

“Aleación de cobre con bajo contenido de plomo para la fabricación de productos hidráulicos para baja presión”

Campo de la invención

5

La presente invención se refiere a una aleación de cobre (Cu) – zinc (Zn), con elementos aleantes adicionales, tal como plomo (Pb), silicio (Si) y aluminio (Al) de bajo costo, que considerados como un todo proporcionan a la aleación propiedades superiores de fluidez, además de un alto desempeño en forja, colada continua y otros procesos con temperaturas superiores a los 650°C.

10

Antecedentes

15

Debido al creciente interés en el mundo por el cuidado sustentable del agua; se han desarrollado normas internacionales que regulan y protegen este recurso natural. Por ejemplo, países como México, Estados Unidos y algunos de Europa han desarrollado reglamentaciones, tal como la norma AB1953, del estado de California, E.U.A., en la que se menciona que “los componentes metálicos y no metálicos que estén en contacto con el agua de consumo humano, deben contener como límite máximo el 0.25% ponderado de plomo (Pb) en sus componentes”.

20

Por ende, las aleaciones de cobre tienen un fuerte reto para cumplir con este tipo de normas debido a que el plomo es el elemento que contienen las aleaciones de cobre por ejemplo latón y bronce, para lograr mejorar su comportamiento en operaciones de corte así como de maquinado, y facilitar la manufactura de estos metales.

25

Por tal motivo, la presente invención proporciona una aleación mejorada que cumple con esta característica de bajo contenido de plomo (0.25% Pb máximo) y a la vez proporciona buenas propiedades mecánicas, metalúrgicas y electroquímicas para su procesamiento y aplicación en productos sustentables que están en contacto con el agua.

30

Las aleaciones de cobre han venido sustituyendo con éxito la influencia del plomo en la aleación, agregando elementos como: bismuto (Bi), telurio (Te), sulfato de telurio, niobio (Nb), etc.

La patente estadounidense No. 7883589 del inventor Keiichiro Oishi del titular Mitsubishi Shindoh Co. LTD con título “FREE-CUTTING COPPER ALLOY CONTAINING VERY LOW LEAD” describe una “aleación de cobre que contiene una pequeña cantidad de plomo en

LEAD" describe una "aleación de cobre que contiene una pequeña cantidad de plomo en comparación con otras de corte convencionales, pero proporciona una capacidad de maquinado industrialmente satisfactoria. También describe que las aleaciones de corte rápido contienen 71.5 a 78.5% en peso de cobre (Cu), de 2 – 4.5% en peso de silicio (Si), de 0.005% hasta 0.02% Pb y el resto de zinc (Zn)".

Es importante señalar que aunque la aleación objeto de la presente solicitud y de la patente No. 7883589 están constituidas por elementos semejantes, los intervalos de concentración son diferentes y por tanto presentan diferentes comportamientos en algunas propiedades al ser evaluados como se demuestra más adelante.

Una ventaja de la presente aleación sobre la del inventor Keiichiro Oishi es que aunque la aleación de la presente solicitud presenta comportamientos similares en las operaciones de fundición, maquinado y cromado, ésta se destaca por poseer propiedades superiores de forjabilidad, es decir, tiene un mejor comportamiento en los procesos de forja, dándole gran versatilidad y mayor posibilidad de aplicación en el campo de la manufactura de metales.

El costo de la aleación propuesta es inferior a la aleación de la patente No. 7883589 lo que le da grandes ventajas para su aplicación en la fabricación industrial de grifería y válvulas.

La patente estadounidense No. 5330712 del inventor Akhileshwar R. Singh; del titular Federalloy, INC con título "COPPER – BISMUTH ALLOYS" (Aleaciones de vaciado de cobre – bismuto), se refiere a aleaciones de cobre libres de plomo equiparables a otras que contienen plomo pero sustituyen la influencia de este elemento con adiciones de bismuto que aportan a la aleación propiedades de lubricación homogénea y por tanto, buenas propiedades de corte en las operaciones de maquinado. Además de buen desempeño en las operaciones de pulido, lijado y cromado para utilizarse en el campo de la grifería.

La patente estadounidense No. 5409552 de los inventores David D. Mcdevitt, Jacob Crane, John F. Breedis, Ronald N. Caron, Frank N. Mandingo, Joseph Saleh; de OLIN Corporation con título "MACHINABLE COPPER ALLOYS HAVING REDUCED LEAD CONTENT" describe un latón alfa + beta ($\alpha + \beta$) maquinable que tiene un reducido contenido de plomo. La aleación contiene bismuto para mejorar la maquinabilidad. Se menciona también que una porción de zinc puede ser reemplazada con aluminio, silicio o estaño o una porción de cobre puede ser sustituida con hierro, níquel o manganeso.

La patente estadounidense No. 5879477 de los inventores Roland L. Ruetz, Jan V. Vojta, Donna L. Day; del titular "Kohler Co" con título "REDUCED LEAD BISMUTH YELLOW BRASS",

describe una aleación caracterizada porque contiene 55 – 70% Cu; 30 – 45% Zn; 0.2 – 1.5% Bi; 0.2-1.5% Al, 0 – 1%Pb; y al menos dos refinadores de grano, seleccionados del grupo que consiste de boro (B), indio (In), plata (Ag), titanio (Ti), circonio (Zr), niobio (Nb), tantalio (Ta), molibdeno (Mo), talio (Tl) y vanadio (V), en donde al menos uno de los refinadores de grano se selecciona del grupo que consiste de boro (B), titanio (Ti), circonio (Zr), niobio (Nb), tantalio (Ta), molibdeno (Mo), talio (Tl) y vanadio (V), y está entre 0.0001% y 0.003% de la aleación, y en donde si la plata (Ag) o indio (In) es un refinador del grano seleccionado, éste es menos de 0.25% de la aleación.

Las patentes referenciadas con Nos. 5330712, 5409552, 5879477 que contienen bismuto, presentan principalmente 2 desventajas cruciales ante la aleación de esta solicitud.

a) El bismuto cuando es añadido a un sistema de producción como constituyente de los subproductos que se obtienen durante su procesamiento tales como, sistemas de alimentación, cargadores, rebabas, piezas defectuosas que retornan para su procesamiento, etc.; requieren un cuidado especial para evitar contaminar el proceso al mezclarlo con otras aleaciones; ya que no es posible combinarlo con otras aleaciones dado su alto poder contaminante.

b) El bismuto no se puede reducir (bajar el porcentaje de bismuto) en la aleación, por lo que no se pueden fundir y refundir (reciclar) los subproductos, puesto que se va incrementando el bismuto saliendo de especificación y no haciendo posible su reproceso; aumentando los costos de producción.

Además, las aleaciones mencionadas en las patentes Nos. 5330712, 5409552, y 5879477 tienen un costo de fabricación más elevado con respecto a la producción de la aleación propuesta.

Breve descripción de la invención

La presente invención se refiere a una aleación de cobre (Cu) – zinc (Zn), con elementos aleantes adicionales, como plomo (Pb), silicio (Si) y aluminio (Al) que considerados como un todo proporcionan a la aleación propiedades superiores de fluidez, alto desempeño en forja, colada continua y otros procesos con temperaturas superiores a los 650°C.

Dichas características hacen a esta aleación ideal para ser utilizada en los procesos de fundición; debido al alto índice de fluidez que presenta dentro de los moldes y que facilita el llenado de cavidades. También proporciona buenos resultados al producir virutas de fácil remoción en las operaciones de corte y maquinado y en las operaciones de preparación de superficies como el lijado y pulido, presenta alto desempeño dando a las piezas rugosidades y

brillos ideales para la aplicación de recubrimientos como el cromado, en donde se tiene excelente adherencia, textura y brillo que proporciona una buena resistencia a la corrosión garantizando la durabilidad de las piezas producidas.

- La presente invención consiste en una aleación inédita de cobre – zinc – plomo – silicio – aluminio que se caracteriza por contener bajo % de plomo (0.25% Pb máx.) y que muestra buenas propiedades mecánicas, químicas y electroquímicas que permiten la manufactura amigable de productos de buena calidad a un costo competitivo en el campo de la fabricación de grifería y válvulas.

Breve descripción de las figuras

- La figura 1 muestra el comportamiento de propiedades como "Resistencia a la tensión (Psi)", "Elongación (%)", "Conductividad eléctrica (S)", "Dureza", así como las fases encontradas en las estructuras metalúrgicas dependiendo su composición química en el sistema cobre – zinc.

- La figura 2 muestra el comportamiento experimental obtenido del índice de fluidez en el sistema binario cobre – zinc en el intervalo de % Zn= 28 – 45 %, en donde se incluye información de aleaciones comerciales de referencia.

- En la figura 3 se observa la influencia de la concentración de aluminio, plomo y silicio sobre el índice de fluidez a distintas composiciones químicas de aleaciones cobre – zinc.

- La figura 4 muestra el comportamiento experimental obtenido de la dureza (HRB) en las aleaciones binarias estudiadas cobre – zinc en el intervalo de % Zn = 28 – 45% en donde se incluye información de aleaciones comerciales como referencia.

- La figura 5 presenta la influencia de la concentración de plomo, silicio y aluminio sobre la dureza (HRB) a distintas composiciones químicas del sistema cobre – zinc.

- En la figura 6 se observa el comportamiento experimental encontrado del índice de fluidez en función de la composición química; en donde se determina que para los procesos de fundición ya sea moldeo en arena o vaciado en molde permanente, valores superiores o iguales a 12 garantizan un buen comportamiento en los procesos de fundición.

La figura 7 muestra el comportamiento experimental encontrado de la dureza (HRB) en función de la composición química. Se establece que para fines de producción durezas mayores a 70 HRB no son recomendables para la fabricación de grifería y válvulas de baja presión.

- La figura 8 muestra el análisis microestructural de la presente aleación en ampliaciones de 10X, 20X y 50X, en donde se observa la fase $\alpha + \beta$ característica de esta composición; un crecimiento homogéneo de grano que proporcionará buenas propiedades mecánicas y buen desempeño en los procesos productivos para la fabricación de grifería.

Descripción detallada de la invención

- Se conoce que en las aleaciones de cobre, elementos tales como aluminio (Al), silicio (Si), estaño (Sn), fierro (Fe) y plomo (Pb) modifican las propiedades de maquinabilidad, dureza, índice de fluidez, resistencia a la corrosión, microestructura, etc. por lo cual, los inventores de la presente aleación, se enfocaron a analizar el comportamiento de aleaciones binarias Cu – Zn en un amplio rango de composiciones. Así como latones en presencia de elementos aleantes tales como a) Cu – Zn- Pb; b) Cu – Zn – Al; c) Cu – Zn – Si para que en base a dicho estudio los rangos de composiciones químicas apropiadas para utilizarse en la fabricación de grifería y válvulas fueran delimitadas, tomando en consideración el costo de fabricación y las propiedades mecánicas obtenidas.

- Una vez obtenida y analizada la información se fabricaron diversas aleaciones utilizando los criterios de selección resultantes de la etapa experimental previa y de donde se encontró de manera experimental el intervalo de aleaciones definido como apropiado para su utilización en grifería y válvulas.

- Una vez encontrada la aleación óptima se procedió a realizar pruebas en los diversos procesos de manufactura, tales como fusión, preparación de lingote, fundición, forja, maquinado, lijado, pulido y cromado - acabados superficiales; los cuales mostraron en todas las operaciones empleadas, un buen desempeño igual o superior que el obtenido cuando se trabaja con aleaciones comunes.

- Finalmente se determinó que para términos de este estudio los intervalos de composición química más apropiados para fabricar grifería y válvulas está comprendida entre: **Cu: 58 - 65%; Zn: 35 - 40%; Pb: 0.10 – 0.25%; Si: 0.3% - 1.2; Al: 0.10 - 0.5%;** la cual es competitiva en propiedades físicas y mecánicas tales como el alto índice de fluidez que presenta llenando las cavidades en el interior de un molde provocando un buen aprovechamiento cuando se aplica a procesos de fundición. Así como buenos resultados al efectuar operaciones de corte y

maquinado de manera eficiente, mediante la obtención de virutas de fácil remoción y excelentes condiciones para la preparación de superficies como lijado y pulido para la aplicación de recubrimientos como el cromado. Fabricando piezas que garantizan alta calidad y bajo costo y un empleo sustentable de este material en contacto con agua.

5

Ejemplos

La presente invención se formuló a partir de llevar un planteamiento experimental de aleaciones que incluyó 100 aleaciones con el objetivo de estudiar la influencia de elementos aleantes en aleaciones de cobre – zinc y determinar así las mejores aleaciones sin plomo que fueran aptas para su utilización en la fabricación de válvulas y grifería. Seguido de un diseño de experimentos que permitió reducir la cantidad de experimentos a 45 pruebas.

10

Estas pruebas experimentales fueron establecidas dentro de los intervalos a continuación mencionados: % cobre (Cu): 55.0 – 70.0%; % zinc (Zn): 35.0 – 45.0%; % plomo (Pb): 0.0 – 5.0%; % silicio (Si): 0.0 – 5.0%, % estaño (Sn): 0.0 – 7.0%; % aluminio (Al): 0.0 – 8.0%.

15

Para cada composición química se prepararon 25 kg de aleación a partir de metales puros de cobre, zinc, silicio, aluminio y plomo. Los cuales fueron fundidos en un horno eléctrico con capacidad de 50 Kg de latón. Todas las aleaciones fueron preparadas y vaciadas a 1000 °C ± 5°C, después de un tratamiento de refinación de grano del metal líquido. El tiempo de permanencia a la temperatura de vaciado fue en todos los casos inferior a 20 minutos. De donde se efectuaron dos pruebas de fluidez y tres probetas para análisis de composición química y dureza Rockwell HRB.

20

Todas las aleaciones realizadas fueron evaluadas en dureza, composición química e índice de fluidez; y para las aleaciones seleccionadas se efectuaron análisis metalúrgicos para poder relacionar su microestructura con las propiedades mecánicas. También fue evaluada su resistencia a la corrosión mediante pruebas en cámara salina para poder garantizar su durabilidad cuando los productos estén instalados en campo.

25

Los análisis efectuados para cada aleación en esta etapa fueron:

a) Composición química.

Esta prueba se realizó a cada una de las 45 aleaciones determinadas para el estudio en los intervalos antes mencionados, utilizando la técnica de Espectrometría de emisión óptica, en un equipo marca Spectro Max para garantizar que las aleaciones obtenidas a partir de metales puros cumplieran los requerimientos de las aleaciones deseadas. Estas probetas fueron

30

tomadas del metal líquido y analizado en tres ocasiones para cada muestra para garantizar repetitividad en las mediciones.

b) Índice de fluidez.

- 5 Tal como se muestra en las figuras 2, 3 y 6 el índice de fluidez se determinó para cada aleación parte del estudio, midiéndola a partir de vaciar metal líquido dentro de una espiral de fluidez estándar o un modelo tipo serpentina donde se mide la distancia hasta la que viaja el metal antes de solidificar. Los moldes fueron elaborados con arena silica grano afs 40 – 50 y resina formol – furánica autofraguante al 1.1% en peso. Las aleaciones con bajos valores de fluidez
- 10 tendrán problemas en el llenado de las secciones delgadas de las piezas, por lo cual es necesario ajustar el vaciado de las mismas, a mayores velocidades de vaciado para asegurar el obtener piezas completas.

Al respecto se observó que algunos factores que afectan la fluidez del metal, son:

- 15
- | | |
|---|------------------------------|
| - Sobrecalentamiento del metal | - Viscosidad de la aleación |
| - Presión metalostática | - Composición de la aleación |
| - Tensión superficial | - Oxido superficial |
| - Películas de gas absorbido | - Inclusiones suspendidas |
| - Inclusiones precipitadas por enfriamiento | |

- 20 El sobrecalentamiento y composición química de la aleación son las más importantes. El metal fundido calentado a una temperatura más alta tiene un tiempo de solidificación mayor en el molde; por consiguiente fluye mayor distancia que una aleación calentada a una temperatura más baja. La composición de la aleación afecta la fluidez y depende de las características de enfriamiento de las aleaciones con los elementos químicos que la componen.

- 25 Debido a esto, las siguientes variables se mantuvieron constantes para todas las pruebas efectuadas:

- La temperatura de vaciado del metal líquido fue igual a $1000^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$; tiempo de permanencia del metal líquido en el horno antes de ser vaciado, escoriado y refinado del metal líquido inferior a 20 minutos. Cantidad de metal líquido preparado de cada aleación: 25 Kg; se
- 30 utilizaron materiales puros para la preparación de aleaciones durante el desarrollo experimental; Velocidad de vaciado de los moldes 1 – 2 Kg / seg, altura de vaciado (Distancia entre el pico de la olla y la entrada al molde, durante el llenado del molde).

c) Dureza HRB:

Las figuras 4, 5 y 7 en donde se presentan los resultados de dureza, fueron obtenidas a partir de utilizar un durómetro marca Rockwell Wilson Hardness Tester Modelo 5JR de acuerdo a la norma ASTM –E18- 03 para evaluar la resistencia de un material a ser penetrado por otro. En donde se aplica una carga de 100 KgF a un penetrador que pueden ser esferas, pirámides, conos de bola de acero endurecido o carburo de tungsteno sobre el material que se quiere caracterizar y se mide el tamaño de la huella. La escala Rockwell B es utilizada para medir la dureza de aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos.

- 10 La relación entre el número de Rockwell y la profundidad de la impresión h existe la siguiente dependencia.

Para bolas de acero = $HR = 130 - h/0.002 \text{ mm}$.

- 15 De aquí se observa que la unidad de dureza Rockwell corresponde a una penetración de 0.002 mm y que el valor de dichas unidades debe ser restado de cierto tope para que haya coherencia; a menor profundidad de penetración mayor será el número de Rockwell y viceversa.

20 **d) Maquinabilidad:**

De manera cualitativa se analizó el comportamiento de la aleación en el área de maquinado, mostrando una gran facilidad para cortarse en procesos diversos de maquinado.

25 **e) Analisis metalúrgico:**

Una vez terminada la selección, las aleaciones óptimas se prepararon metalográficamente muestras de acuerdo a la norma ASTM E3 para revisar su microestructura y predecir su comportamiento bajo diversas condiciones, tal como se muestra en la figura 8.

30

f) Resistencia a la corrosión:

Se efectuaron pruebas de resistencia a la corrosión en cámara salina de acuerdo a la norma ASTM G85 - 09 a las aleaciones consideradas apropiadas para ser estudiadas y patentadas.

- 35 En dicha prueba realizada en cámara sálina, las muestras son atacadas por un flujo continuo

de agua rica en cloruros, que cataliza el proceso de corrosión y nos permite predecir el comportamiento electroquímico de las muestras a través del tiempo. Las pruebas efectuadas tuvieron una duración de 140 horas en cámara de niebla salina que equivalen a un trabajo en campo de la pieza analizada superior a 10 años.

- 5 Aquí se encontró que a medida que se incrementa el % de zinc en las aleaciones Cu – Zn; el índice de fluidez va aumentando haciendo más conveniente su utilización en procesos de fundición.

Es decir, las aleaciones binarias Cu – Zn tienen mejor desempeño en los procesos de fundición y forja, cuanto se trabajan en % Zn de 35% a 45%. Sin embargo, se explica también que entre
10 mayor porcentaje de zinc tenga la aleación, es más susceptible de tener oxidación intergranular (Sufrir dezincificación), reduciendo la vida útil de los productos.

La presente invención utiliza un intervalo del % de Zn protegido, utilizando un rango de 35 – 40% Zn para evitar la corrosión prematura de las piezas producidas.

La figura 4 muestra que en las aleaciones binarias, conforme aumenta el contenido de zinc en
15 las aleaciones de cobre; la dureza aumenta ligeramente.

Estas gráficas sirvieron para definir el porcentaje de zinc base para el inicio de las pruebas experimentales, aunado a que como se sabe el cobre tiene un costo mayor que el zinc, por lo que, entre mayor contenido de cobre tenga la aleación, mayor costo tendrá. Pero proporcionará mayor resistencia a la corrosión.

- 20 En base a los resultados obtenidos se plantearon aleaciones ternarias o cuaternarias que dieron información trascendental, tal como se muestra en la figuras 6 y 7.

En la figura 6 se muestran los resultados de las pruebas de fluidez que se obtuvieron de la aleación de la presente solicitud de patente en diversos porcentajes dentro del mismo rango, donde se observa su excelente comportamiento en los procesos de fundición. La fluidez
25 obtenida es similar a la aleación de eco-brass y, superior a la aleación C27450 (aleaciones comerciales libres de plomo 0.25% Pb máx.).

Los índices de fluidez mayor o iguales a 12 son adecuados para utilizarse en procesos de fundición, en donde al correr fácilmente el metal líquido, los moldes trabajados pueden ser llenados satisfactoriamente y por ende, disminuye la generación de defectos.

En aleaciones donde el índice de fluidez es menor a 12 no se recomienda su aplicación en procesos de fundición. Debido a que presentará problemas importantes de falta de llenado, aspereza, arena incrustada o rechupes.

- Se determinó que el rango ideal para la fabricación de grifería y válvulas está comprendido, tal como se muestra en la tabla 1.

Elemento	Rango de la aleación (% en peso)
Cobre (Cu)	58 - 65
Zinc (Zn)	35 - 40
Plomo (Pb)	0.10 – 0.25
Aluminio (Al)	0.10 – 0.50
Silicio (Si)	0.30 – 1.20

Tabla 1

En la figura 4 se muestra la caracterización de la dureza a diferentes composiciones químicas de la aleación Cu- Zn.

- En la figura 7 se presentan las condiciones de composición química y dureza más adecuadas para la fabricación de grifería y válvulas. En base a esto, se define que durezas mayores a 70 HRB no son recomendables para maquinar y por tanto, para la fabricación de grifería y válvulas.

- La tabla 2 muestra una comparativa de aleaciones disponibles en el mercado con respecto a la aleación de la presente invención al evaluar la composición química, el índice de fluidez y la dureza (HRB).

	Aleación	Composición química								Índice de Fluides	Dureza (HRB)
		%Cu	%Zn	%Pb	%Fe	%Al	%Sn	%Mg	%Si		
1.-	Eco Brass C87850	74-78	rem	0.1	0.1		0.3		2.7-3.4	20.5	66.8
2.-	Aleación a PATENTAR	58 - 65	rem	0.10-0.25		0.10-0.50			0.30 - 1.20	19.5	61.5
3.-	Atlas Pacific #1 C85500	59-63	rem	0.2	0.2		0.2	0.2		11.5	48.7
4.-	Atlas Pacific # 2 R-3233	59.89	rem	0.02		0.25				14.5	70
5.-	Atlas Pacific # 3 R-2001267	77	rem	0.02					2.7	12.5	53.9
6.-	C27450	60-65	rem	0.25	< 0.35					5	49.7

Tabla 2

En este intervalo el material se puede maquinarse fácilmente y los productos presentan buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, lo cual es aceptable. Además, a la aleación de la presente invención se le efectuaron análisis metalográficos y pruebas de corrosión.

- Referente a las pruebas electroquímicas de corrosión en cámara de niebla salina, la aleación estuvo expuesta a 140 horas de cámara salina, lo cual es equivalente a tener las piezas probadas por más de 10 años instaladas en campo en óptimas condiciones asegurando así un desempeño satisfactorio de la aleación presentada.

Tal como se muestra en la microestructura de la presente aleación de la figura 8, se puede observar diferentes aumentos (amplificaciones 10X, 20X y 50X) de una aleación con fase $\alpha + \beta$, con grano redondeado y homogéneo que proporciona buenas propiedades mecánicas, resultado que es congruente con las propiedades obtenidas en las diversas pruebas efectuadas.

Dicho comportamiento coincide con la información de la figura 1 donde se muestra el comportamiento de las propiedades de conductividad eléctrica, elongación, resistencia a la tensión y dureza en función de la composición química de las aleaciones Cu – Zn.

Una vez definida, evaluada y aprobada la aleación por su comportamiento satisfactorio en sus propiedades mecánicas, químicas y electroquímicas en las pruebas antes mencionadas, la misma fue utilizada para la fabricación de diversos productos de grifería y válvulas a nivel piloto para garantizar que la manufactura de la aleación corresponda con las propiedades inherentes al metal y pudieran ser transformados de manera rentable.

- Fusión y preparación de lingote:** La aleación fue preparada en lingote de manera reiterada con aprovechamiento metálicos superiores al 95%.
- Fundición:** La aleación fue probada en fundición por las técnicas de baja presión en molde permanente y en fundición en molde de arena en verde; encontrando

resultados sobresalientes debido a la alta facilidad que presenta la aleación para correr y llenar los moldes y la baja contracción que presentó incrementando los resultados obtenidos con aleaciones de latón con contenidos de plomo entre 0.8% y hasta 8%Pb.

- 5
- **Proceso de Forja:** Las piezas forjadas presentaron también excelentes propiedades de forjabilidad (Deformación en caliente a temperaturas mayores a 650°C).
 - **Maquinado:** En la operación de maquinado fue necesario modificar algunas condiciones en las variables de operación; debido a la mayor dureza fue necesario:

10

 - a) reducir en un 15% el avance de las herramientas de corte;
 - b) incrementar la cantidad de refrigerante de un 5% habitual a un 9-12%;
 - c) utilizar herramientas de corte de carburo de tungsteno con ángulos negativos de 4 – 9° en el afilado de la herramienta;
 - d) el flujo del refrigerante mejora la eficiencia de los cortes cuando el chorro impacta directamente sobre la herramienta y la pieza (donde se está haciendo la operación).
 - **Lijado y Pulido:** No presentó ninguna modificación con respecto al trabajo de piezas de aleación Cu – Zn con plomo.
 - **Cromado:** Las piezas probadas en el área de cromado se procesaron eficientemente bajo las mismas condiciones en las que se croman las piezas fabricadas con latón con plomo.
 - **Normatividad:** Las piezas producidas aprobaron todas las pruebas de funcionalidad y cargas a las que fueron sujetas garantizando la calidad y durabilidad de la aleación.
- 15
- 20
- 25