

11161

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES BASE COBRE DE USO EN
LA INYECCIÓN DE ALUMINIO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

M E T A L - M E C Á N I C A

P R E S E N T A :

RAMÓN OSORIO GALICIA

DIRECTOR: DR. ANDRÉS HERRERA VÁZQUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
COORDINACIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CARTA DE VOTOS APROBATORIOS



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Coordinación General de Estudios de Posgrado
FES-Cuautitlán
Presente.

Por medio de este conducto nos permitimos comunicar a usted que revisamos la tesis titulada "ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE ALEACIONES BASE COBRE DE USO EN LA INYECCIÓN DE ALUMINIO" que presenta el alumno OSORIO GALICIA RAMÓN con número de cuenta 7630407-5 y número de expediente 100982009 para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Metal-Mecánica). Consideramos que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen de Grado correspondiente, otorgamos el voto aprobatorio.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

_____ a _____ de _____ del _____.

NOMBRE DE LOS SINODALES

Presidente: M. en C. HÉCTOR ENRIQUE CURIEL REYNA

Vocal: DR. ANDRÉS HERRERA VÁZQUEZ

Secretario: M. en I. CARLOS GÓMEZ GARCÍA

Primer Suplente: M. en C. TOMÁS RANGEL ORTIZ

Segundo Suplente: M. en I. VÍCTOR HUGO HERNÁNDEZ GÓMEZ

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme una segunda oportunidad.

A mi familia por su apoyo y comprensión.

Al Dr. Andrés Herrera V. mi asesor por sus consejos, paciencia y tiempo que me brindo para el desarrollo de la tesis.

Al M. en C. Miguel Ángel Alcántara, director de equipo de proceso del CIATEQ – Querétaro por su apoyo en la realización de esta tesis.

A la M. en C. Rosa Maria Lima del CFATA- UNAM por el apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo.

A todos los profesores de la maestría por su apoyo y consejos brindados.

Y a todos los compañeros y amigos que me apoyaron durante este camino, mil gracias.

ÍNDICE

	PAGINA
Resumen.	1
Introducción.	2
CAPITULO I. Revisión bibliográfica.	3
CAPITULO II.- Las aleaciones base cobre, estructura y propiedades.	7
II.1.- Clasificación y usos.	
II.2.- Tecnología de fundición de las aleaciones base cobre.	
II.3.- Tratamientos térmicos de aleaciones base cobre.	
CAPITULO III- Trabajo experimental.	21
III.1.-Metalografía.	
III.2.-Determinación de la resistencia al desgaste.	
III.3.-Dureza.	
III.4.- Propiedades térmicas.	
CAPITULO IV.- Resultados	33
IV.1.-Metalografía.	
IV.2.-Resistencia al desgaste VS. Tratamientos térmicos.	
IV.3.- Dureza VS. Tratamientos térmicos.	
IV.4.- Valores de propiedades térmicas (difusividad) VS. Tratamientos térmicos.	
CAPITULO V.- Discusión.	44
Conclusión.	47
Bibliografía.	48

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estudiaron dos diferentes muestras de la aleación de cobre C18000, compuestas de base Cu y los aleantes Ni, Cr, Si y Fe. Estas varían en su composición química en cuanto a cantidades de los aleantes. Para cada aleación se tuvieron quince muestras, cada una con un diferente tratamiento térmico, a los que fueron sometidas las probetas; solubilización con gas (N_2), solubilización sin gas y tratamiento térmico de uno y dos envejecimientos de 3 y 5 hrs. de duración cada uno.

Para las diferentes muestras se realizaron pruebas de dureza considerando en cada caso el tratamiento térmico al que fue sometida, se escogió la escala Rowell B, debido al rango de dureza que manejan las aleaciones de cobre. Se separaron las muestras cuando fueron tratadas sin gas y con gas, obteniendo la mayor dureza para la muestra sin gas (61.23 Rb) cuando la muestra es tratada térmicamente con dos envejecimientos uno de tres horas y otro de cinco horas. Para la muestra con gas se tiene un valor mayor de dureza (96.15 Rb) cuando el tratamiento térmico fue un solo envejecimiento de tres horas.

Otra prueba realizada es la de resistencia al desgaste, también se separaron las muestras con gas y sin gas, se usó una máquina tipo disco- espiga, el resultado obtenido mostró que para las probetas sin gas el tratamiento térmico de envejecimiento por tres horas presentó mayor resistencia al desgaste. Para las muestras tratadas con gas la mayor resistencia al desgaste se presenta cuando la probeta se trató con un envejecimiento de tres horas; sin embargo, se puede señalar que también se tiene una similar resistencia al desgaste cuando la muestra se somete a un doble envejecimiento de tres y cinco horas respectivamente.

Se realizó análisis de microscopía óptica para varias muestras representativas que presentaron una magnitud mayor y menor en cuanto a resistencia al desgaste y de dureza.

Encontrándose que la dureza presentó su valor más bajo cuando se solubilizó, debido a que el tamaño de grano se trata de homogenizar y cuando el valor de dureza es mayor es cuando se envejece y el mecanismo que probablemente se presentó es de endurecimiento por precipitación. También se observó la probable formación de una segunda fase en donde se consideran precipitados, pudiendo ser estos principalmente de Cr.

INTRODUCCIÓN

La competencia que existe entre fabricantes de materiales de fundición y productos, exige que la calidad sea mayor. Hablando de productores que fabrican grandes volúmenes de piezas de aluminio, se requiere contar con líneas de producción que satisfagan los siguientes requisitos; calidad, menor tiempo de producción y bajo costo.

Un proceso competitivo, es el de inyección de material en moldes para obtener la materia prima o productos, este proceso tiene ventajas sobre otros debido a que las piezas o materiales se obtienen con poca variación en las dimensiones, buenas propiedades físicas, propiedades mecánicas y acabados. Además de disminuir costos y tiempos de producción. Actualmente para los dados en los émbolos de las cámaras de inyección se utiliza principalmente la aleación de cobre C17510(cobre – berilio), pero existen inconvenientes: tiene un alto costo la fabricación y es extremadamente contaminante, el gas que se despiden en el proceso es venenoso, por lo que se requiere de control de expedición de gases.

Por lo anterior una posible alternativa sería sustituir la aleación C17510 con otro tipo de material que cumpla con la misma función, conservando las características de durabilidad, conductividad térmica, etc. Se investigó la aleación de cobre C18000 (Cu, Si, Cr, Ni y Fe) primeramente por sus propiedades de conductividad térmica y por la facilidad que presenta para trabajar con altas temperaturas y segundo por ser mucho menos contaminante en su preparación y con un costo menor.

Es importante indicar que el estudio sobre de la aleación se realizó en varias vertientes, una de estas fué la preparación y fundición de las muestras la cual se realizo en el Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de Querétaro (CIATEQ) y otra etapa fué el estudio que se llevo a cabo en el presente trabajo, sobre las propiedades de la aleación, considerando el tratamiento térmico dado a las muestras.

Para esta tesis se seguirá la siguiente presentación:

Capitulo I. Antecedentes, se considero revistas, artículos y libros para conocer los estudios que se han realizado sobre esta aleación y cuales han sido los resultados arrojados.

Capitulo II. Se describirán las propiedades de las aleaciones base cobre, mencionando su uso, sus tecnologías para su fundición y los tratamientos térmicos a que se someten, considerando principalmente la aleación C18000.

Capitulo III. En este capitulo se describe el trabajo experimental desarrollado, para obtener las pruebas de dureza, de resistencia al desgaste y metalografía.

Capitulo IV. Se dan a conocer los resultados obtenidos en las pruebas experimentales. Describiendo en cada caso lo encontrado por medio de graficas y tablas, considerando los tratamientos térmicos a los que fue sometido el material.

Capitulo V. Se presenta la discusión sobre los resultados obtenidos. Con lo que se pretende caracterizar a las diferentes muestras de la aleación C18000, considerando todos los parámetros estudiados, para una posible sustitución de la aleación C 17510 por la C18000 en la fabricación de émbolos para inyección en moldes.

CAPITULO I

ANTECEDENTES.

EL COBRE

Aunque se supone que el descubrimiento⁽¹⁾ accidental del cobre nativo en Europa y Asia aconteció en el lapso comprendido entre los años 12000 y 8000 años A.C., dependiendo de la zona geográfica y los grupos humanos que la habitaron; el conocimiento y el empleo del cobre se atribuye a los Sumerios, de quienes se conservan objetos ornamentales de más de 6500 años de antigüedad elaborados a partir de cobre nativo. Se ha podido comprobar que en el año 2,700 AC los tubos de cobre ya eran usados en Egipto para transportar agua para beber.

El cobre fue utilizado en estado puro o ligado inicialmente al plomo y después al estaño en una aleación conocida como bronce, en la fabricación de armas, monedas y utensilios domésticos. Este uso fue de tal importancia que esta época recibe el nombre de Edad de Cobre y Bronce en la historia de la humanidad. El cobre se encuentra en la corteza terrestre en un $6 \times 10^{-3} \%$ en peso.

El cobre es un metal pesado, rojo con brillo metálico. Es blando, maleable, dúctil, y un buen conductor del calor ($0.94 \text{ cal/cm s } ^\circ\text{C}$) y de la electricidad (es el segundo mejor conductor, después de la plata 100 IACS). Al contacto con el aire su superficie se oxida lentamente a Cu_2O , rojo, lo que evita la oxidación posterior. Las aleaciones de cobre más conocidas son las aleaciones denominadas bronce (cobre y estaño) y latones (cobre y zinc). Gracias al avance del conocimiento científico y tecnológico, el cobre demuestra tener una serie de propiedades que lo hacen indispensable en muchos aspectos de la vida cotidiana. tales como la transmisión de electricidad y la resistencia a ciertas bacterias. Incluso ya tiene aplicación en la carrera espacial.

Las principales propiedades del cobre son las siguientes:

Es un muy buen conductor eléctrico, es un muy buen conductor térmico, tiene excelentes cualidades para el proceso de maquinado, tiene una alta capacidad de aleación metálica y tiene una buena capacidad de deformarse en caliente y en frío.

Sus principales características son:

Símbolo: Cu

Número Atómico: 29

Masa Atómica: 63.546 g/mol

Número de protones/electrones: 29

Electrones en los niveles de energía: 2, 8, 18, 1

Radio atómico: 128 (pm)

Punto de Fusión: 1084.62(°C) - 1357.62 °K

Punto de Ebullición: 2562(°C) – 2835 °K

Densidad: 8960(kg/m³); (20 °C)

Estructura cristalina: Cúbico centrado en las caras

Color: Rojo anaranjado.

Para el presente estudio se considera en especial una aleación de cobre C 18000 (Cu, Si, Cr, Ni y Fe).

En la actualidad la operación de inyección en moldes ⁽²⁾, es muy demandada por la rigurosa alta calidad que deben tener los productos. Esto requiere que las variaciones entre parte y parte sean pequeñas y además que su producción sea de un bajo costo, especialmente en donde se tienen altos volúmenes de producción; es importante contar con un molde capaz de producir el producto o material que cumpla con los requerimientos de calidad (dimensiones, sin deformaciones, etc.), con un menor tiempo de horas de producción para realizar la tarea, dando como resultado el potencial necesario para disminuir los costos de producción.

Un factor determinante para los ciclos de tiempo en la inyección, es el enfriamiento previo a la par de la expulsión del material. El enfriamiento del material o producto es determinante para la aceptación que se debe tener en la calidad.

Un enfriamiento desigual puede inducir gran número de problemas, los más comunes son la inestabilidad dimensional y las deformaciones que sufre el material. Por lo anterior tener un sistema deficiente de enfriamiento se debe considerar como un factor crítico en la inyección de piezas moldeadas.

El mejoramiento del enfriamiento en los moldes es reto creciente para los procesadores de piezas moldeadas por inyección. Esto para reducir en general los ciclos de tiempo de enfriamiento y eliminar los defectos y deformaciones en las piezas.

Se han realizado en núcleos de moldes de Acero y Aleaciones de cobre estudios de enfriamiento y pruebas de producción para cuantificar los efectos de tiempo de enfriamiento y deformaciones. Encontrando en general que las aleaciones de cobre reducen tiempo de enfriamiento y mejoran la estabilidad dimensional.

Una de las situaciones más complejas es eliminar el calor en la inyección en moldes ⁽³⁾, este es un problema que todavía no se resuelve en la producción de herramientas. Ciclos de tiempo y o estabilidad dimensional son sacrificados por la temperatura a que se trabajan las herramientas. En los estudios de investigación se han empleado una variedad de

estrategias, empleando aleaciones de cobre sin enfriar con agua el núcleo del molde, encontrando que se deben utilizar aleaciones de cobre de alta conductividad térmica, dentro de estas aleaciones de cobre usadas están las C17510 y C18000, debido a que sus condiciones para desalojar calor de los moldes son muy similares.

Las aleaciones de cobre obtienen buena dureza⁽⁴⁾ en los tratamientos térmicos, la C18000 es utilizado cuando se requiere una combinación de buena resistencia longitudinal, una moderada conductividad eléctrica y una buena conductividad térmica. Los valores que ofrece la aleación de cobre C18000 son excelentes y puede sustituir en muchas aplicaciones a la aleación C17510.

Las aleaciones de cobre tienen ventajas en la inyección y moldeo de plástico, gracias al retiro rápido del calor del plástico fundido, aumentando la producción y reduciendo defectos en las partes. Además el cobre por su alta conductividad térmica ofrece ventajas en el moldeo:

- Una distribución del calor más uniforme.
- Se logran mejores especificaciones dimensionales en las piezas a moldear.

Los cobres templados⁽⁵⁾ ofrecen buena resistencia a la corrosión, moderadas propiedades mecánicas, excelentes propiedades antifricción y una superior conductividad térmica.

Para aplicación en los moldes tenemos las siguientes características:

- Inherente resistencia a la corrosión.
- Retención de la dureza a elevada temperaturas.
- Alta velocidad en la conductividad térmica.
- Reducción de ciclos de enfriamiento.
- Ahorro apreciable con respecto a la aleación cobre- berilio.

A continuación se muestran diversas tablas (1,2 y 3) que ofrecen fabricantes y de resultados obtenidos por el desarrollo de diferentes investigaciones en la aleación C 18000.

Tabla 1. Composición química (en %)^(6,7) de la aleación C18000

	Cu	Cr	Fe	Ni	Si
Mín/Máx	Base	0.1 - 0.8	0.15	1.8 - 3.0	0.4 - 0.8
Nominal		0.45	0.1	0.6	0.5

Tabla 2. Propiedades de la aleación C18000⁽⁸⁾

Resistencia a la tensión (MPa)	Conductividad eléctrica (%IACS)	Conductividad térmica (cal/m s °K) a 300 °K	Dureza en Rockwell B
669	42	49.44	94

Tabla 3. Valores estándar de las aleaciones de cobre⁽⁴⁾, para observar la comparación con la aleación C17510

Aleación	Composición Nominal	Densidad Kg/m ³	Dureza Mínima	Conductividad Eléctrica % IACS
C17510	Cu Ni 1.8% Be 0.4%	8820	90 RB Con Tratamiento Térmico	45
C18000	Cu Ni 2.4% Si 0.6% Cr 0.5%	8580	90 RB Con Tratamiento Térmico.	45

La importancia de la simple medición de la difusividad y conductividad térmica es crucial en el uso de aleaciones en varias industrias, en particular cuando están sujetas a ciclos térmicos, por la relación que tiene con las fases y micro estructura del material.

Para la medición experimental de la conductividad térmica se puede aplicar los métodos de flujo estacionario de calor, flujo de calor transitorio o periódico y el método de foto⁽⁹⁾ acústica, éste último tiene la ventaja de requerir pequeñas cantidades de material para el análisis, permitiendo la determinación de la difusividad térmica en regiones localizada de la muestra correlacionando las propiedades termo físicas y micro estructura del material. En la tabla 4 se muestran algunos valores de estas propiedades para dos aleaciones de cobre.

Tabla 4. Propiedades térmicas para dos aleaciones de cobre⁽³⁾

MATERIAL	Difusividad térmica m ² /s	Conductividad térmica Cal/m s °K	Calor específico J/kg °K	Densidad kg/m ³
C17510	0.0000707	58.52	380.0	8,820.0
C18000	0.0000599	49.44	404.0	8,580.1

CAPITULO II

ALEACIONES BASE COBRE

El cobre y sus aleaciones son útiles cuando se requiere operar con materiales que reúnan las siguientes propiedades; una excelente conductividad térmica y eléctrica, una buena maleabilidad y maquinabilidad. Sin dejar de indicar que sus propiedades mecánicas son de magnitud baja, para mejorar éstas últimas se han realizado diferentes aleaciones.

Las aleaciones de cobre en lo general se pueden dividir en varios grupos:

- Bronces rojos y semi rojos (cobre – estaño).
- Bronces al aluminio.
- Bronces al silicio.
- Aleaciones con níquel.
- Latones (cobre – zinc).

II.1 CLASIFICACIÓN Y USOS

Debido a los cientos de aleaciones⁽¹⁰⁻¹¹⁾ de cobre que han resultado, se ha tenido la necesidad de tener una clasificación de tal forma que sea relativamente fácil el conocer las propiedades de cada aleación.

Los cobres formados y las aleaciones de cobre se pueden dividir en los siguientes grupos:

- Cobres.- Metal con un mínimo de cobre del 99.3%
- Aleaciones al alto cobre.- Aleaciones con un contenido de cobre del 96.0 al 99.3%
- Latones.- Aleación en donde el mayor elemento aleante es el zinc. El grupo contiene aleaciones cobre - zinc, aleaciones de cobre – zinc – plomo (latones – plomo) y las aleaciones de cobre – zinc – estaño (latones – estaño).
- Bronces.- Aleación donde el mayor elemento es el estaño. Las cuatro principales familias de bronce son: Aleación cobre – estaño – fósforo (bronce – fósforo), aleación cobre- estaño – plomo - fósforo (bronce – plomo - fósforo), aleación cobre - estaño – níquel (bronce – níquel - estaño) y aleación de cobre - aluminio (bronce – aluminio).
- Aleaciones misceláneas cobre .- Las aleaciones de este grupo se conocían antes como bronce al manganeso o bronce al níquel. No obstante, el zinc es realmente el principal elemento aleante en estos bronce. Los dos sub grupos más grandes en esta categoría son: Aleaciones de cobre – níquel llamados cuproníquel y las aleaciones cobre – cinc - níquel comúnmente llamados níquel - plata

La asociación del desarrollo de cobre conjuntamente con la Sociedad Americana de pruebas y materiales y la Sociedad de ingenieros automotrices, desarrollaron un sistema de cinco dígitos para identificar las aleaciones. El sistema pertenece a Sistema Unificado de Numeración (UNS) para metales y aleaciones.

Los números de C 10000 a C 79999 denotan las aleaciones forjadas, mientras los cobs y aleaciones de cobs fundidos tienen del número C 80000 a C 99999. Los grupos de las aleaciones se muestran en la tabla 5 así como sus principales usos.

Tabla 5.

SISTEMA UNIFICADO DE NUMERACIÓN (UNS) PARA ALEACIONES DE COBRE

ALEACIÓN	APLICACIONES
C 10100 a C 15999	Grupo en general, cuando se requiere alta conductividad eléctrica.
C 10100 a C 10700	Cobres con alta conductividad eléctrica.
C 11000	Alambres y cables eléctricos.
C 12200	Tubos para agua en casas.
C 12800	Refrigeradores, aire acondicionado y gasolina.
C 14200, C 14300	Terminales de contactos y puntas de cautín.
C 15215 a C 16200	Componentes eléctricos y circuitos integrados
ALEACIONES AL ALTO COBRE	
C 16200 a C 19199	Grupo en general, contactos, conectores eléctricos y electrónicos.
C 17000 a C 17300	Aleación cobre – berilio, alta
C 18000	Swicht, componentes de los breacker y contactos
C 18200 a C 18300	Conectores para cable y electrodos.
C 19400	Terminales, manguera flexible, juntas y clips para fusibles.
LATONES (COBRE – ZINC)	
C 21000 a C 28000	Grupo en general, Laminas para chapar o embutir, resortes, swicht eléctricos. Soques y tubería.
C 23000	Latón rojo, tubos intercambiadores de calor en condensadores, tubería para plomería y estructura para adornos
C 26000 a C 26200	Cartuchos de latón, alma de radiadores, hardware, municiones y accesorios para tubería.
LATONES (COBRE – ZINC – PLOMO)	
C 31200 a C 38500	Grupo en general, latones con plomo, cuando se requiere de alta maquinabilidad.
C 34500	Partes para reloj y engranes.
C 36000	Tornillos, engranaje y piñones para maquinaria.
C 37700	Latón forjado.

LATONES (COBRE – ZINC – ESTAÑO)

- C 40400 a C48600 Grupo en general: Cuando se requiere resistencia a la corrosión y alta resistencia mecánica.
- C 425000 Conectores eléctricos, resortes y terminales.
- C 46400 a C46700 Latón naval, hardware para la marina, flecha para hélice y de uso para estructuras.
- C 48200 a C 48500 Hardware para la marina, contenedores para válvula y tornillos para los accesorios de las maquinarias.

BRONCES (COBRE – ESTAÑO – FÓSFORO)

- C 50100 a 54200 Grupo en general: Para resortes de alta calidad, con buena forma y gran resistencia a la fatiga y alta resistencia a la corrosión.
- C 50500 Tubo flexible y contactos eléctricos.
- C 51100 Clips para fusibles, partes de switch, sujetadores y fuelles.

BRONCES (COBRE – ESTAÑO – PLOMO – FÓSFORO)

- C 53400 a C 53500 Bronces con plomo –fósforo; Grupo en general: Combina alta resistencia a la tensión y ala fatiga con buena maquinabilidad y resistencia al desgaste.

BRONCES (COBRE – ALUMINIO)

- C 60800 a C 64210 Grupo en general: Combina alta resistencia a la tensión y excelente resistencia a la corrosión.
- C 61000 Hardware para la marina, bombas, válvulas, tuercas, pernos, partes para maquinaria y tubería.
- C 63000 Tuercas, pernos, flechas para la marina y partes para porta aviones.

BRONCES (COBRE – SILICIO)

- C 64700 a C66100 Grupo en general: Las propiedades son similares a la del bronce al aluminio; Excelente soldabilidad; Líneas para fluidos hidráulicos y buena resistencia al desgaste.

COBRE – NÍQUEL

- C 70100 a C 72950 Grupo en general: Excelente resistencia ala corrosión, alta resistencia a altas temperaturas, productos para la marina.

COBRE – ZINC – NÍQUEL

- C 73500 a C 79800 Buena resistencia a la corrosión con moderada resistencia a la tensión, monedas, equipo para manejo de comida y bebida, y bases para adornos.

Considerando que la aleación a estudiar es la C18000 se presentan algunas aplicaciones más particulares:

- Núcleos de bujías.
- Cuello de anillos.
- Incrustaciones en moldes especiales.
- Dados para puntas de embolo.
- Montajes para fundición.
- Boquillas de aspiradoras industriales.
- Juntas de conexión en los accesorios de los trenes.
- Partes automotrices.
- Industria aeroespacial.

II-2.- FUNDICIÓN DE ALEACIONES BASE COBRE

Las aleaciones de cobre⁽¹²⁾ se funden utilizando diversos tipos de hornos; pero los más usados todavía hoy son los crisoles de grafito calentados con carbón, petróleo o gas, que pueden llegar a una capacidad de 100 kg.

Para la fusión de grandes cantidades de metal, además de baterías de hornos de crisol, se emplean los hornos de reverbero.

Los más modernos sistemas de fusión emplean los hornos eléctricos, de resistencia o de inducción, que permiten una mejor regulación de la temperatura y disminuyen la posibilidad de absorción de los gases, que son el mayor peligro para las aleaciones de cobre.

Para obtener los mejores resultados es necesario que la fusión de los bronce se realice lo más rápidamente posible; por esta razón, y para obtener una mayor uniformidad y homogeneidad en la aleación, es conveniente efectuar la fundición de las piezas en dos tiempos:

1º Preparación y lingoteado de la aleación.

2º Refundición de los lingotes y vaciado de la colada.

Por lo que respecta al bronce de aluminio en particular, es conveniente, dada la facilidad con que el aluminio se transforma, a elevadas temperaturas, en óxido prácticamente imposible y muy difícil de eliminar, proceder a una primera fusión de una aleación que contenga el 50% de cobre y el 50% de aluminio, llamada liga madre, que es refundida en una segunda fase con el cobre remanente, el hierro y el cobre-manganeso en las proporciones debidas para obtener la liga deseada en lingotes y, finalmente, es fundida por tercera vez para proceder a la colada de las piezas.

Como en la preparación de cualquier aleación, también en las que tienen por base el cobre conviene fundir primero el componente menos fundible, esto es, el cobre.

Hay que recordar que, para obtener los mejores resultados, especialmente en lo que se refiere a las características mecánicas, es necesario partir de materias primas lo más puras posible (cobre electrolítico), limpias y sin óxidos.

Para la preparación de la aleación se introduce en el crisol o en el horno de reverbero o eléctrico el cobre en trozos no muy grandes, añadiéndole elementos para recubrir a base de vidrio, sosa, bórax, etc., que, por tener un punto de fusión más bajo que el del cobre, funden primero y forman una capa protectora bajo la cual se recoge el cobre a medida que se inicia y continúa la fusión: el metal queda así protegido de la absorción de los gases que se desarrollan en la combustión y en el aire.

Cuando todo el cobre necesario para la aleación está fundido, se procede a una primera desoxidación introduciendo pequeñas cantidades de cobre al silicio, al manganeso y más comúnmente al fósforo; estos metales, se combinan con el oxígeno que el cobre pueda haber absorbido durante la fusión, formando óxidos que pasan a las escorias.

Terminada esta segunda operación, se añaden por orden los otros elementos de la aleación, como el estaño, plomo y zinc, procurando, con adecuadas barras de hierro revestidas de grafito, tenerlos inmersos en el baño para evitar, especialmente del zinc, que hierve a 1000° C, fuertes pérdidas de oxidación (combustión).

Se deja calentar suficientemente la aleación y, después de quitar las escorias que flotan sobre el baño, con espumadores de hierro perforado, se la vacía en moldes metálicos, generalmente paralelepípedos, para obtener lingotes de forma y peso lo más manejables posible (10-15 kg).

Para asegurarse de la exacta composición de la aleación, porque, no obstante todas las precauciones, siempre se producen pérdidas por oxidación, se practica el análisis químico a fin de realizar las necesarias correcciones y adiciones adecuadas para dar al metal la composición requerida.

Aunque no se obtienen los resultados que se consiguen empleando materiales nuevos en la composición de la aleación, se pueden utilizar, por razones económicas, para la fundición de las piezas, particularmente si no se exigen determinadas y concretas características, chatarra y viruta de bronce, que deben estar lo más limpia posible, puesto que el aceite y los barnices producen gases fácilmente absorbibles por la aleación.

En este caso, todavía más que en el anterior, es necesario recurrir a una fusión y a un lingoteado preliminar seguidos de un tratamiento protector y desoxidante mediante elementos para recubrir a base de sosa y bórax, y, finalmente, a pequeñas adiciones de cobre fosforoso y con silicón.

El metal, una vez fundido, es colado en pequeños lingotes y, después de enfriado, sometido a análisis, que al revelar las cantidades de los componentes presentes, permitirá en el momento de la fundición para la colada de las piezas la adición de los metales que falten.

Para la fusión de las aleaciones de cobre empleadas en la fundición de las piezas, se procede como para la preparación de las aleaciones, esto es, se introducen en el crisol o en el horno dispuesto para la fusión los lingotes de aleación previamente preparados, eventualmente la chatarra de colada de fundiciones precedentes de la misma aleación y añadiendo, como cuando se trata de la primera fusión, un elemento para recubrimiento adecuado.

Convendría poder cargar toda la cantidad de metal necesario de una sola vez, pero esto casi siempre es imposible, especialmente si se trata de fusiones en crisol. Por esto, cuando esté completamente fundida la cantidad de metal introducida al principio, se añadirá la restante para completar la cantidad requerida, pero procurando hacerlo en el menor número de veces posible.

Cuando estén fundidos todos los lingotes y la eventual chatarra de colada, se harán, si es necesario, las pequeñas adiciones de metales de corrección, tales como el estaño, plomo, zinc, etc., para obtener el título requerido en la aleación.

Conseguida la fusión de toda la carga del crisol o del horno, se recalienta la aleación hasta la temperatura que se considere necesaria, dados el tipo y el espesor de las piezas a fundir, para la buena obtención de éstas; se introduce entonces en el crisol o en el caldero de fundir (si se trata de hornos de grandes dimensiones) el cobre fosforoso o con silicio necesarios para la última desoxidación, revolviendo el baño; después de una escorificación cuidada, se pasa a colar o vaciar la aleación al molde.

Esta última operación reviste una gran importancia, particularmente en aleaciones de gran contenido de zinc y en los bronce de aluminio; en efecto, un recalentamiento excesivo junto con una protección inadecuada del baño producen, cuando se trata de aleaciones de gran contenido de zinc, una fuerte pérdida de este metal en óxido (cosa que puede comprobarse fácilmente en los abundantes humos blancos que se forman), y en el caso del aluminio, en la formación de alúmina, que nunca se consigue eliminar por completo y que se encuentra luego en forma de escamas y películas en las piezas.

II-3.- TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ALEACIONES BASE COBRE (C 18000)

Las propiedades de los metales en general se pueden considerar relativas, en función que se puede cambiar sus características si se les somete a algún tipo de tratamiento térmico, es decir un material que puede tener una dureza determinada se le puede modificar sometiéndolo al tratamiento adecuado para aumentar ésta, pero puede ser que esto derive en que el material se vuelva frágil, o que tenga menos resistencia a la tensión, etc. Siendo importante considerar los diferentes tratamientos que se les puede aplicar a los materiales para obtener las propiedades requeridas.

La definición de tratamiento térmico⁽¹³⁾ es “Una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación es estado sólido en una forma tal que producirá las propiedades deseadas”.

Los tratamientos térmicos aplicados al cobre y a las aleaciones de cobre son:

- Homogenización.
- Recocido.
- Relevado de esfuerzos.
- Endurecimiento por envejecimiento

Homogenización.

Es un proceso común en donde se emplean altas temperatura por periodos prolongados de tiempo, para eliminar o decrecer la segregación en las piezas que son trabajados en caliente o en frío.

Los bronce con alto contenido de estaño – fósforo son notables por su alta segregación. Aunque algunas de estas aleaciones son sometidas al trabajo en caliente, por general en la práctica se ocupan para el rolado en frío, así en la manufactura es necesario la difusión de la fase del estaño, la fragilidad y por medio de esto incrementar la resistencia y la ductibilidad y disminuir la dureza para el rolado. Estos objetivos se logran por medio de la homogenización, con temperaturas cerca de los 94 °C por arriba de la máxima temperatura de recocido. La homogenización depende primeramente del tiempo, de la configuración de las partes y de la facilidad para realizar el proceso.

Recocido.

El recocido de un metal se logra al llevarlo a una temperatura en donde se logre la recristalización y si es necesario calentar más allá de la temperatura de recristalización causando el crecimiento del grano. Alguna de las temperaturas comúnmente usadas para el recocido, para el cobre trabajado en frío y las aleaciones de cobre se pueden observar en la tabla 6.

Tabla 6. Temperaturas para recocido de aleaciones de cobre.

ALEACIÓN	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (hrs)
C 18000 a C 19000	454.4 a 510	2 a 3
C 16500 a C 18000	443.3 a 454.4	2
C 16750 a C 17250	448.8 a 498.8	2 a 3
C 14250 a C 14750	301.6 a 343.3	2 a 3

El recocido primeramente esta en función de las temperaturas del metal y del tiempo que se someta al metal a una temperatura, la fuente y la aplicación del calor, el diseño del horno, la atmósfera del horno y la forma de la pieza son importantes, por que estos factores pueden afectar a el resultado y el costo del recocido.

Por esta multiplicidad de factores es complejo definir un tiempo y una temperatura determinada para obtener un tamaño de grano definido o una recristalización completa de un material después del recocido.

Para obtener el tamaño de grano requerido por general no basta un recocido, se tienen que repetir varios veces donde el tamaño del grano decrece gradualmente, hasta obtener lo más aproximado el tamaño del grano requerido. Una vez obtenido el grano se procede a dar uno o dos recocidos finales para uniformizar el tamaño de grano en todas las partes del material. El objetivo del recocido para el material trabajado en frío es obtener una máxima combinación de ductibilidad y resistencia y preliminarmente dar una textura refinada de la superficie cuando se requiere una superficie pulida.

El recocido debe depender de las especificaciones definidas y coordinado con las operaciones para el trabajo en frío, dando con esto las propiedades finales de la aleación.

Relevado de esfuerzos

Algunas aleaciones de cobre son sometidas a esfuerzos durante la deformación plástica para obtener su forma, por debajo de la temperatura de recristalización provocando fallas o fracturas por esfuerzos – corrosión.

Los esfuerzos residuales contribuyen a diferentes tipos de fallas, prevaleciendo en los latones que contienen 20% o más de zinc, igual que en las aleaciones de alto cobre, como los bronce al aluminio y al silicio, presentando fallas por debajo de las condiciones críticas de esfuerzos – corrosión. Y todas las aleaciones de cobre son más susceptibles a corrosión cuando existen condiciones de esfuerzos.

Los esfuerzos que se presentan en las aleaciones cobre fósforo y cobre níquel pueden ser comparadas con las pequeñas tendencias a las fracturas por esfuerzo – corrosión. Algunas aleaciones son más susceptibles a fracturas por fuego, una falla similar a la fractura por esfuerzo – corrosión puede ser causado cuando el metal sometido a esfuerzos es calentado rápidamente por arriba de la temperatura de recristalización.

Las maquinas al provocar la deformación plástica, incidentalmente provocan relevados de esfuerzos. Tal como el formado de una pieza por medio de una rectificadora o como el relevado térmico por debajo de la temperatura de recristalización, o por la combinación de ambos. El relevado de esfuerzos térmicos es aplicado con la finalidad de prevenir fallas en las partes que están expuestas a condiciones corrosivas.

Las temperaturas típicas para el relevado de esfuerzos , para algunas aleaciones de cobre se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Temperatura típicas para el relevado de esfuerzos.

ALEACIÓN DE COBRE	TEMPERATURA (^o C tiempo por 1 hora)
Bronce comercial 90% -----	205
Latón rojo 85% -----	235
Latón bajo 80% -----	250
Latón para cartuchos 70% -----	260
Latón amarillo 65% -----	260
Bronce fósforo -----	190
Cobre níquel -----	250

Desde un punto de vista práctico, la alta temperatura en ciclos de poco tiempo para el relevado de esfuerzos no muestra cambios significativos en las propiedades mecánicas

deseadas. Contrariamente, las bajas temperaturas en ciclos de largos periodos de tiempos es lo ideal para el relevado de esfuerzos, además de conservar sus propiedades mecánicas. Cuando el ciclo usado es el óptimo no existe decremento de dureza y resistencia.

Usualmente, la dureza y la resistencia aumentan ligeramente en aleaciones trabajadas severamente en frío, cuando una baja temperatura es usada para el relevado de esfuerzos.

A veces, un tratamiento térmico suplementario de relevados de esfuerzos, es usado para obtener estabilidad dimensional de las partes formadas en frío. Frecuentemente esto es aconsejable en relevados de esfuerzos por soldadura o en formado de estructuras en frío. Para algunas estructuras la temperatura para el relevado de esfuerzos es de 65 °C a 95°C.

Envejecimiento

Una de las características más interesantes e importantes de las aleaciones es la posibilidad de producir en ellas cambios internos que alteran significativamente sus propiedades. Una de estas transformaciones es el fenómeno de recristalización y otra del endurecimiento. Estos procesos se agrupan bajo la denominación de reacciones en el estado sólido, incluyendo el endurecimiento por envejecimiento.

Los metales puros en general son blandos a causa del libre movimiento de las dislocaciones en la estructura cristalina y el endurecimiento de los mismos se produce cuando se dificulta este movimiento. En un metal recocido, la movilidad de las dislocaciones puede ser afectada significativamente, disminuyendo el volumen disponible para el deslizamiento continuo, por ejemplo haciendo decrecer el tamaño de grano. Los límites del subgrano son también eficaces en la limitación del volumen disponible para el deslizamiento fácil. El endurecimiento máximo de los metales puros se obtiene por deformación en frío, en este caso se produce un complejo sistema de dislocaciones que hace extremadamente difícil cualquier movimiento posterior.

Los procedimientos utilizados para el endurecimiento⁽²¹⁾ de los metales puros pueden emplearse también para las aleaciones, pero en el caso de éstas, existen también otros métodos para aumentar su resistencia mecánica. Estos métodos se dividen convenientemente en dos clases: los que se fundan en reacciones en el estado sólido, hallados en un número relativamente pequeño de sistemas de aleación. Las clases de aleaciones de cobre más comerciales⁽¹⁴⁾ que responden a esta forma de endurecimiento son: Bronce- aluminio, cobre – berilio, cobre – cromo, cobre – zirconio, cobre – níquel – zinc y cobre – níquel – fósforo. Otros tipos de endurecimiento son asociados con bronce – aluminio que contienen más del 10% de aluminio. Y los que se basan en el endurecimiento por aleación (formación de soluciones sólidas o presencia de una segunda fase) que se produce en todas las aleaciones.

Endurecimiento por aleación: los elementos de aleación en solución sólida endurecen siempre el material solvente. En las soluciones diluidas el grado de endurecimiento es casi proporcional a la concentración del elemento de aleación y si está presente más de un elemento, el endurecimiento total es aproximadamente la suma de los efectos característicos de cada elemento. El endurecimiento producido por un determinado elemento de aleación parece depender de las diferencias en tamaño atómico y estructura electrónica que existe entre este elemento y el metal solvente. Aparentemente los átomos solutos distribuidos al azar en el solvente, no constituyen una seria dificultad para las dislocaciones. Sin embargo si los átomos solutos se reúnen preferentemente alrededor de las dislocaciones, la fuerza necesaria para mover una dislocación puede aumentar considerablemente. Cuando existe una segunda fase, se produce otro tipo de

endurecimiento por aleación. Aunque una dislocación puede pasar a través de un conjunto de átomos de soluto separados, no puede hacer esto en el caso de partículas de una segunda fase.

El endurecimiento por aleación y la deformación en frío se aplican ampliamente, pero en algunas aleaciones es posible endurecerlas por medio de las reacciones que se producen en el estado sólido. Estas reacciones pueden aumentar el valor de dureza de las aleaciones con una magnitud mayor, al que se puede obtener por endurecimiento por aleación, además no precisan que la pieza se deforme plásticamente.

Las reacciones en estado sólido tienen algunos inconvenientes:

-No en todos los sistemas de aleación pueden producirse reacciones en estado sólido.

-Una reacción en estado sólido en estado de equilibrio no conduce a un endurecimiento apreciable. Para producir el endurecimiento es necesario formar una estructura fuera de equilibrio.

-El grado de endurecimiento por una reacción determinada en el estado sólido varía de sistema a sistema y puede ser insignificante en determinados casos.

La aparición de una reacción dada debe considerarse, por tanto, condición necesaria, pero no suficiente, para el endurecimiento.

Unas de las reacciones en el estado sólido (también conocidas como endurecimiento por envejecimiento) capaz de producir un endurecimiento útil, son:

-Descomposición eutectoide.

-Precipitación en una solución sólida.

-Ordenación de una solución sólida al azar (desordenada).

-Reacción de difusión.

Si el límite entre una región monofásica y otra bifásica (la línea de solvus), se inclina en la forma indicada en la figura 1 puede producirse la precipitación. Para que la ordenación sea posible, debe poder realizarse en la fase sólida del sistema de aleación en cuestión. Las condiciones necesarias para una reacción de difusión. La composición de una aleación endurecible (un metal B en un metal A) debe variar de una región de una fase a otra de dos fases. como resultado de la difusión de un tercer componente (metal C) hacia la aleación inicial.

La condición necesaria para que se produzca la precipitación en una solución sólida es, la existencia de una línea de solvus inclinada como la que se muestra en la figura 1. Por consiguiente, se produce un cierto grado de precipitación en la mayor parte de los sistemas de aleación. Se considera virtualmente que cualquier metal se puede endurecer por precipitación, cuando se le agrega un elemento de aleación apropiado. El endurecimiento se presenta en una magnitud mayor en el caso de aleaciones ternarias o de mayor número de componentes.

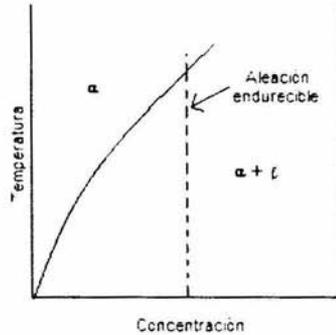


figura 1. Línea entre una región monofásica y una bifásica (línea de solvus)

El proceso completo para obtener una aleación endurecida por precipitación puede dividirse en tres partes: (1) elección de la composición, (2) tratamiento térmico de disolución, y (3) tratamiento térmico de precipitación.

El objeto del tratamiento de disolución, es disolver un máximo de la segunda fase en la solución hasta alcanzar la temperatura ambiente. Esto se efectúa : (1) calentando la aleación hasta una temperatura elevada, pero inferior a la que produciría un crecimiento excesivo de grano o la fusión de uno de los constituyentes, (2) manteniendo esta temperatura desde una fracción de una hora hasta casi un día entero, para que pueda producirse la disolución, y (3) templando en agua hasta obtener una solución sólida sobresaturada a la temperatura ambiente. Después del tratamiento de disolución la dureza es relativamente baja, figura 2.

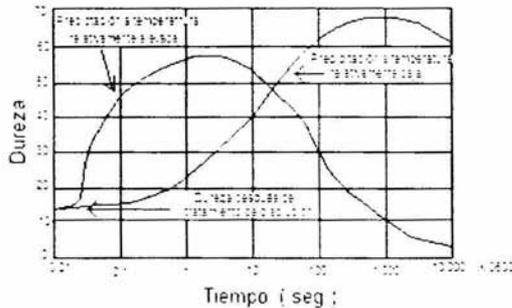


figura 2. Curso del endurecimiento durante el tratamiento térmico de precipitación a dos temperaturas diferentes.

La dureza máxima de estas aleaciones se obtiene durante el tratamiento de precipitación, en el que la solución sobresaturada sufre cambios que conducen, eventualmente, a la formación de la segunda fase. En algunos casos, la precipitación puede producirse en un tiempo razonable a temperatura ambiente y, entonces, se dice que la aleación envejece naturalmente. Por lo general es necesario envejecer la aleación artificialmente, manteniéndola dentro de un intervalo de temperaturas como el que se muestra en la figura 3. La temperatura adecuada utilizada para el tratamiento térmico de precipitación, está determinada por dos factores: (1) el tiempo preciso para obtener una reacción apreciable y

(2) la propiedad de interés principal. (Cuanto más elevada sea la temperatura, menor será el tiempo). En relación con el segundo factor, debe entenderse que las distintas propiedades varían a velocidades diferentes durante la precipitación. Por ejemplo, las propiedades de resistencia mecánica tienden a alcanzar valores máximos más altos a temperaturas de precipitación más bajas. Propiedades tales como la dureza alcanzan un valor máximo durante la precipitación a una temperatura dada y, después, disminuyen gradualmente como consecuencia de un sobrevejecimiento. Este ablandamiento es consecuencia natural de la aproximación de la aleación al estado de equilibrio, al aumentar el tiempo durante el que la aleación se mantiene a una temperatura. En efecto, una aleación muy sobrevejecida sería esencialmente idéntica a una aleación recocida, es decir, una aleación en la que la estructura de equilibrio se produce por medio de un enfriamiento lento desde la temperatura del tratamiento de disolución.

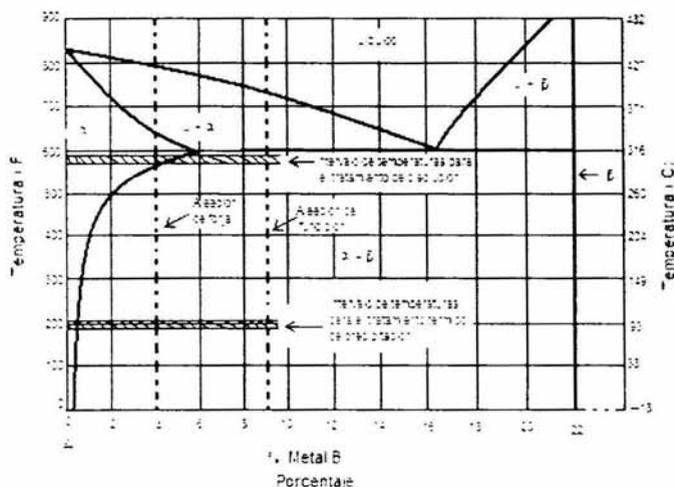


figura 3. Diagrama de equilibrio en el que se indican las composiciones de una aleación de forja y de otra de fundición, convenientes para el endurecimiento por precipitación.

La teoría que tiene una explicación más para el endurecimiento por precipitación, es la teoría de coherencia reticular, que indica; la primera etapa de la precipitación es la reunión de átomos de soluto en pequeñas regiones de la red matriz como resultado de las fluctuaciones estadísticas de concentración en la solución sólida. Estas regiones enriquecidas en soluto son el primer paso hacia la nucleación. En el próximo paso del proceso, los átomos de soluto difunden a través de la matriz hacia las regiones enriquecidas y algunas de ellas se convierten en núcleos de una nueva fase. Durante las primeras etapas de la precipitación no se forma directamente la fase de equilibrio, sino una estructura cristalina intermedia relacionada con ella que crece, en íntimo contacto con la solución sólida. Las partículas iniciales no son, usualmente, esféricas sino que tienen forma de plaquitas o varillas.

Si las condiciones no son favorables para un desarrollo rápido de la fase de equilibrio, se forma finalmente esta fase más estable después de un tiempo suficiente. Usualmente ella se nuclea con independencia de la red de transición y, durante el subsiguiente proceso de

crecimiento, compete con esta red menos estable por los átomos de soluto, causando, finalmente, su redisolución. En algunas aleaciones, la red de transición se transforma directamente en el precipitado de equilibrio. También, en muchos sistemas de endurecimiento por precipitación, la estructura cristalina intermedia no se desarrolla lo suficiente para que pueda ser llamada red de transición antes de que sea reemplazada por el precipitado de equilibrio.

Aunque el precipitado de equilibrio está orientado en una posición definida con respecto a las solución sólida dentro de la que se forma, no existe la continuidad o coherencia de átomos entre dos redes, que caracteriza a las estructuras cristalinas intermedias.

La teoría de dislocaciones del efecto de endurecimiento por una segunda fase, se puede emplear para explicar por qué el precipitado de equilibrio es menos efectivo en el aumento de resistencia mecánica de la aleación que una región coherente del mismo tamaño. A causa del volumen circundante de matriz deformada, la partícula coherente tiene un tamaño efectivo mucho mayor y, el espaciado d entre partículas es menor en comparación con el existente en el precipitado de equilibrio. Se recordará que un valor de d pequeño está asociado con una resistencia mecánica elevada. Durante el envejecimiento posterior, el tamaño de las partículas del precipitado de equilibrio aumenta y su número desciende. La distancia entre partículas experimenta entonces un aumento aún mayor y da lugar a una disminución progresiva de la dureza durante el sobre-envejecimiento. Algunos sistemas experimentan una precipitación discontinua. Este proceso tiene lugar usualmente en los límites de grano y consiste en el crecimiento de laminillas de segunda fase entremezcladas con la matriz empobrecida.

El endurecimiento por precipitación es el método más importante para aumentar la resistencia mecánica de los metales no ferrosos por reacción en el estado sólido. El tratamiento térmico de envejecimiento da lugar a cambios estructurales, estos cambios no son visibles en la micro estructura.

El tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento, es común referirlo como si fuera sinónimo de endurecimiento por precipitación, sin embargo como se mencionó anteriormente en el envejecimiento pueden presentarse varias reacciones dentro de estas esta el endurecimiento por precipitación, el endurecimiento por ordenación, etc. Por consiguiente, cuando una aleación de varios componentes se endurece al ser sometida a un tratamiento térmico de esta naturaleza, puede resultar imposible determinar el tipo de reacción que produjo su endurecimiento si es desconocido su complejo diagrama de equilibrio. Sin embargo, es costumbre referirse al proceso desconocido con el nombre general de endurecimiento por envejecimiento.

La existencia de una estructura completamente ordenada es causa de que la aleación sea blanda. Por lo que requiere un tratamiento térmico de endurecimiento por ordenación para obtener un valor de mayor dureza, el proceso correcto para este tratamiento se describe a continuación:

- Elección de una composición dentro del intervalo de existencia de una fase ordenada:
- Obtención de la solución sólida desordenada a temperatura ambiente, calentando la aleación a una temperatura dentro de la zona aconsejada para el tratamiento de desordenación y enfriado rápidamente desde esta temperatura.

-Formación de regiones de estructura ordenada en la solución sólida, manteniendo la aleación a una temperatura dentro del intervalo indicado para el tratamiento térmico de ordenación.

Durante este tratamiento térmico final, se forman numerosos núcleos de la fase ordenada y, a continuación, se produce su crecimiento a expensas de la solución sólida desordenada. El endurecimiento resultante continua hasta que se alcanza un valor máximo más allá del cual se produce el sobre-envejecimiento (ablandamiento).

Los tratamientos térmicos de ordenación a temperaturas relativamente elevadas o a bajas temperaturas producen cambios en la dureza similares a los de endurecimiento por precipitación.

A modo de comparación, cabe observar que el endurecimiento por precipitación da lugar a, aproximadamente, la misma disminución de la ductilidad, y la deformación enérgica en frío produce una disminución algo mayor, mientras que el endurecimiento por solución sólida tiene un pequeño efecto sobre la ductilidad. Por ejemplo, en el sistema oro-cobre las fases ordenadas tienen solamente alrededor de un tercio de la resistencia de las correspondientes soluciones sólidas desordenadas y son casi iguales al cobre en cuanto a conductividad.

En contraste con el endurecimiento por precipitación y el endurecimiento por ordenación, que requieren tratamientos térmicos especiales, el endurecimiento por reacciones de difusión se produce alternando la composición de la aleación. De este modo, si un metal A disuelve a un metal B pero tiene una solubilidad limitada por el compuesto B_xC_y , algunas veces es posible obtener un endurecimiento considerable haciendo penetrar por difusión un metal C en la solución sólida, tendiendo de este modo a precipitar el compuesto B_xC_y . La aleación endurecible es inicialmente la solución sólida alfa (metal B disuelto en metal A). A medida de que va difundiendo el metal C hacia el interior de esta solución sólida, la composición resultante va desplazándose gradualmente hacia la región alfa más beta del diagrama y la fase beta (B_xC_y) tiende a precipitarse. Probablemente, el endurecimiento es el resultado de la coherencia de la red, que existe en las primeras etapas de la precipitación de B_xC_y en la solución sólida. Por medio de este proceso sólo resulta endurecida la capa superficial, puesto que el elemento que se difunde alcanza solamente una pequeña profundidad. Los elementos aluminio, cromo y vanadio tienen una fuerte tendencia a formar nitruros. Por lo tanto, cuando el nitrógeno difunde material que contiene uno o más de estos elementos, se forman en el partículas de las fases de nitruro. La extrema dureza superficial que se obtiene con el tratamiento de nitruración, es atribuible al estado de dispersión final de las partículas de nitruro más bien que a la dureza inherente de los grandes granos de nitruro.

CAPITULO III

TRABAJO EXPERIMENTAL

Para caracterizar cualquier material o aleación es importante considerar las pruebas a que se va a someter, considerando la aplicación o uso que se le va dar al material, en este caso se pretende utilizar el material en embolos para inyección de aluminio en moldes de acero, por lo que es importante considerar que va estar en constante contacto con otro material (camisa por donde corre el embolo), por otra parte se va a someter a cambios de temperaturas por el sistema de enfriamiento que se ocupa durante la inyección y también requiere de cierta dureza para soportar el trabajo a el que va a estar sometido, por la anterior se considero realizar al material base cobre C18000 las pruebas siguientes:

- Metalografía.
- Ensayo de dureza.
- Resistencia al desgaste por adherencia (fricción)

Para realizar las diferentes pruebas se usaron probetas de la aleación C18000 con diferentes tratamientos térmicos, las muestras fueron proporcionadas por el “Centro de Tecnología Avanzada del Estado de Querétaro” (CIATEQ) donde fueron fundidas. Se analizaron 30 muestras, y para su identificación se usaron las siguientes siglas:

Co - Primera muestra de aleación C18000.

C1 - Segunda Muestra de aleación C18000.

S – Muestra solubilizada sin gas N₂

G – Muestra solubilizada con gas N₂

T – Muestra templada

E3 – E13 Muestra envejecida tres horas

E5 – E15 Muestra envejecida cinco horas

Ejemplo:

CoGE3E5

Primera muestra de cobre C180000 (Co) solubilizada con gas N₂ (G) con un primer envejecimiento de tres horas (E3) y un segundo envejecimiento de 5 horas (E5).

La temperatura de solubilización fue de 950 °C durante tres horas.

La temperatura del primer envejecimiento fue de 550 °C

La temperatura del segundo envejecimiento fue de 430 °C

(Las temperaturas y el tiempo para la solubilización y el envejecimiento, son las sugeridos por la ASM.)

Para ambas aleaciones se realizo el análisis químico por método de espectro con los resultados siguientes, tabla 8 y 9.

Tabla 8. Análisis químico de la muestra de aleación de cobre C18000 (Co)

Co C18000	3.96 Kg - Cu	% Ni 2.22
	0.055 Kg - Ni	% Si 0.57
	0.030 Kg - Si	% Cr 0.73
	0.375 Kg - Cr	% Fe 0.084
		BALANCE Cu

Tabla 9. Análisis químico de la muestra de aleación de cobre C18000 (C1)

C1 C 18000	3.9 Kg - Cu	% Ni 2.57
	0.065 Kg - Ni	% Si 0.70
	0.025 Kg - Si	% Cr 0.30
	0.085 Kg - Cr	% Fe <0.01
		BALANCE Cu

Las muestras se identificaron de la siguiente forma, tabla 10 para la muestra Co y tabla 11 para la muestra C1.

Tabla 10. Identificación, condición de la muestra y tratamiento térmico aplicado.

ALEACIÓN Co		
No	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
1	AS CAST	Pieza fundida.
2	CoST	Con tratamiento térmico sin gas N ₂
3	CoSE3	Con un envejecimiento de 3 horas sin gas N ₂
4	CoSE5	Con un envejecimiento de 5 horas sin gas N ₂
5	CoSE3E3	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 3 horas sin gas N ₂
6	CoSE3E5	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 5 horas sin gas N ₂
7	CoSE5E3	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 3 horas sin gas N ₂
8	CoSE5E5	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 5 horas sin gas N ₂
9	CoGT	Con tratamiento térmico con gas N ₂
10	CoGE3	Con un envejecimiento de 3 horas con gas N ₂
11	CoGE5	Con un envejecimiento de 5 horas con gas N ₂
12	CoGE3E3	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 3 horas con gas N ₂
13	CoGE3E5	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 5 horas con gas N ₂
14	CoGE5E3	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 3 horas con gas N ₂
15	CoGE5E5	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 5 horas con gas N ₂

Tabla 11. . Identificación , condición de la muestra y tratamiento térmico aplicado.

ALEACIÓN C1		
No	MUESTRA	DESCRIPCIÓN
16	AS CAST	Pieza fundida.
17	C1ST	Con tratamiento térmico sin gas N ₂
18	C1SE3	Con un envejecimiento de 3 horas sin gas N ₂
19	C1SE5	Con un envejecimiento de 5 horas sin gas N ₂
20	C1SE3E3	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 3 horas sin gas N ₂
21	C1SE3E5	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 5 horas sin gas N ₂
22	C1SE5E3	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 3 horas sin gas N ₂
23	C1SE5E5	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 5 horas sin gas N ₂
24	C1GT	Con tratamiento térmico con gas N ₂
25	C1GE3	Con un envejecimiento de 3 horas con gas N ₂
26	C1GE5	Con un envejecimiento de 5 horas con gas N ₂
27	C1GE3E3	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 3 horas con gas N ₂
28	C1GE3E5	Con dos envejecimientos el primero de 3 horas y el segundo de 5 horas con gas N ₂
29	C1GE5E3	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 3 horas con gas N ₂
30	C1GE5E5	Con dos envejecimientos el primero de 5 horas y el segundo de 5 horas con gas N ₂

III.1 METALOGRAFÍA.

La metalografía estudia microscópicamente de una forma cualitativa las estructuras de un metal, siendo posible determinar el tamaño de grano, las fases e inclusiones, que afectan a las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Con lo anterior se podrá considerar un comportamiento del material bajo ciertas condiciones.

Para realizar la Metalografía de las diferentes piezas, se procedió al pulido al espejo a través de una pulidora circular, primeramente usando lija de diferentes tamaños de grano (100, 200, ...y 1000) y posteriormente usando un paño y como abrasivo alúmina de 0.3 micras y posteriormente de 0.05 micras.

Estando las piezas pulidas se procedió a tomar las fotografías de cada una de las muestras, después de realizar el examen con el microscópico óptico. Para identificar la estructura se atacaron las piezas con Bicromato potásico de acuerdo a recomendaciones de la ASTM (B150).

Las muestras fueron observadas a diferentes ampliaciones (30X, 50X, 100X, 280X y 400X) y de algunas se tomaron fotografías. que son las que se presentan en los resultados.

III.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE.

El desgaste dentro de desarrollo tecnológico de los materiales aplicados en la sociedad ha sido fundamental e indispensable, los ingenieros o personas que trabajen con cualquier tipo de metal o material deben tener presente el desgaste, buscando formas de combatirlo o de aprovecharlo. Recordando⁽¹⁵⁾ que para que exista desgaste es indispensable que los componentes estén en contacto directo.

Cada vez que se investiga un nuevo material, una de las primeras fases de trabajo consiste en una evaluación de la cantidad de desgaste que presenta un material, considerando que no existe una Ley general del desgaste debido a que este depende de varios factores entre otros de la carga normal, las propiedades mecánicas, la rugosidad de las superficies, etc., para lo cual se han considerado las siguientes formas de desgastar a un material:

- Desgaste por Abrasión.
- Desgaste por Ludimiento.
- Desgaste por Fatiga.
- Desgaste por Erosión.
- Desgaste por Adherencia (fricción)

DESGASTE POR ABRASIÓN

Cuando un cuerpo duro se desliza sobre una superficie blanda, al aplicar el esfuerzo normal se graba en ésta una serie de surcos lo que se conoce como desgaste por abrasión de dos cuerpos⁽¹⁶⁾. Por otra parte las partículas duras sueltas que entran en la interfase deslizante

actúan como esmeriles y el proceso de eliminación de metal por su acción se conoce como desgaste por abrasión de tres cuerpos. Las partículas duras pueden ser residuos metálicos atrapados como resultado del rozamiento o bien capas de óxido desprendidas.

DESGASTE POR LUDIMIETO

En la mayoría de los equipos mecánicos, químicos o estructurales, hay muchas superficies que se deslizan en una pequeña amplitud. Esto no es necesariamente intencional y puede deberse a la vibración de las máquinas que producen un movimiento oscilatorio. El resultado de esto es el ludimiento o desgaste por vibración que se define como un proceso de desgaste que se produce entre dos superficies que tienen un movimiento oscilatorio relativo de pequeña amplitud¹⁶.

DESGASTE POR FATIGA

Este tipo de desgaste se presenta como resultado de las cargas cíclicas, por ejemplo en los baleros con rodillos que produce pérdida de material al desbastarse las capas superficiales.

DESGASTE POR EROSIÓN

Cuando las partículas dura inciden sobre los sólidos, se produce un desgaste por erosión y cuando un componente rota en un medio fluido, habrá erosión por cavitación.

DESGASTE POR ADHERENCIA (Fricción).

En este caso, el movimiento relativo puede ser deslizamiento unidireccional o de vaivén, o bien la interacción ocurre bajo carga en un contacto oscilatorio de pequeña amplitud. Se sabe que los picos superficiales que coinciden fluyen plásticamente y forman fuertes uniones endurecidas por el trabajo. A medida que éstas se rompen bajo la tracción tangencial impuesta, los sólidos van perdiendo material.

El desgaste por adherencia se define como el proceso que produce pérdida de metal entre superficies que interactúan como resultado de la adherencia entre asperezas.

En éste proceso de desgaste⁽¹⁷⁾, a medida que comienza el deslizamiento, el contacto entre átomos elimina los átomos superficiales, de manera que la pérdida de volumen V para una distancia de deslizamiento S es:

$$V = Z A_r S \quad (1)$$

Donde A_r es el área real de contacto.

Otro modelo propuesto para el desgaste por adherencia, es suponiendo modelos superficiales cónicos¹⁸, lo cual se dedujo de la siguiente forma.

Se supone una interfase en donde la superficie superior es perfectamente plana pero la superficie inferior está ondulada con asperezas metálicas de naturaleza cónica distante $0h$, $4h$, $2h$, $3h$, etc., de la superficie plana, figura 4.

Se supone también que las asperezas tienen una distribución aleatoria en el espacio y que cada una tiene un ángulo base θ .

En el instante en que no hay carga la línea de referencia es $Z=0$, pero si las puntas de las asperezas son aplastadas debido al esfuerzo de contacto, la superficie superior se mueve en relación $Z=0$ en la dirección Z según se observa en la figura 4.

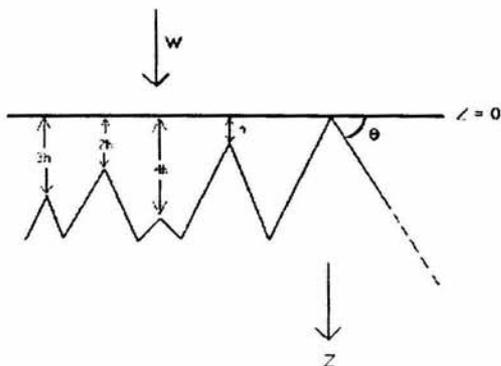


Figura 4. Una superficie plana que se aproxima a otra con asperezas cónicas.

Sea n - número total de asperezas.

\square - presión de flujo del material inferior en la figura 4.

El modelo simplificado muestra que sólo la cúspide de una aspereza toca la superficie superior de manera que todas las cúspides de las n asperezas se encuentran a distancias $[r=0, 1, 2, 3, 4 \dots n]h$ respectivamente.

Una aspereza será aplastada a un diámetro basal dependiendo de la carga y se supone que la superficie superior elimina esta porción deformada del cono a medida que se desliza a través de una distancia. Esto se muestra esquemáticamente en la figura 5.

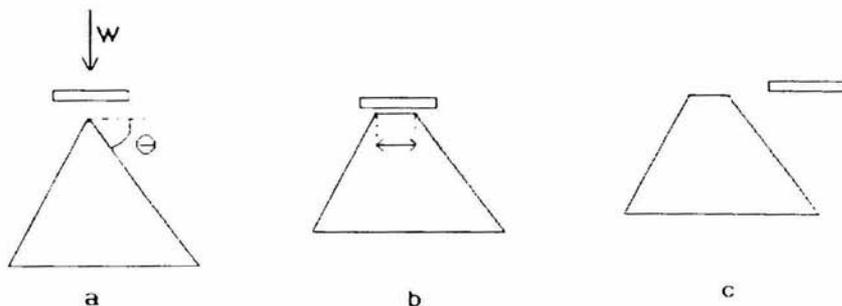


Figura 5. Una aspereza cónica que se deforma y desgasta por acción de una superficie plana. a) aproximación de la superficie plana; b) deformación de la aspereza cónica; c) la superficie plana se ha deslizado más allá del área de contacto, produciendo residuos de desgaste

Se supone que las superficies que se deslizan primero hacen un contacto y después se desplazan para hacer contacto con otra parte, con el mismo diámetro, ya que la carga es constante; así el proceso continúa hasta que hayan tenido contacto todas las n asperezas.

Para nuestro estudio se plantea llevar a cabo la prueba considerando que lo esencial es obtener una relación de la resistencia al desgaste contra el tipo de tratamiento térmico que se le ha realizado a cada muestra.

Para realizar la prueba de resistencia al desgaste se considero el método de desgaste por "Adherencia", por ser uno de los más fáciles de implementar y por ser uno de los más usados, se realizo en una máquina de tipo disco- espiga, controlando las siguientes variables:

- Velocidad angular constante (2000 r.p.m.)
- Contrapeso constante (500 g.)
- Flujo constante de agua.
- Tiempo de desgaste para cada muestra (25 min/muestra).
- Aproximadamente área de contacto constante (1.8 cm x 2.0 cm).

Debido a que el interés es observar el comportamiento de como el material se desgasta dependiendo a que tipo de tratamiento térmico se ha sometido, se procedió a basar el análisis en la pérdida de masa, por tal motivo se utilizo una balanza del tipo analítico para tomar las medidas de peso de cada muestra antes y después de la prueba.

Se realizaron tres pruebas por muestra y se considero para realizar el análisis de los resultados un valor promedio.

III.-3 DUREZA

Existen distintas formas de definir la dureza ⁽¹⁹⁾ ; una de las mas antiguas es: Como la resistencia que los cuerpos oponen a dejarse rayar por otros. Si el cuerpo A es capaz de rayar al cuerpo B diremos que A es más duro que B y así pueden ordenarse los cuerpos de mayor a menor dureza (escala mohs).

Desde el punto de vista industrial se utiliza como medida de la dureza la resistencia que un cuerpo opone a ser penetrado por otro cuya forma y dimensiones están normalizadas. Si un cuerpo A deja penetrar menos que otro B aplicando a ambos el mismo penetrador y la misma carga , diremos que A es más duro que B.

La dureza⁽²⁰⁾ no es una propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos. El procedimiento de prueba y la preparación de la muestra suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resulta generalmente en un cambio de dureza. Cuando se establece el valor resultante de la dureza de un tratamiento térmico a un material dado por un proceso determinado, esa estimación proporcionará un método rápido y sencillo (de inspección y control) para el material y proceso particulares.

La dureza es una propiedad que influye muy notablemente en la selección y trabajo de los materiales de que se fabrica cada pieza, así como su comportamiento posterior. Una pieza blanda se deformará y se desgastará pronto; en cambio una pieza muy dura será difícil de trabajar. durante su funcionamiento puede sufrir roturas, sobre todo si se le aplican cargas bruscas o golpes.

Con objeto de poder dar valores a la dureza de los cuerpos y que puedan ser correctamente interpretados por todas las personas que lo usen, aunque no hayan realizado ellos mismos la medida. se han normalizados varios métodos de efectuar la medición. Vamos a estudiar brevemente los dos más generalizados, que proporcionan los valores de la dureza que llevan sus nombres:

- Dureza Brinell.
- Dureza Rockwell.

La dureza Brinell se mide produciendo al material una huella con un penetrador normalizado consistente en una bola de acero extraduro de diámetro (D), que varia según el tipo de material cuya dureza se quiere medir y el espesor de la pieza.

El procedimiento estándar requiere que la prueba se haga con una bola de 10 mm de diámetro bajo una carga de 3000 kg para metales ferrosos y de 500 kg para metales no ferrosos. Para metales ferrosos, la bola bajo presión es presionada dentro de la muestra a prueba por lo menos durante 10 seg; para metales no ferrosos el tiempo es 30 seg. El diámetro de la impresión producida es medido por medio de un microscopio que contiene

una escala ocular, generalmente graduada en décimos de milímetro, que permite estimaciones de hasta casi 0.05 mm.

Para obtener el valor de la dureza brinell se toma la relación :

$$DUREZA\ BRINELL = \frac{P = \text{carga aplicada}}{S = \text{área del casquete esférico de la huella}}$$

La dureza Brinell se expresa por las letra HB (hardness brinell); seguida por tres números entre paréntesis (D / P / t)

t – tiempo que estuvo aplicada la carga en segundos.

Ejemplo: 200 HB (5/750/10) Indica una dureza de 200 grados Brinell, se utilizo una bola de 5 mm, y una carga de 750 Kg, durante 10 segundos.

En la tabla 12 se dan los valores de dureza de algunos materiales.

• Acero muy duro	500 HB
• Acero poco duro	110 HB
• Bronce	100 HB
• Aluminio	25 HB

Tabla 12

La dureza Rockwell se mide produciendo en el material una huella con un penetrador que puede ser:

- Un cono de diamante de 120° de ángulo y punta redonda.
- Bolas de acero.

Existen dos diferencias fundamentales con el método Brinell:

- Con el cono de diamante pueden medirse durezas superiores ya que la bola del método Brinell se deforma y para valores superiores a 500 HB el error es muy grande.
- La dureza Rockwell no es función de la superficie de la huella, sino de la profundidad de la misma que el propio aparato proporciona automáticamente.

Forma de medir dureza Rockwell.

Refiriéndose a la escala C en donde se utiliza como penetrador el cono se aplica la carga en tres fases:

- Se aplica una carga previa de 10 Kg y se pone a cero la escala del aparato.
- Se aplica una carga adicional de 140 Kg durante 3 a 6 segundos.
- Se retira la carga adicional y se realiza la lectura de la dureza en la escala del aparato, en donde se mide la profundidad.

Se designa con el número que indica la dureza seguido de las letras:

HRC – Se utiliza la escala “c” (cono).

HRB – Si se utilizó la escala “b” (bola).

Ejemplo: 50 HRC significa una dureza de 50 grados Rockwell en su escala “c”.

El método Rockwell presenta la ventaja de la rapidez en el cálculo de la dureza y su aplicación a cualquier tipo de material desde los muy blandos a los muy duros.

Las cargas que se utilizan en general para las diferentes escalas son:

- Escala “A” 60 kg.
- Escala “B” 100 kg.
- Escala “C” 150 Kg.

En las tablas 13 y 14 se pueden observar las escalas de la dureza Rockwell y la relación entre la resistencia a la tensión con las durezas.

Tabla 13 ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL¹⁹

Escala	Carga mayor Kg	Tipo de marcador de muescas	Materiales típicos probados
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos De tungsteno, etc
B	100	Bola de 1/16”	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce ,etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas (tratadas)
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado
E	100	Bola de 1/8”	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio
F	60	Bola de 1/16”	Bronce y cobre recocidos
G	150	Bola de 1/16”	Cobre al berilio, bronce fosfórico, etc.
H	60	Bola de 1/8”	Placa de aluminio
K	150	Bola de 1/8”	Hierro fundido, aleaciones de aluminio
L	60	Bola de 1/4”	Plásticos y metales suaves, como el plomo
M	100	Bola de 1/4”	Igual que la escala L
P	150	Bola de 1/4”	Igual que la escala L
R	60	Bola de 1/2”	Igual que la escala L
S	100	Bola de 1/2”	Igual que la escala L
V	150	Bola de 1/2”	Igual que la escala L

Tabla 14. APROXIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN RELACIÓN A LAS PRUEBAS DE DUREZA ROCKWELL Y BRINELL ²⁰

RESISTENCIA A LA TENSIÓN	ESCALA ROCKWELL		BRINELL	RESISTENCIA A LA TENSIÓN	ESCALA ROCKWELL		BRINELL
	MPa	C			A	MPa	
2420.03	59	80.7	634	1006.62	100		240
2399.35	58	80.1	615	785.99	99		234
2240.77	57	79.6	595	751.22	98		228
2158.04	56	79	577	717.04	97		222
2075.30	55	78.5	560	703.25	96		216
2013.25	54	78	543	689.47	95		210
1951.20	53	77.4	525	675.68	94		205
1882.25	52	76.8	512	648.10	93		200
1820.20	51	76.3	496	634.31	92		195
1758.14	50	75.9	481	620.52	91		190
1696.09	49	75.2	469	613.62	90		185
1640.93	48	74.5	451	606.73	89		180
1523.72	47	74.1	442	592.94	88	75.1	176
1578.88	46	73.6	432	579.15	87		172
1482.36	45	73.1	421	572.26	86		169
1434.01	44	72.5	409	565.36	85		165
1337.57	42	71.5	390	558.47	84		162
1254.83	40	70.4	371	551.57	83		159
1178.99	38	69.4	353	530.89	82		156
1110.46	36	68.4	336	503.31	81		153
1047.99	34	67.4	319	496.41	80		150
1006.26	32	66.3	301	482.62	79		147
951.46	30	65.3	286	475.73	78		144
903.20	28	64.3	271	468.83	77		141
861.83	26	63.3	258	461.94	76		139
820.46	24	62.4	247	455.05	75	99.6	137
782.89	22	61.5	237	448.15	74	99.1	135
758.41	20	60.5	226	434.36	72	98.0	130
				420.57	70	96.8	125
				406.78	68	95.6	121

Para llevar acabo las pruebas de dureza a las muestras se considero la escala Rockwell "B", como se sugiere en las tabla número 13 esta sugerida para aleaciones de cobre.

Al realizar las pruebas de dureza en mis experimentos con la aleación C18000 se procedió a tomar la medida en seis diferentes lugares para una misma muestra, esto debido a que pudiera ser que el material no sea homogéneo en todo su volumen, siendo al final el valor promedio de seis ensayos la magnitud de dureza estimada.

CAPITULO IV

RESULTADOS.

En esta sección se presentan los resultado del trabajo experimental realizado en las aleaciones de cobre C-18000, con sus diferentes tratamientos térmicos, recordando que se realizaron pruebas metalográficas, resistencia al desgaste y de dureza.

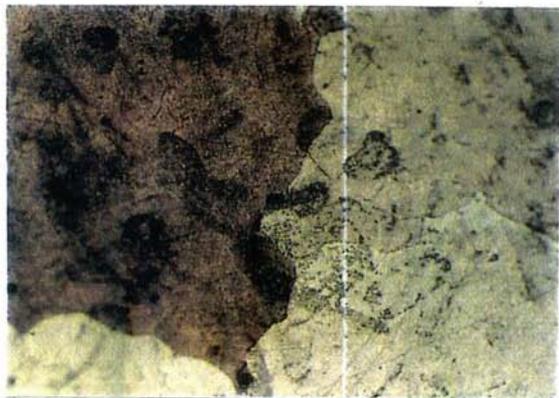
IV.1 RESULTADO DE LA METALOGRAFÍA

Las fotomicrografías que a continuación se analizan se consideraron a partir de ser las más representativas de todas las muestras, debido que fueron donde se encontró tanto en las pruebas de dureza como en las de resistencia al desgaste los valores máximos y mínimos.

La fotografía 1. Presenta la muestra Co solubilizada sin gas. En la fotografía 2. se presenta la muestra Co solubilizada sin gas y dos tratamientos térmicos de envejecimiento por 3 y 5 horas respectivamente.

En la fotografía 3. se tiene la muestra Co solubilizada con gas. Y la fotografía 4. muestra a Co solubilizada con gas y dos tratamientos térmicos uno por 3 horas y otro por 5 horas.

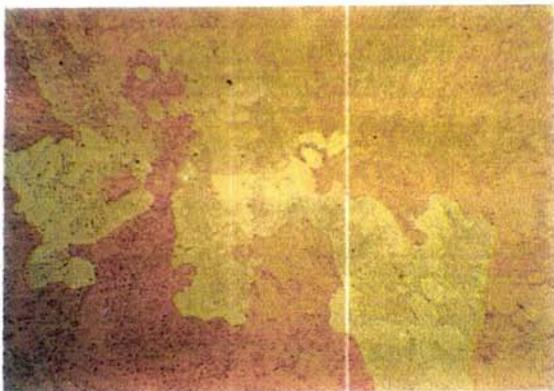
En la fotografía 5. se tiene la fotografía de la muestra C1 solubilizada sin gas. La fotografía 6. presenta la muestra C1 solubilizada sin gas y un tratamiento térmico de envejecimiento por 3 horas. La muestra C1 solubilizada con gas se observa en la fotografía 7. Y en la fotografía 8 se ve la muestra C1 solubilizada con gas y un tratamiento térmico de envejecimiento por 3 horas.



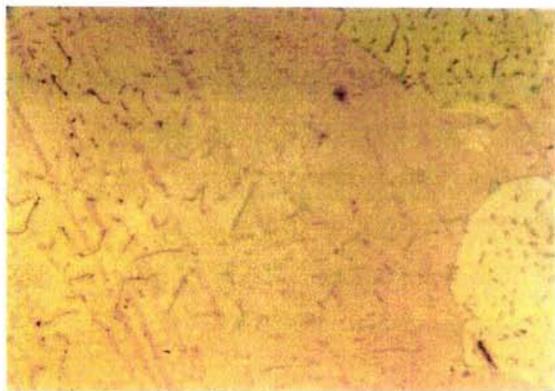
Fotografía 1. Muestra Co un tratamiento térmico de solubilización sin gas, con 100 X.



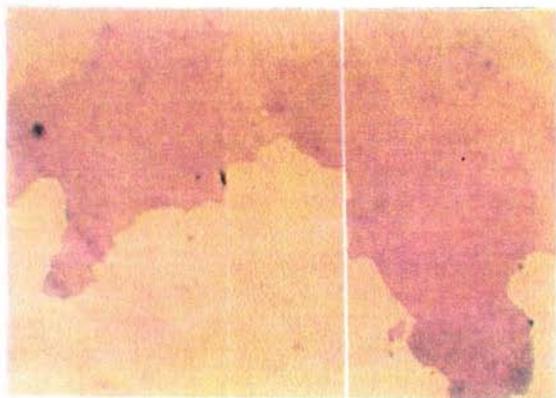
Fotografía 2. Muestra Co solubilizada sin gas con dos tratamientos térmicos de envejecimiento por 3 y 5 horas respectivamente, con 400 X.



Fotografía 3. Muestra Co con un tratamiento térmico de solubilización con gas, con 50 X.



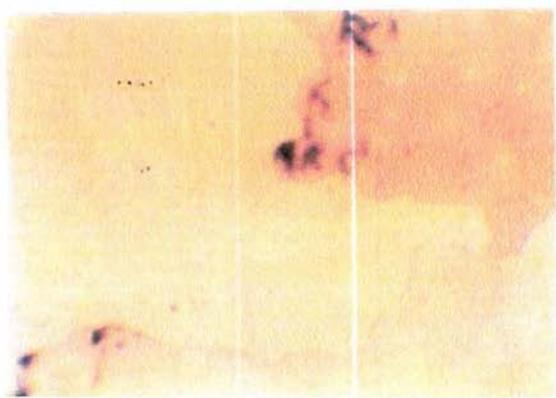
Fotografía 4. Muestra Co solubilizada con gas, con dos envejecimientos por 3 y 5 horas respectivamente, con 280 X.



Fotografía 5. Muestra C1 solubilizada sin gas, con 100 X.



Fotografía 6. Muestra C1 solubilizada sin gas y con un envejecimiento por 3 horas, 200 X.



Fotografía 7. Muestra C1 solubilizada con gas, con 150 X.



Fotografía 8. Muestra C1 solubilizada con gas y con un tratamiento térmico de envejecimiento por 3 horas, con 280 X.

IV.2 RESISTENCIA AL DESGASTE CONTRA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

En las tablas 13,14, 15 y 16 se pueden observar los valores obtenidos, de las pruebas de resistencia al desgaste realizadas a las muestras de aleación de cobre C 18000 considerando los diferentes tratamientos térmicos a los que fue sometido.

Primeramente se muestra en la figura 17. la grafica de la resistencia al desgaste contra el tratamiento térmico de la muestra Co solubilizada sin gas.

Tabla 13. Resultado de la prueba de desgaste de la muestra Co solubilizada sin gas

MUESTRA	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa perdida (g x10 ⁻⁴)
AS CAST	26.1841	26.1807	34
CoST	25.0865	25.0811	54
CoSE3	26.3977	26.3951	26
CoSE5	24.6048	24.6023	25
CoSE3E3	25.2000	25.1983	17
CoSE3E5	24.6995	24.6981	14
CoSE5E3	23.2475	23.2449	26
CoSE5E5	25.8811	25.8792	19

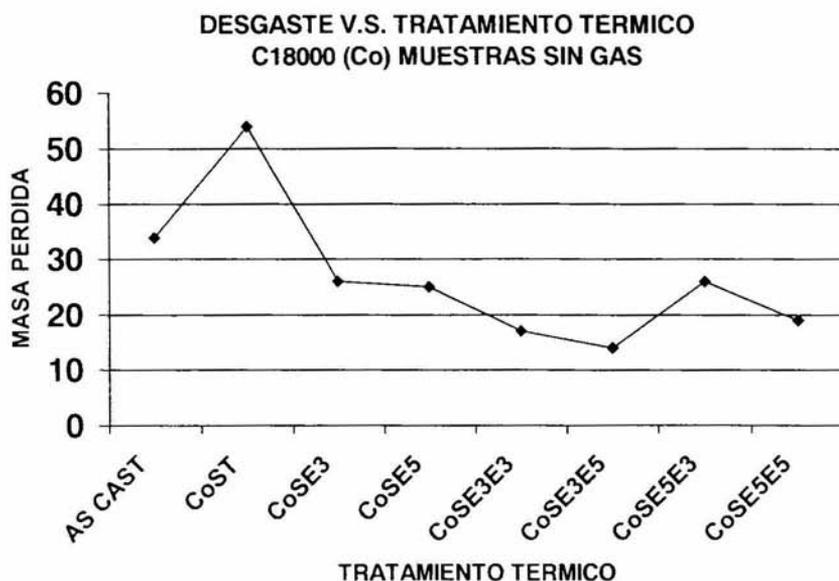


Figura 17. Grafica que muestra la resistencia al desgaste contra el tratamiento térmico para las probetas de C18000 (Co) solubilizada sin gas.

En la figura 18. se muestra la grafica de la muestra C1 solubilizada con gas.

Tabla 14. Resultado de la prueba de desgaste de la muestra Co solubilizada con gas.

MUESTRA	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa perdida (g x10 ⁻⁴)
AS CAST	26.1841	26.1807	34
CoGT	24.1589	24.1541	48
CoGE3	27.1126	27.1104	22
CoGE5	26.8905	26.8881	24
CoGE3E3	22.5571	22.5561	20
CoGE3E5	27.2953	27.2935	18
CoGE5E3	25.6511	25.6487	24
CoGE5E5	25.8384	25.8355	29

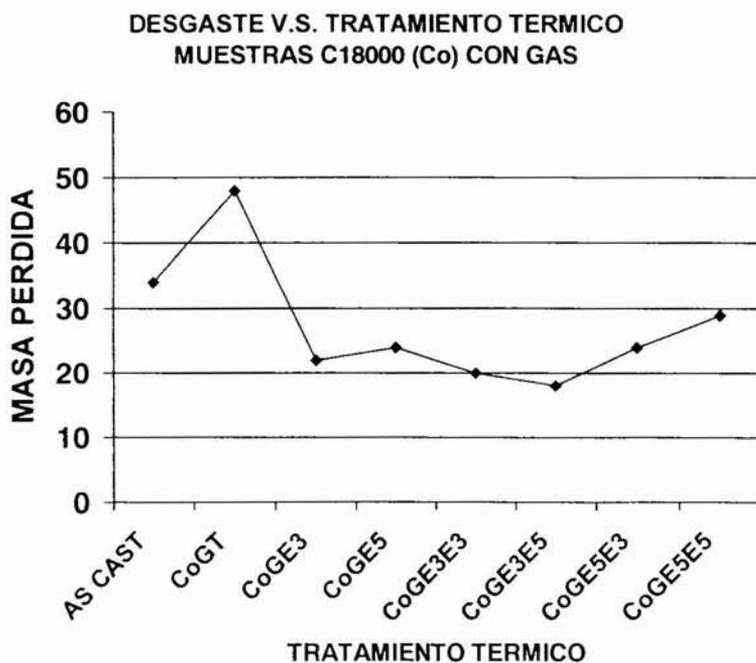


Figura 18. Grafica Grafica que muestra la resistencia al desgaste contra el tratamiento térmico para las probetas de C18000 (Co) solubilizada con gas.

Para la muestra C1 solubilizada sin gas también se realizó la grafica correspondientes, en la figura 19.

Tabla 15. Resultado de la prueba de desgaste de la muestra C1 solubilizada sin gas.

MUESTRA	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa perdida (g x 10 ⁻⁴)
As Cast	20.1854	20.1847	17
C1ST	20.364	20.3622	28
C1SE3	21.2581	21.2579	12
C1SE5	21.3568	21.3564	14
C1SE3E3	20.4502	20.4498	14
C1SE3E5	19.2546	19.2543	13
C1SE5E3	20.3540	20.3535	15
C1SE5E5	19.5684	19.5680	14

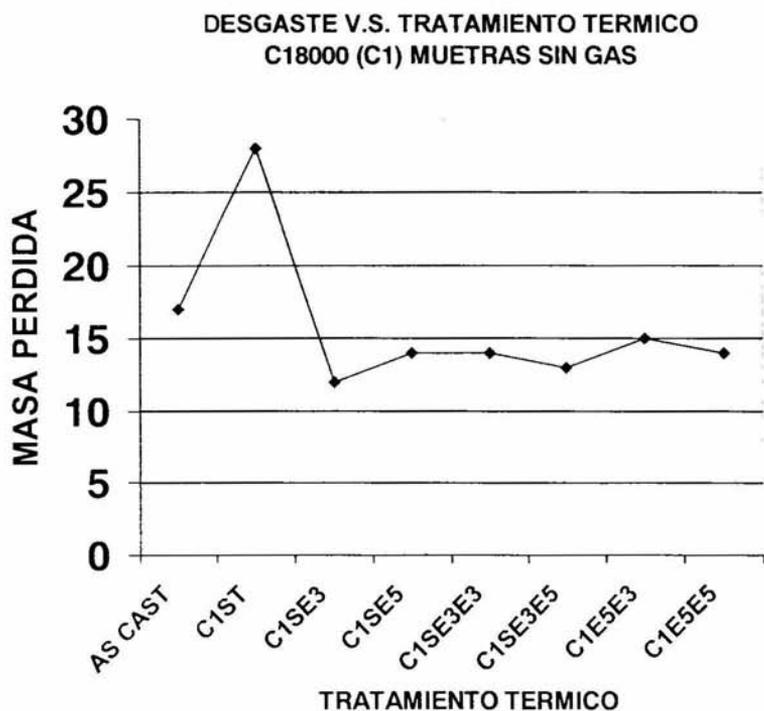


Figura 19. Grafica que muestra la resistencia al desgaste contra el tratamiento térmico para las probetas de C18000 (C1) solubilizada sin gas.

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

En la figura 20. se muestra la grafica de resistencia al desgaste contra tratamiento térmico de la muestra C1 solubilizada con gas.

Tabla 16. Resultado de la prueba de desgaste de la muestra C1 solubilizada con gas.

MUESTRA	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Masa perdida (gr x10 ⁻⁴)
As Cast	20.1854	20.1847	17
C1GT	19.1460	19.4640	30
C1GE3	19.2532	19.2530	12
C1GE5	20.1264	20.1259	15
C1GE3E3	20.5640	20.5634	16
C1GE3E5	20.7813	20.7807	16
C1GE5E3	19.1254	19.1251	13
C1GE5E5	20.2232	20.2228	14

**DESGASTE V.S. TRATAMIENTO TERMICO
C18000 (C1) MUESTRAS CON GAS**

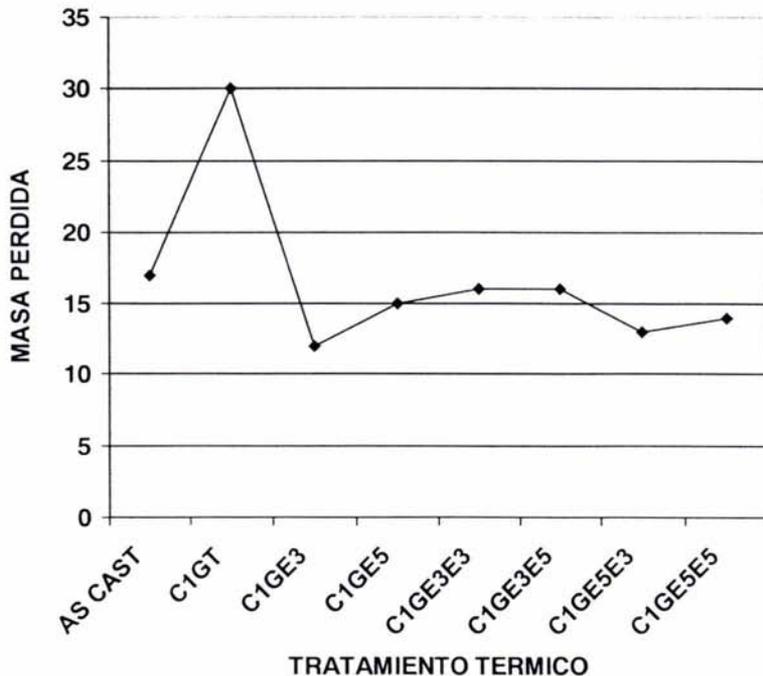


Figura 20. Grafica Grafica que muestra la resistencia al desgaste contra el tratamiento térmico para las probetas de C18000 (C1) solubilizada con gas.

IV.3 DUREZA.

Se realizaron las pruebas de dureza para la muestra de la aleación C18000 (Co y C1), con el fin conocer como afecta un tratamiento térmico determinado a la dureza que presenta el material, además de realizar la prueba de dureza en diferentes puntos a una misma muestra para darnos idea de que tanto es homogéneo el material. Para realizar esta prueba se considero separar las muestra solubilizadas sin gas y solubilizadas con gas . Los resultados se muestran en las tablas 20, 21, 22 y 23.

En la figura 21. se muestra la grafica de dureza contra tratamiento térmico, de la muestra Co solubilizada sin gas.

Tabla 20. Resultado de la prueba de dureza de la muestra Co solubilizada sin gas.

MUESTRA	P #1	P #2	P #3	P #4	P #5	P #6	PROMEDIO
AS CAST	22.90	24.00	21.80	22.30	22.80	23.20	22.83
CoST	-6.80	-3.00	-5.90	3.20	-3.80	2.00	-2.22
CoSE3	52.80	53.50	51.50	52.50	52.20	49.10	51.93
CoSE5	49.20	51.70	53.40	53.10	51.70	50.10	51.53
CoSE3E3	56.70	59.80	60.30	60.50	59.70	57.40	59.07
CoSE3E5	60.30	59.50	64.40	62.20	61.10	59.90	61.23
CoSE5E3	53.00	51.20	48.40	53.80	52.80	52.30	51.92
CoSE5E5	54.80	58.00	61.70	59.60	59.20	58.10	58.57

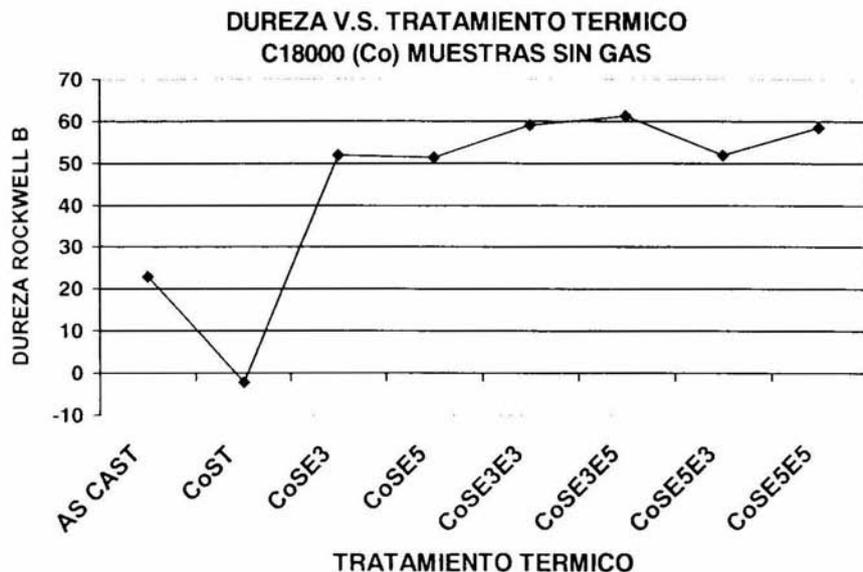


Figura 21. Grafica que muestra la dureza contra el tratamiento térmico de las probetas de C18000 (Co) solubilizada sin gas.

Para la muestra Co solubilizada con gas se muestra una grafica en la figura 22.

Tabla 21. Resultado de la prueba de dureza de la muestra Co solubilizada con gas

MUESTRA	P #1	P #2	P #3	P #4	P #5	P #6	PROMEDIO
AS CAST	22.90	24.00	21.80	22.30	22.80	23.20	22.83
CoGT	-1.70	4.20	5.10	0.40	-1.00	0.90	0.42
CoGE3	53.00	54.30	55.10	53.30	53.80	52.00	53.58
CoGE5	48.30	51.00	51.40	51.00	53.30	51.50	51.08
CoGE3E3	56.70	56.30	57.50	59.10	58.00	59.00	57.77
CoGE3E5	58.50	59.60	58.60	57.60	59.00	57.70	58.65
CoGE5E3	55.00	52.80	53.70	49.70	50.90	51.80	52.32
CoGE5E5	50.10	54.00	51.60	50.80	50.80	47.50	50.80

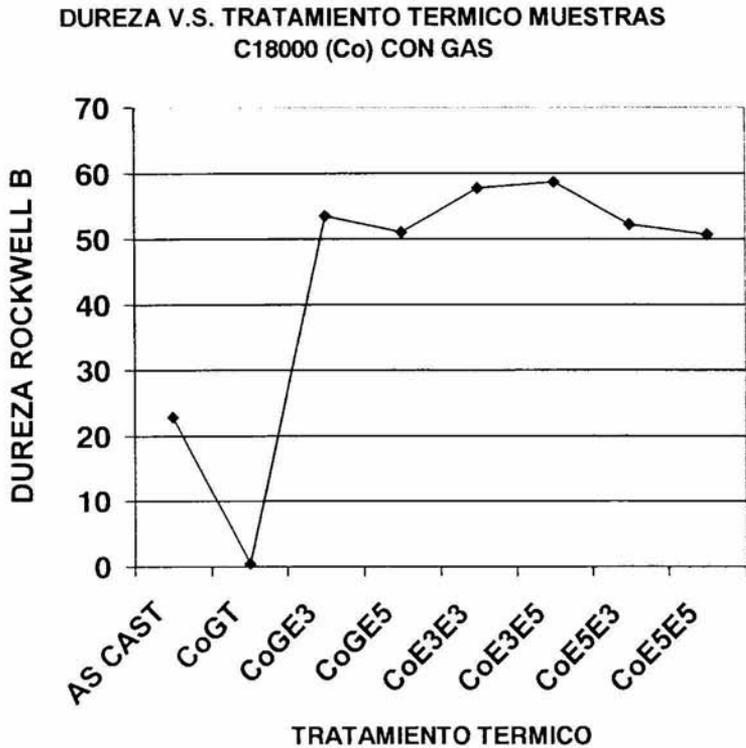


Figura 22. Grafica que muestra la dureza contra el tratamiento térmico de las probetas de C18000 (Co) solubilizada con gas.

Para la muestra C1 solubilizada sin gas, se muestra en la figura 23.

Tabla 21. Resultado de la prueba de dureza de la muestra C1 solubilizada sin gas.

MUESTRA	P #1	P #2	P #3	P #4	P #5	P #6	PROMEDIO
AS CAST	64.30	65.40	65.50	63.60	63.80	66.00	64.77
C1ST	5.40	1.30	5.20	3.30	8.30	6.80	5.05
C1SE3	95.50	96.80	96.60	96.90	96.60	95.70	96.35
C1SE5	93.10	93.20	92.20	94.50	92.80	92.90	93.12
C1SE3E3	93.50	91.30	93.20	93.20	94.40	94.30	93.32
C1SE3E5	94.30	93.90	93.50	95.20	94.70	93.90	94.25
C1SE5E3	90.40	91.60	89.80	92.10	91.00	92.60	91.25
C1SE5E5	90.00	90.60	90.00	90.50	90.10	90.70	90.32

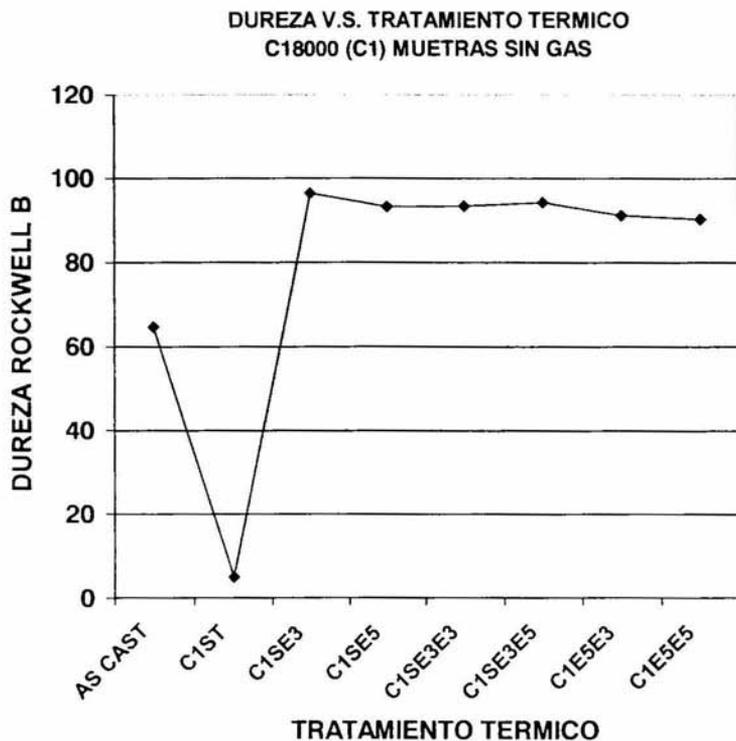


Figura 23. Grafica que muestra la dureza contra el tratamiento térmico de las probetas de C18000 (C1) solubilizada sin gas.

En la figura 24, se muestra la grafica de la dureza contra el tratamiento térmico, de la muestra C1 solubilizada con gas. Observándose que otra vez el envejecer durante tres horas hace que la aleación obtenga su mayor dureza y que al templearla la aleación adquiere una dureza.

Tabla 21. Resultado de la prueba de dureza de la muestra C1 solubilizada con gas.

MUESTRA	P #1	P #2	P #3	P #4	P #5	P #6	PROMEDIO
AS CAST	64.30	65.40	65.50	63.60	63.80	66.00	64.77
C1GT	4.80	3.50	4.70	5.90	9.00	9.80	5.97
C1GE3	96.60	96.00	96.30	95.00	96.60	96.40	96.15
C1GE5	91.20	91.70	94.00	93.00	93.90	93.70	92.92
C1GE3E3	90.20	89.00	89.70	90.50	89.70	91.20	90.05
C1GE3E5	90.90	90.00	94.80	90.40	89.70	81.40	89.53
C1GE5E3	94.50	93.80	95.70	95.40	94.30	93.80	94.58
C1GE5E5	93.70	93.20	93.80	94.10	94.10	95.10	94.00

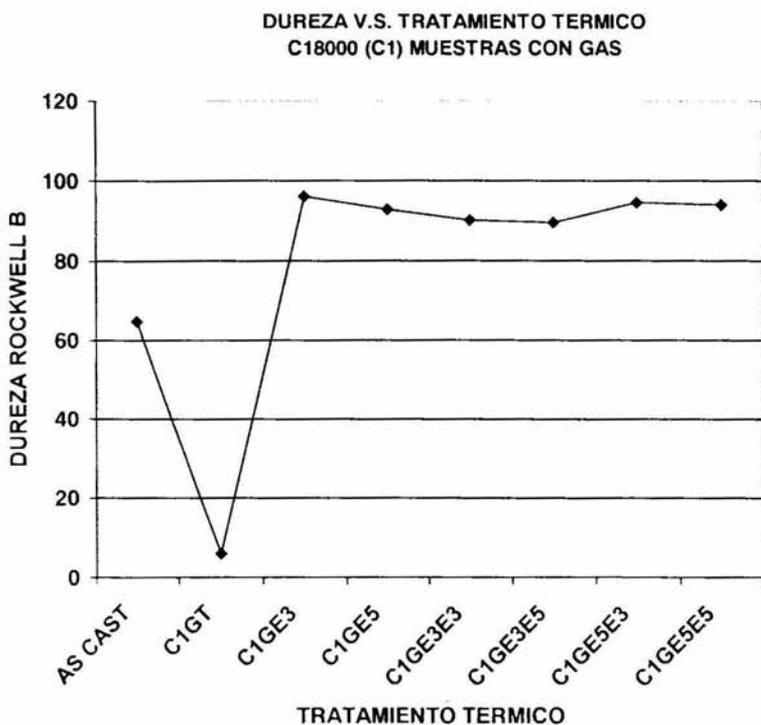


Figura 24. Grafica que muestra la dureza contra el tratamiento térmico de las probetas de C18000 (C1) solubilizada con gas.

CAPITULO V DISCUSIÓN

En las aleaciones una característica importante es tener la posibilidad de producir cambios en las propiedades del material, esto nos permite obtener las propiedades más adecuadas para un material de acuerdo a las necesidades del trabajo. Estos cambios se pueden obtener por medio de tratamientos térmicos u otros procesos. Para el caso de la aleación C18000 se ocupan los tratamientos de solubilización y envejecimiento, recomendados para las aleaciones de cobre. Las propiedades que se analizaron son la dureza que presenta el material, la resistencia al desgaste y la estructura del material a partir de metalografía óptica.

Con base en el análisis de las fotografías obtenidas por microscopia óptica y el análisis de los diagramas de equilibrio se trató de identificar las fases que tienen las muestras de la aleación C18000, según el tratamiento térmico a que fue sometido. Para esto es necesario considerar el análisis químico que se realizaron a las muestras Co y C1 mostrados en la tabla 8 y 9 respectivamente.

Si consideramos las fotografías (1 a 4) de la muestra Co, observando los diferentes diagramas de equilibrio (figuras 6,7 y 8), se observa que con 0.57% de porcentaje de silicio se tiene solamente fase α , en el caso de cromo con 0.73 % se encuentra la fase $\alpha + Cr$, con respecto al níquel con 2.22 % la fase que se presenta es α y el hierro por su porcentaje de 0.084% se puede considerar nula su influencia.

Para la muestra C1 fotografías (5 a 8) volvemos a considerar los porcentajes de componentes según el análisis químico y considerando los diagramas de equilibrio tenemos que para el porcentaje de silicio de 0.70% se tiene la fase α , en el cromo con un porcentaje de 0.30% se encuentra la fase $\alpha + Cr$, para el níquel se tiene un porcentaje de 2.57% y se presenta una fase α y el hierro por su porcentaje menor a 0.001% no se considera.

Por lo antes mencionado se puede considerar que los precipitados que se tienen pudieran ser de Cr- Ni, el níquel por ser más activo que el cobre pudo desplazarlo y el cromo es claro ya que en el diagrama de equilibrio se observa.

Por lo antes mencionado se puede considerar que los precipitados que se tienen pudieran ser de Cr- Ni, el níquel por ser más activo que el cobre pudo desplazarlo y el cromo es claro ya que en el diagrama de equilibrio se observa.

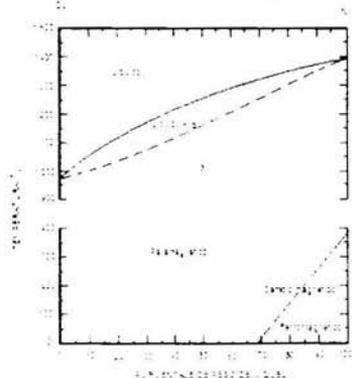


Figura 6. Diagrama de equilibrio cobre- níquel

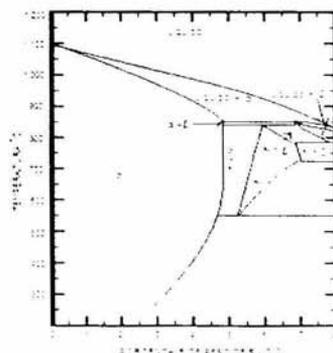


Figura 7. Diagrama de equilibrio cobre- silicio

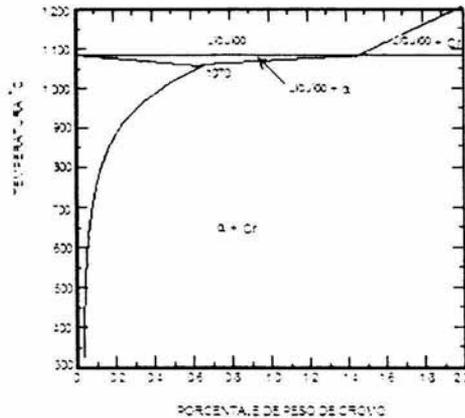


Figura 8. Diagrama de equilibrio cobre- cromo

Recordando que el valor de dureza que presenta un material de cobre se puede hacer variar por general en aumento a partir de dos procedimientos, endurecimiento por aleación es decir a partir de agregar elementos aleantes, que al combinarse aumente la dureza en la aleación, para nuestro caso este papel lo juega el Ni, Cr y Si. La otra forma es el endurecimiento en estado sólido (envejecimiento), en este caso se tiene la probabilidad que se presente por cuatro mecanismos, descomposición de eutectoide, precipitación en estado sólido, ordenamiento de una solución sólida al azar (desordenada) y por reacción de difusión. Para nuestro caso consideramos que el mecanismo que se presentó es el de endurecimiento por precipitación, con base a los antecedentes bibliográficos ⁽¹³⁾ y con lo que se puede observar a partir del diagrama de fase, se presumen que son precipitados principalmente de Cr por el porcentaje (0.73% y 0.30% para la muestra Co y C1 respectivamente). Analizando las diferentes graficas se pueden obtener los datos sobre el endurecimiento respecto al tratamiento térmico al que han sido sometido las muestras: En la figura 21 se presenta la grafica de la muestra Co tratada sin gas. Se observa que el tratamiento térmico que endureció con un valor mayor a la aleación es cuando se envejeció dos veces uno por tres horas y el otro por cinco horas. El tratamiento donde presento menor dureza es cuando la aleación se temple. La grafica de la figura 22 presenta la muestra Co tratada con gas, en donde se observa que para el tratamiento térmico de dos envejecimientos uno por tres horas y otro por cinco horas dan una mayor dureza a la aleación, sin embargo muy cercano al valor anterior de dureza se presenta cuando se envejece dos veces durante tres horas. Cuando se aplica el tratamiento térmico de temple a la muestra es cuando se presenta el valor menor de dureza.

Para la muestra C1 tratada sin gas se tiene la grafica de la figura 23 en donde se obtiene que el tratamiento térmico de un envejecimiento por tres horas, da una mayor dureza a la aleación. Siendo el temple el tratamiento térmico que menos dureza proporciono al material. La grafica de la figura 24 presenta la muestra C1 tratada con gas, teniendo que el tratamiento térmico de envejecimiento por tres horas, le da ala aleación su mayor dureza y cuando se temple presenta la dureza menor.

Por lo antes considerado se puede establecer que de las dos muestra la que presento el valor de dureza mayor (96.35 Rb) es la muestra C1 cuando se sometió a un tratamiento térmico de envejecimiento por tres horas y si comparamos el valor de dureza obtenido con lo establecido con la bibliografía se tiene que son similares.

En lo referente a las pruebas de resistencia al desgaste se obtuvo lo siguiente: En la grafica de resistencia al desgaste contra tratamiento térmico de la muestra Co tratada sin gas de la figura 17 se observa que la aleación sufrió una perdida mayor de masa cuando estuvo sometida al tratamiento térmico de temple y el que presento la mayor resistencia al desgaste fue cuando se sometió a dos envejecimientos cada uno por tres horas y una resistencia al desgaste casi similar cuando se sometió a dos envejecimientos uno por tres horas y otro por cinco horas. En la grafica de la muestra Co tratada con gas figura 18 se observa que el tratamiento térmico de temple a que fue sometida la muestra hace que presente una menor resistencia al desgaste y el material que se sometió a un doble envejecimiento por tres y cinco horas respectivamente presento mayor resistencia al desgaste.

Para la muestra C1 tratada sin gas se tiene la grafica de resistencia al desgaste en la figura 19, en donde se puede observar que el tratamiento térmico aplicado a la muestra en donde se presento menor resistencia al desgaste fue cuando se templo y la mayor resistencia al desgaste se presento cuando la muestra fue sometida a un envejecimiento por tres horas. La grafica de la figura 20 muestra a C1 tratada con gas y se observa que el tratamiento térmico de temple que se aplico a la muestra sigue siendo el que provee de menor resistencia al desgaste. Y que cuando se sometió al tratamiento térmico de envejecimiento por tres horas, la muestra presenta la mayor resistencia al desgaste.

En relación a la resistencia al desgaste que presentan las muestras están coherentes con los datos esperados, por lo general un material que presenta un valor de mayor dureza tiene una mayor resistencia al desgaste o bien se puede considerar que la dureza es inversamente proporcional al desgaste.

CONCLUSIÓN

Con los resultados obtenidos para las dos muestras de C18000 se puede concluir que la muestra C1 que se fue sometida al tratamiento de un envejecimiento durante tres horas, solubilizada con gas es la que presenta mejor características de resistencia al desgaste y el mayor valor de su dureza, siendo similar al valor marcado por la bibliografía, por lo anterior se observa que dependiendo de el tratamiento térmico a que se somete el material este puede obtener la dureza deseada o si se excede de tiempo en el tratamiento puede sobrevejecer y obtener reducción en la magnitud de los valores de dureza, esto se observo en las respectivas graficas. Otra forma que se presento de endurecimiento fue por aleación, esta se presenta de una forma significativa en función de las cantidades de elementos aleantes agregados, esto se pudo detectar en las dos muestras, ya que siendo base cobre en ambas se varia el contenido de los elementos aleantes y las características que al final presenta el material son diferentes para ambos casos.

El estudio realizado podrá tomarse como base para estudios posteriores, en donde se consideren las demás características como la conductividad y difusividad térmica que son un factor muy importante, cuando la aleación C18000 se usa en embolos para inyección de aluminio.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- [www. Procobvenezuela.org/historia](http://www.Procobvenezuela.org/historia)
- 2.- Paul Engelmann y Eric Dawkins, Improves Product Quality and Cycle timesw
- 3.- Dr.Paul Engelmann and Eric Dawkins, “Disipar calor fuera de los moldes sin usar
- 4.- Cadi Company Inc. “Copper Alloys”, e-mail cadicompany.com
- 5.- Beryllium free copper, email diversisifiedmetals.com
- 6.- e-mail properties.copper.org
- 7.- Mitsubishi materials corporation, chikko shinmachi, e-mail salessp@mmc.co.jp
- 8.- Comparison of mold alloy properties; email copper.org/industrial/cumolds/tableagua”.
- 9.- Materials Research Society. J.Mater Res. Vol. 15 1 jan 2000
- 10.-Metallic Materials.Physical, Mechanical and corrosion.Pillip A. Schwertzey Ed. Marcer Dekke 2003.
- 11.- Copper and alloys, E. G. WEST, Halsted Press
- 12.-Tecnología del Metal. F. Aparicio. Ed. Paraninfo 1987.
- 13.- Metal hand book Vol. II, 1974
- 14.- Tecnología de la fundición, Edoardo capello, ed. Gustavo Gili
- 15.- A. D. Sarkar b “ Desgaste de metales”, 1990.
- 16.- Davies R, “Friction and Wear, p.I, Elsevier, 1959
- 17.- Burwell J. T. y Strang C. D. JL Appl Physics, 1952.
- 18.- Yoshimoto G y Tsukizoe T, Wear, 1958.
- 19.- Introducción a la Metalurgia Física. Sydney H. Avner. Ed. Mc Graw Hill.
- 20.- Asociación del Cobre Inc. Del desarrollo; email staff@cda.copper.org
Using Copper Alloy Mold Cores.
- 21.-Ciencia e ingeniería de los materiales: Donald R Askeland, Pradeep P. Pule.Ed.Thomson . Cuarta edición 2004.