amplias aplicaciones en la ingeniería aeronáutica y aeroespacial como se puede ver en la tabla 10.1.

Tabla 10.1. Propiedades mecánicas y principales aplicaciones de algunas aleaciones de magnesio.

UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
Aleaciones para forja						
AZ31B	3Al, 1Zn, 0.2Mn	Recocido	228		11	Equipos de cargas en aviones, estantes y armarios metálicos.
		Trab. frío (H24)	248	159	7	
HM21A	2Th, 0.8Mn	Tratamiento T8	228	138	6	Láminas y chapas de misiles, hasta 425°C.
Zk60	6Zn, 0.5Zr	Tratamiento T5	310	235	5	Usos espaciales en situaciones de elevadas deformaciones; extrusiones piezas forjadas.
Aleaciones para fundición						
AZ63A	6Zn, 3Al, 0.15Mn	Molde metálico	179	76	4	Fundiciones en arena que requieren buena resistencia a temperatura ambiente.
		Tratamiento T6	235	110	3	
EZ33A	3TR, 3Zn, 0.7Zr	Tratamiento T5	138	97	2	Fundiciones en molde metálico utilizados a 150-160°C.

TR = Tierras raras.

El magnesio tiene el punto de fusión en 651°C, y cristaliza como se ha comentado anteriormente en el sistema hexagonal denso, por lo que es preferible realizar la conformación de sus aleaciones en caliente. Las aleaciones de Mg se dividen fundamentalmente en dos tipos: *aleaciones de forja* y *aleaciones de fundición*. En ambos tipos las aleaciones pueden mejorarse mecánicamente por tratamientos de deformación y tratamientos térmicos de envejecimiento.

Las **aleaciones de fundición** suelen incorporar Al y Zn, ya que estos elementos contribuyen a un **endurecimiento por solución sólida**, tal como se aprecia en el diagrama de equilibrio de la figura 13.26. La introducción de tierras raras, principalmente cerio, en su composición forma precipitados del tipo Mg₉R, que durante la solidificación precipitan en borde de grano formando una fina red frágil.

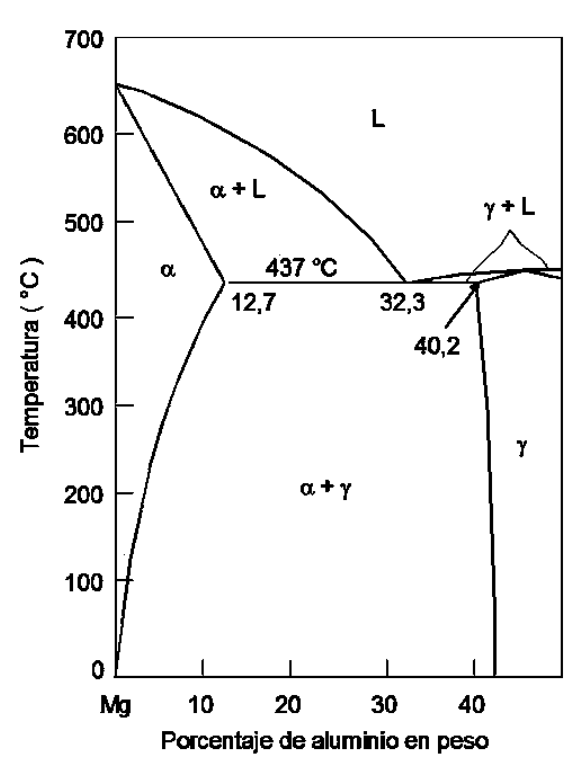


Figura 10.1. Porción del diagrama de fases Mg-Al

Las **aleaciones de forja**, incorporan igualmente Al y Zn como principales elementos de aleación, que además de endurecer el material por solución sólida lo hacen por **precipitación de compuestos del tipo Mg₁₇Al₁₂** en los tratamientos de envejecimiento de estas aleaciones. El

torio y el circonio también forman, con el magnesio, **precipitados endurecedores** que estabilizan las características de la aleación a elevadas temperaturas, alrededor de los 425°C.

Aplicaciones

En la actualidad, las aleaciones de magnesio se utilizan para desarrollar productos como herramientas eléctricas, equipamiento aeroespacial, artículos deportivos, y equipos de manejo de materiales, de igual manera, son pieza fundamental en componentes de automóviles como cajas de cambios, cubiertas de válvulas, ruedas, soportes para el pedal de freno, marco interno de la puerta, volantes, faros y marcos de los retrovisores externos, también son utilizadas para sustituir los materiales utilizados en la fabricación de rines, puesto que estas aleaciones presentan un gran desempeño en la maniobrabilidad de los vehículos, al ser mucho más livianas que las tradicionales.

CAPITULO 11

ZAMAK

La aleación Zamak fue creada por New Jersey Zinc Company en la década de 1920, su nombre es un acrónimo alemán de los materiales que componen la aleación: ZAMAK Zink (Zinc), Aluminium (Aluminio), Magnesium (Magnesio) y Kupfer (cobre).

Tiene dureza, resistencia a la tracción, densidad $6,6 \text{ g/cm}^3$ y temperatura de fusión de $386 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figura 11.1. Lingotes de Zamak

Este material puede inyectarse (por cámara fría o caliente y por centrifugación), otro proceso posible es la fundición en coquilla.

Es un material económico, posee buena resistencia mecánica y deformabilidad plástica, y buena colabilidad. Se puede cromar, pintar y mecanizar.

Sus características principales de la aleación comercial ZAMAK-5 (EN 1774) son:

- Composición: Aluminio 4%, Cobre 1%, Magnesio 0.05%, Resto Zinc.
- Resistencia a la tracción: $32\text{-}34 \text{ kg/mm}^2$
- Dureza Brinell: 95
- Densidad: 6.7 g/cm^3
- Temperatura de fusión: $386 \text{ }^\circ\text{C}$

Las aleaciones de zinc más comunes en la fundición a presión son el Zamak 3 y 5. Ya que estas son transformadas en la fundición a presión o fundición inyectada de cámara caliente. Otras aleaciones con alto contenido de aluminio (ZA8, ZA12, ZA27, ...) son mucho menos utilizados.

Tabla 11.1. Algunos tipos de Zamak

Aleaciones Zamak	Zamak 2	Zamak 3	Zamak 5	ZA 8	ZA12	ZA27
Designación	ZP0430	ZP0400	ZP0410	ZP0810	ZP1110	ZP2720
Standard	ZP2	ZP3	ZP5	ZP8	ZP12	ZP27
Símbolo	ZnAl4Cu3	ZnAl4	ZnAl4Cu1	ZnAl8Cu1		

Propiedades

Como se mencionó antes, la aleación está compuesta de zinc como metal base, con porcentajes de 3.5 hasta 6% de aluminio, de 0.75 a 1.6% de cobre y de 0.0 hasta 0.065% de magnesio. La aleación tolera tasas máximas de elementos como el hierro en un 0.1%, plomo 0.005%, estaño 0.003% y cadmio 0.004%, que están contenidas en el zinc mineral y por ello permanecen en cantidades menores en el zinc metálico. Sus principales propiedades físicas se muestran en la tabla 11.2.

Tabla 11.2. Principales propiedades físicas de algunos grados de Zamak

PROPIEDADES FÍSICAS	Zamak 5	Zamak 3	Zamak 2
Densidad: (g/cm ³)	6.6	6.6	6.6
Rango fundición: (°C)	380-386	381-387	379-390
Conductibilidad eléctrica: (%IACS)	26	26	26
Conductibilidad térmica: (W/m/hr/°C)	110	113	119
Coefficiente de Expansión Termal (100-200°C μm/mm/°C)	27.4	27.4	27.4
Calor específico: (J/kg/°C)	419	419	419

Mientras estas impurezas estén en los límites de los porcentajes específicos, es posible obtener una aleación de alta calidad. El factor determinante para la estabilidad de las propiedades mecánicas y dimensionales de las piezas coladas a presión, está en la pureza de sus componentes. Dicha garantía la entrega el zinc utilizado, que debe ser de tipo “Special High Grade”- calificación según la ASTM International- con una pureza mínima del 99.99%. Cada uno de los elementos que componen la aleación producen efectos sobre el zinc (metal base) otorgando propiedades y cualidades especiales a las piezas: el aluminio es adicionado en mayor proporción y aumenta la dureza y resistencia de la aleación, así como su fluidez, además de disminuir los efectos corrosivos del zinc sobre el acero de las máquinas y las herramientas de inyección. Aunque el magnesio se encuentra en porcentajes relativamente pequeños tiene gran influencia en las propiedades del zinc para colar bajo presión y ayuda a inhibir la corrosión intergranular de la aleación.

Por último, el cobre también aumenta la resistencia a la corrosión, además de la resistencia mecánica y la dureza de la aleación. Existen algunas variedades de Zamak, la más común y de mayor uso es Zamak 5, que contiene alrededor del 1% de cobre lo que mejora sus propiedades de resistencia, dureza y anticorrosión. Es la aleación más utilizada por su estabilidad dimensional y facilidad de inyectar. Se usa, por ejemplo, en carburadores, bombas de agua y de gasolina; Zamak 2, es utilizado principalmente en la fabricación de moldes para zapatos y defensas para automóviles; Zamak 3 es la aleación más estable, ya que prácticamente no contiene cobre y es la más recomendada para elaborar piezas con alto grado de dificultad, detalles complicados y contornos agudos; la Zamak 7 se diferencia del resto ya que presenta un bajo contenido de magnesio y la adición de 0.005% / 0.020% de níquel, lo que le da una baja tensión superficial y aumenta su facilidad para fundirla. Con ella se producen enseres electrodomésticos como extractores y exprimidores. En el caso de la Zamak 10, es la más económica y se usa en piezas que no requieren de un excelente acabado como en el caso de los trofeos o las medallas. Por último está la Zamak AZC, que es especial para máquinas centrífugas y se usa para crear piezas de ornamento.

Tabla 11.3. Propiedades mecánicas del Zamak

PROPIEDADES MECÁNICAS	Zamak 5	Zamak 3	Zamak 2
Fuerza Tensión máxima: (MPa)	328	328	328
Fuerza deformación - 0.2% Offset: (MPa)	250	200	255
Alargamiento: % en 50 mm.	5	10	5
Resistencia a la rotura: (MPa)	262	262	262
Dureza: Brinell 500 -10- 30 HBS	92	83	102
Resistencia al Impacto: (J)	65.1	58.3	47.5
Fuerza de fatiga a la Curvatura Rotatoria - 5x10 ⁸ ciclos:(MPa)	56	48	60
Factor de compresión 0.1% Offset: (MPa)	600	450	640
Módulo de Elasticidad (MPa x 10 ³)	85.5	85.5	85.5

Son muchas las ventajas que ofrecen las alecciones Zamak dentro de las que se pueden resaltar:

- Alta productividad a los procesos de fabricación.
- No se requiere de un alto consumo de energía para su transformación ya que se funde entre 380 - 420°C.
- Le dan una larga vida al molde.
- Reducen los costos en los montajes y aplicaciones.
- No exigen altas presiones de inyección.
- Tiene una resistencia mecánica relativamente elevada, particularmente la resistencia al impacto y la ductilidad a temperatura ambiente.

11.1. ACABADOS SUPERFICIALES

Galvanoplastia

La fundición inyectada de Zamak ofrece excelentes características de galvanoplastia. Galvanoplastia es generalmente un revestimiento de múltiples capas que consta de una o dos

capas de cobre, una o dos capas de níquel y una capa final de cromo, latón, oro, o cualquier otro metal platable. El cromado es el acabado decorativo más popular cuando se requiere evitar la corrosión y de una alta resistencia a la abrasión.

El cromado se adhiere mejor a las aleaciones de zamak y ZA-8, seguido de ZA-12. Cromado de ZA-27 es posible, pero más difícil debido a la necesidad de tratar la ZA-27 como una fundición de aluminio. Se prefieren cuando se están considerando procesos que proporcionan una piel exterior lisa, densa como la fundición a presión y el moldeado permanente.

Cromados

El Cromado es un tratamiento químico de bajo costo que ofrece una protección adicional contra la corrosión contra "óxido blanco". Esta forma de corrosión de **zinc** es causada por la exposición prolongada a condiciones de humedad. Acabados de cromado se producen por métodos simples de inmersión que depositan un recubrimiento de cromado delgada. Revestimientos de cromado se aplican a menudo a instrumento, militar y componentes de automoción, donde se requiere resistencia de bajo costo a la humedad. Estos revestimientos normalmente tienen un tono bronce o brillo metálico dependiendo del proceso utilizado.

Fosfatos

Revestimientos de fosfato se utilizan principalmente para proporcionar una buena base para la pintura o recubrimiento en polvo.

El anodizado

Un tratamiento especial de **anodizado zinc** está disponible para **fundición de zinc**. Este recubrimiento es completamente diferente a la de las aleaciones de aluminio. Anodización El **zinc** es un recubrimiento funcional que proporciona la máxima resistencia a la corrosión en ambientes atmosféricos y marinos.

Desde el proceso de capas uniformemente huecos profundos y zonas roscadas, anodizado fundición de **aleación de zinc** puede servir como una alternativa económica al sustituir latón tradicional, bonzo y componentes de acero inoxidable.

Pulido y Cepillado

Alto brillo pulido convencional o técnicas de acabado de cepillo pueden producir una apariencia similar a la de cromado o acero inoxidable. Cuando lacado, estos acabados son adecuados para aplicaciones interiores decorativas.

Pintura

Todas las **aleaciones de zinc** constituyen una base excelente para las pinturas. Para ayudar a la adhesión de pintura, tratamientos previos de fosfato o cromado son a menudo empleados. Aleaciones de zinc también se pueden pintar electrostáticamente.

Revestimientos en polvo

La pintura en polvo implica la pulverización electrostática de las piezas de **fundición de zinc** con un polvo de epoxi o poliéster. Las piezas son entonces inmediatamente curados en un horno para un acabado duradero y duro. El resultado es un revestimiento de plástico resistente a la corrosión, incluso, de bajo costo. Los recubrimientos en polvo son disponible en una amplia gama de colores.

El **zamak** puede reciclarse indefinidamente sin perder su pureza o sus propiedades o sus cualidades intrínsecas. El 90% de las **aleaciones de zinc** se reciclan. Además, el **zamak moldeado** produce muy pocas emisiones al aire y al agua. Su consumo de energía es también muy bajo.

Es por esto que el **zamak** es mucho menos siniestro. El **zamak** se desintegra en agua de mar, no se produce a partir de hidrocarburos, por lo que no aporta ninguna contaminación y entonces ... no flota! En un mundo con menos plástico y más **zamak**, el 7° continente puede seguir siendo un mito.

CAPITULO 12

ALEACIÓN BABBIT

Metal antifricción, funciona como enmetalado de dos superficies metálicas de diferente dureza sujetas a un movimiento deslizante bajo condiciones de carga y velocidad, figura 12.1. La capa de babbitt actúa como lubricante protegiendo las dos superficies.



Figura 12.1. Chumacera recubierta con Babbitt

El uso de materiales de rodamiento para reducir la fricción sobre los rodamientos se remonta al menos hasta los días de los carros del Imperio Romano. Se intentó utilizar metales blandos como el estaño y plomo en el siglo del 1700, pero fue solamente en 1839 que Isaac Babbitt patentó un rodamiento con una cápsula de acero o bronce revestida con una aleación en base a Estaño. La aleación referida en la patente contenía un 89% de Estaño, un 9% de Antimonio y un 2% de Cobre, lo que es sorprendentemente cercano al popular “Babbitt” de Grado 2 ASTM B-23 actual, y fue aplicada originalmente a aleaciones con base Estaño. En la actualidad se utiliza para describir metales de rodamientos, con plomo u otros metales como elemento principal.

Se funden con facilidad, se pueden unir rígidamente al bronce, acero o hierro de Fundición, funcionan de manera satisfactoria con un eje de acero, y tienen una excelente resistencia a la corrosión. Con un diseño adecuado del conjunto de rodamientos, un Metal Babbitt brindará un servicio efectivo bajo una amplia gama de condiciones.

Además del método tradicional de colar un Babbitt fundido para formar la superficie del rodamiento, con frecuencia se rocía el Babbitt sobre la superficie de rodamiento, utilizando alambres de Babbitt en equipos metalizadores, figura 12.2. El método de rociado también se utiliza para sellar los extremos de los condensadores eléctricos superpuestos o laminados.



Figura 12.2. Metalizado con Babbitt

El Babbitt es uno de los metales denominados como antifricción cuyas aleaciones principales son estaño, plomo, antimonio y cobre. Existen 2 tipos de metales Babbitt; el primero tiene base de Estaño con más de un 50% de éste material y presenta buena adherencia sobre una base de hierro y tienen buena dureza en temperatura ambiente. El segundo tipo, tiene base Plomo y también posee más del 50% de éste material. Este tiene poca adherencia sobre la base de hierro y tiene menor dureza en temperatura ambiente, pero conforme se eleva su temperatura el descenso de sus propiedades físicas no es tan acentuado como el que tiene el base estaño.

El principio básico de las chumaceras o cojinetes recubiertos con el metal babbitt es la existencia de dos superficies metálicas de diferente dureza sujetas a un movimiento deslizante bajo condiciones de carga y velocidad.

Un ejemplo de tales superficies sería la flecha del rotor de una turbina girando en un soporte: dichas superficies están separadas por una película de lubricante adicionado, la cual hace “flotar” al elemento de carga evitando así el contacto metal con metal, el cual es responsable del desgaste. Sin embargo en la operación normal de una chumacera o cojinete ocurre el rompimiento de la película lubricante debido a razones varias: desalineamiento, partículas extrañas, arranques y paradas en las cuales la velocidad inicial y final no es suficiente para conservar la presión hidrodinámica necesaria.

Cuando cualquiera de las causas mencionadas da como resultado la fricción entre metal y metal, la superficie menos dura tiende a desgastarse protegiendo así la vida del elemento mecánico más importante.

Tomando en cuenta los conceptos anteriores, las propiedades físicas más importantes en la selección de un metal antifricción o babbitt, son las siguientes:

- 1. Punto de cedencia al esfuerzo suficientemente alto para prevenir deformación general y suficientemente bajo para permitir deformaciones locales en los puntos de desgaste. (debe combinarse con la resistencia a la fatiga más alta posible).
- 2. La aleación debe tener buenas propiedades para el vaciado y la fusión, de tal manera que sea estable en su composición y que se adhiera firmemente en las paredes de acero u otros materiales base.
- 3. Índice de concentración adecuadamente bajo al solidificar.
- 4. Resistencia a los cambios en la temperatura de operación, de tal manera que no se alteren demasiado la dureza y otras propiedades mecánicas.
- 5. Resistencia adecuada a la corrosión por el lubricante.

□ 6.La aleación debe tener resistencia adecuada al desgaste para el uso particular en el que será destinado, tomando en cuenta que la resistencia al desgaste no es una propiedad absoluta de un material, sino que depende también de otros factores como son: temperatura, lubricante, presencia de abrasivos y geometría de la superficie, además de los factores primarios, carga y velocidad.

Dichas propiedades se resumen en la Tabla 12.1.

Tabla 12.1. Propiedades y composición química de algunos tipos de Babbitt

Composición y propiedades de los metales Babbitt

Grado ASTM	Composición %				Densidad gr/cm3	Punto de Cedencia (psi)		Ultimo Esfuerzo a la Compresión. (psi)		Dureza Brinell		Temperatura indicada para el vaciado °C
	Estaño	Antimonio	Plomo	Cobre		20°C	100°C	20°C	100°C	20°C	100°C	
No.2	89	7.5	0.03	3.4	7.39	6100	3000	14900	8700	24.5	12	424
5X	87	9		4		6300		15000		25	13	470
No.3	83.3	8.2	0.03	8.3	7.4	6600	3150	17600	9900	27	14.5	491
No.7	10	15	75	—	9.73	3550	1600	15650	6150	22.5	10.5	338
No.8	5	15	80	—	10.04	3400	1750	15600	6150	20	9.5	341
Magnolia	3	14	83	—	10.6	3380	1810	15500	5940	18	9.3	338
No.11	—	15	85	0.5	10.28	3050	1400	12800	5100	15	7	332
Stannum 5					9.94			11140	10060	18.1	15.3	350

El babbitt grado 5X debe utilizarse en condiciones de operación severa, donde las razones económicas por falla del cojinete o chumacera son primordiales. En general, puede decirse que las propiedades mecánicas y físicas del babbitt 5X superan a las del babbitt 8 y 11 y que no puede definirse una aplicación específica para cada material, sino que la decisión de usar uno u otro dependerán de las condiciones de diseño, especificaciones de operación, jerarquización de carácter crítico del equipo y factores económicos que se deriven del análisis de lo expuesto en los párrafos anteriores, teniendo en cuenta que *los resultados experimentales sugieren que la resistencia al desgaste aumenta en proporción al incremento en contenido de estaño*. Las aleaciones a base de plomo tienden a ablandarse a elevadas temperaturas más rápidamente que las aleaciones a base de estaño.

CAPITULO 13

ZINALCO

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso), es parte de la nueva familia de aleaciones denominada Zinalco[®], y que surge como resultado de varios años de investigación y desarrollo en el Instituto de Investigación en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México. El motivo de esta investigación fue contribuir al conocimiento de las aleaciones Zn-Al con el objeto de aprovechar las características que ofrecen estas aleaciones, otra razón es la de aprovechar el zinc, metal del que México es importante productor en el ámbito mundial.

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) viene a llenar un vacío existente entre los dos materiales con más aplicaciones industriales: el hierro y el aluminio. Este material puede competir con el aluminio, con una relación de peso a resistencia mecánica igual a la de las aleaciones de aluminio de la serie 6000; su densidad se disminuyó con aluminio y las propiedades mecánicas se ajustaron con la adición de cobre. Estudios posteriores mostraron que la adición de pequeñas cantidades de cobre (1 a 2%), proporcionaban a la aleación mejores propiedades mecánicas y facilitaba el comportamiento superplástico del metal a temperatura ambiente.

Entre otras propiedades, la aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) puede ser fundida usando los procesos de molde de arena, molde permanente, por gravedad o por inyección a baja presión, también puede ser extruida y laminada. La posibilidad de extruirse, en las mismas instalaciones usadas para extruir aluminio y con igual rapidez de producción, dan a esta aleación competitividad con los productos de aluminio. Por otro lado, su alta resistencia mecánica semejante a la de los aceros estructurales permite disminuir el problema de peso, debido a que su densidad está en relación de dos a uno con respecto al aluminio. En lo que respecta a los acabados superficiales, se puede pintar electrostáticamente, cobrizar, niquelar, cromar, anodizar y pavonar.

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) Es básicamente una aleación eutectoide zinc-aluminio modificado con cobre y con adiciones de magnesio o cadmio, que permiten graduar sus propiedades dependiendo de las aplicaciones a las que se les destine.

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) solidificada por los métodos convencionales posee buena resistencia mecánica y gran ductilidad en piezas directamente obtenidas de fundición. Además, los tratamientos mecánicos y térmicos en dichas piezas amplían la gama de características mecánicas según los estudios realizados. Mediante la técnica de colada en molde permanente puede alcanzarse una rapidez alta de solidificación. Empleando dicha técnica para esta aleación se pueden mejorar las propiedades mecánicas, adicionalmente, también las piezas de esta aleación obtenidas mediante colada en molde permanente pueden ser sometidas a tratamientos térmicos, ampliando aún más el rango de posibilidades y aplicaciones.

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) ha estado sujeta últimamente a un estudio de sus propiedades tanto en la industria como en el laboratorio. Gracias a estas investigaciones se ha formado una imagen real acerca de sus propiedades, pero la investigación básica que se debe realizar sobre esta aleación es todavía enorme ya que muchos fenómenos no están totalmente clarificados.

13.1. PROPIEDADES DE LA ALEACIÓN ZN-22AL-2CU (% EN PESO)

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) es básicamente la aleación eutectoide del sistema Al-Zn modificada con cobre. Sus propiedades principales se muestran en la tabla 13.1

Tabla 13.1 Propiedades físicas de la aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso)

PROPIEDAD	VALOR
Temperatura de fusión	421-481°C
Densidad	5.4 g/cm ³
Módulo elástico	110-130 GPa
Conductividad eléctrica	0.0000059 ohm/cm (37% del cobre)
Conductividad térmica	125.5 W/ m.K (37% del cobre)
Coefficiente de expansión térmica*	25X10 ⁻⁶ K ⁻¹
Color	Blanco grisáceo

*.-Colado en molde de arena [2]

La aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) funde casi con el doble de rapidez del aluminio y tres veces más rápido que el bronce. La densidad de la aleación tiene una posición intermedia entre la del aluminio y la del acero. Comparativamente es 18% más ligera que el zamak, 30% más ligera que el hierro de fundición, 40% más ligera que el latón. Su coeficiente de expansión térmica, es muy similar al que presenta el aluminio ($25 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$).

El bajo punto de fusión de esta aleación en comparación con el aluminio, latón, bronce o hierro fundido permite considerables ahorros de energía. Su color es muy agradable pero tiende a oscurecerse con el tiempo. La resistencia a la corrosión es otra característica que identifica a este grupo de aleaciones como un material que no se corroe tan fácilmente comparado con el hierro.

Las propiedades de la aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) hacen que a determinadas temperaturas se comporte con una gran plasticidad, por lo que se considera una aleación superplástica.

13.2. METALURGIA DE LA ALEACIÓN ZN-22AL-2CU (% EN PESO)

Como la composición química de la aleación es Zn-22Al-2Cu (% en peso), el zinc es el solvente y el aluminio y el cobre son los solutos. Tanto el zinc (estructura cristalina HC) como el aluminio (estructura cristalina CF) y el cobre tienen radios atómicos semejantes (0.133 nm, 0.143 nm, 0.128 nm, respectivamente) por lo que al entrar en aleación propician la formación de soluciones sólidas sustitucionales.

Recurriendo al diagrama de equilibrio Al-Zn, figura 13.1 se pueden determinar las reacciones que se presentan en la solidificación y que están resumidas en la tabla 13.2.

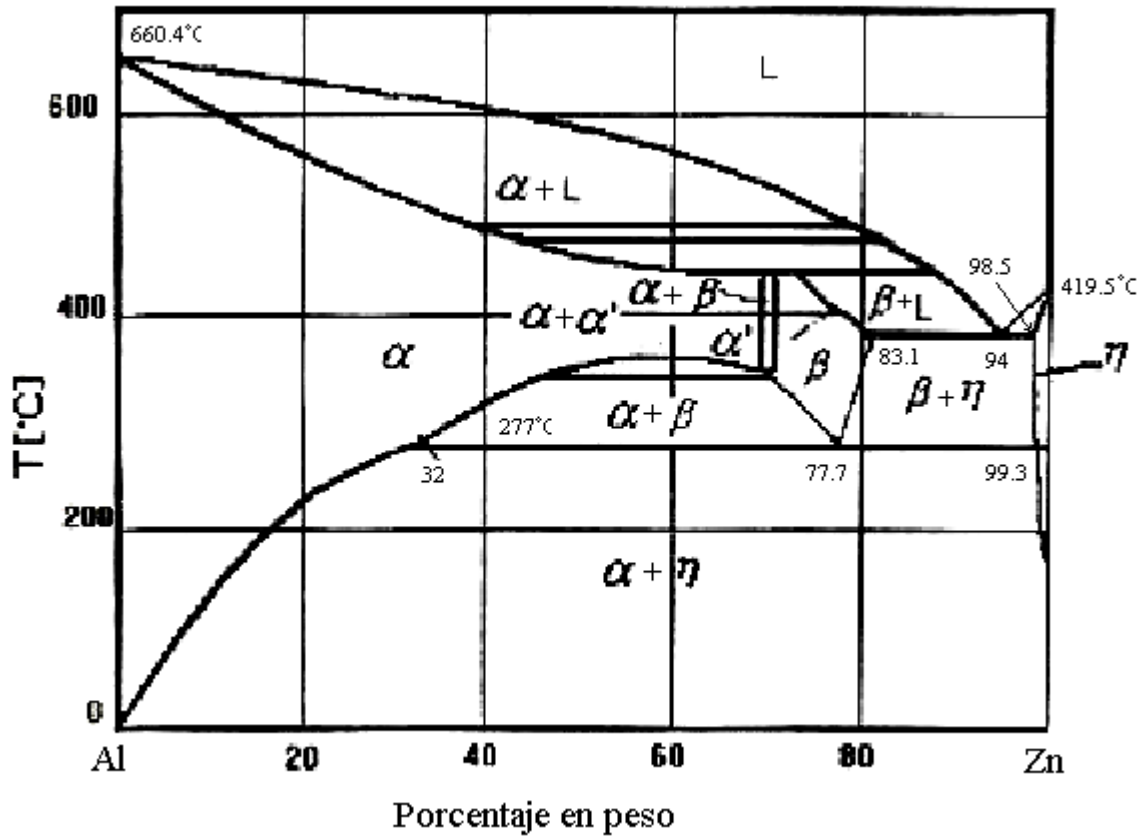


Figura 13.1 Diagrama de equilibrio para el sistema Al-Zn (según Presnyakov et al [3])

Tabla 13.2 Reacciones que aparecen en el diagrama de fases del sistema Al-Zn

Reacción	Composición (% peso Zn)	Temperatura (°C)	Tipo de reacción
$L \rightarrow \eta + \beta$	94 83.1 98.5	382	Eutéctica
$\beta \rightarrow \alpha + \eta$	77.7 32 99.3	277	Eutectoide
$\alpha \rightarrow \alpha + \alpha'$	62	351.5	Crítica
$L \rightarrow \alpha$	0	660.4	Congruente
$L \rightarrow \eta$	100	419.5	Congruente

Las diferentes estructuras cristalinas que pueden adoptar las aleaciones de Al-Zn según su composición y temperatura son:

Fase α . Es una solución sólida de zinc en aluminio con estructura cúbica centrada en las caras (FCC) que tiene una solubilidad mínima de 1.5% peso Zn a temperatura ambiente y una solubilidad máxima de 83.1% Zn a 382 °C.

Fase α' . Fase ordenada rica en Al con estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC), aunque no se ha comprobado del todo su existencia como fase única.

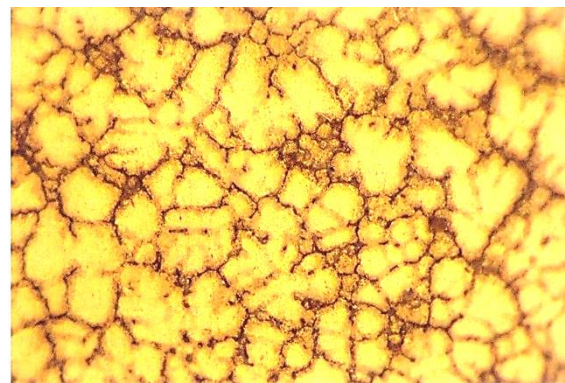
Fase β . Fase de estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC) rica en zinc, altamente deformable e inestable a temperatura ambiente.

Fase η . Es una solución sólida de aluminio en zinc con estructura cristalina hexagonal compacta (HCP) que puede disolver hasta 1.5% peso Al a una temperatura de 382 °C, siendo despreciable su solubilidad a temperatura ambiente.

La estructura de fundición de la aleación está constituida por dendritas; con componentes $\alpha + \eta$ que se distribuyen en forma de láminas alternadas, ó en forma de gránulos.



a)



b)

Figura 4.1 Micrografías obtenidas con microscopio óptico que muestran la estructura de la aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso) colada en molde permanente, sin tratamiento térmico: a) a 150X; b) a 600X

El cobre agregado a la aleación tiene los siguientes efectos: En pequeñas cantidades (del 1 al 2%) el cobre se encuentra en solución sólida en las fases α y η aumentando su resistencia y plasticidad formando algunas veces zonas G.P. (Guinier & Preston). También el cobre parece influir de manera determinante en las propiedades superplásticas de la aleación Zn-22Al-2Cu (% en peso). Toda la forma de esta estructura depende directamente de la rapidez de enfriamiento a la cuál sea sometida la aleación.

Tabla 13.3. Propiedades mecánicas del Zinalco

ESTADO	RESISTENCIA MÁXIMA (MPa)	RESISTENCIA A LA FLUENCIA (MPa)	% ϵ	DUREZA R_B
Molde De Arena	290-300	280-300	5-8	50-55
Material Extruido	380-410	280-320	30-35	40-55

CAPITULO 14

PEWTER

El **Pewter** (**peltre**) es una **aleación** compuesta por **estaño, cobre, antimonio y plomo**. Es maleable, blando y de color blanco con alguna similitud a la **plata**, poco reactivo y funde entre 170 y 230 °C por lo que suele emplearse para adornos. Duradero y maleable, con el tiempo adquiere una interesante **pátina** y puede ser forjado de cualquier forma.

Tradicionalmente con una composición del 85 al 99% de estaño, y restos de 1-4 % de cobre para darle dureza. Si se le agrega un pequeño porcentaje de plomo, se colorea azulado. Su aspecto es brillante, pulido y parecido a la plata, que al igual que este metal tiende a ennegrecerse por efecto de la oxidación si no recibe tratamiento químico. El peltre es maleable y se deforma a la horma de la mano cuando se aprieta fuertemente. Tiene un bajo punto de fusión.

Tradicionalmente hay tres tipos de peltre:

- *Fino*: Material de cubiertos. Compuesto de 96-99% de estaño y 1-4% de cobre.
- *Trifle*: También para cubiertos y vajilla rústica. Compuesto de 92% de estaño, 1-4% de cobre y más del 4% de plomo.
- *Lay*: También llamado Ley. Normalmente no se utiliza en cubiertos, por contener más del 15% de plomo y pequeñas cantidades de antimonio.

Popularmente también se llama peltre a los utensilios de metal bañados con una capa cerámica o esmalte cerámico, generalmente blanco.

No se debe confundir esta aleación con el acero porcelanizado, esmaltado o vitrificado que en Latinoamérica es conocido como peltre

BIBLIOGRAFÍA

1. http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/aleaciones_1/serie_m___z/serie_m___z.jsp

2. http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_4.html

3. *Aceros para herramienta sinterizados*

José Manuel Álvaro Reyes

Tesis profesional. FES-Cuautitlán. 2016.