

**1<sup>ra</sup> edición**

# **Estudios sobre Economía Circular e Industria 4.0**

I Congreso Internacional de Ingeniería Industrial Aplicada  
23, 24 y 25 de mayo del 2023, Guayaquil, Ecuador.

## **Tema**

### **6**

Elaboración de la aleación C91700 por medio de la  
norma UNS.

**Katusca Valle Navarro**

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador  
katusca.vallen@ug.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-3337-8371>

**Erwin Joaquín Murillo López**

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador  
erwin.murillo@ug.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-5350-5008>

**Alemán Herrera Lozano**

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador  
alemán.herrera@hotmail.com  
<https://orcid.org/0009-0005-7755-8779>



## Resumen

Se han realizado pruebas de fusión con chatarra de cobre de conductores y estaño puro para hacer aleación madre y aleaciones certificadas de acuerdo a la norma UNS C 91700 que es de gran utilidad para elementos que requieren de alta exigencia mecánica incluyendo grandes esfuerzos superficiales a velocidades medias y debido a su combinación de dureza, cualidades de superficie y resistencia a la corrosión, son muy usadas para fabricar las coronas de los reductores sinfín-corona, bombas, construcciones marinas.

Como resultado obtuvimos valores correspondientes a lo que exige la norma asegurando con esto la calidad de las aleaciones, lo que permite utilizarlas ampliamente en la industria donde se requiera alta exigencia mecánica y resistencia a la corrosión.

**Palabras clave:** Norma UNS, Aleación, Fusión, Chatarra, Fundición.

## Abstract

Fusion tests have been carried out with copper scrap from conductors and pure tin to make mother alloy and certified alloys in accordance with the UNS C 91700 standard, which is very useful for elements that require high mechanical demands, including large superficial efforts at medium speeds and due to their combination of hardness, surface qualities and resistance to corrosion they are widely used to manufacture the crowns of worm-gear reducers, pumps, marine constructions.

As a result, we obtained values corresponding to what the standard requires, thus ensuring the quality of the alloys, which allows them to be widely used in the industry where high mechanical demands and resistance to corrosion are required.

**Keywords:** UNS Standard, Alloy, Fusion, Scrap, Foundry.

## Introducción

La forma de obtención de una aleación de cobre es por medio de fundición y en nuestro país se lo realiza de manera artesanal debido a que no se presenta producción por lotes o en serie sino más bien se desarrollan piezas únicas o componentes mecánicos altamente resistentes al desgaste y que necesitan tener una composición química exacta.

Coronas de elevadores, hélices de barco, piezas de gran tamaño cuya importación puede llegar a realizarse en 5 u 8 meses se pueden realizar en el mercado local con la ayuda técnica necesaria.

Es por esto que existe la necesidad de dar una metodología apropiada al sector artesanal que brinda servicio a la gran industria en la fundición de piezas de desgaste para la elaboración de la aleación y verificación de su calidad in situ que permita llegar a la calidad deseada.

Los bronces, cobre Montero Ruiz, Murillo-Barroso, & Hook (2019) y estaño, han sido ampliamente usados en aplicaciones que demandan resistencia a cargas pesadas, velocidades bajas, así como también son resistentes a la corrosión Crespo Cánovas (2021), tienen alta dureza y son apropiados para obtenerlos por fundición para luego ser mecanizados y llevados a las formas solicitadas para la aplicación en la industria. Las propiedades mecánicas de algunos bronces son muy similares a las propiedades mecánicas del acero, sirven de material de sacrificio si se colocan en contacto con piezas desarrolladas en acero permitiendo su fácil reemplazo al tener la composición química deseada, la forma requerida y la metodología de fabricación calificada.

**Tabla 8.**  
**Bronces; Composición Química y Aplicaciones.**

Denominación	NORMAS ACTUALES Y EQUIVALENCIAS				ELEMENTOS COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)									Resistencia Tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	Alargamiento	Dureza Brinell	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Coef. de Exp. Térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	Coef. de Exp. Térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	Coef. de Exp. Térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	Coef. de Exp. Térmica (10 <sup>-6</sup> /°C)	Módulo de Elasticidad (GPa)	CARACTERÍSTICAS RECOMENDACIONES GENERALES DE USO
	SAE	UNS	ASTM	DIN	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Sb	Ni	P												
Bronce al estaño	40	C-83600	B-145-4A	1705-R65	84/86	4-6	4-6	4-6	0.3	0.25	1	0.05	20.5	9.5	20	62	8.83	1.80	15	96	Debe ser utilizado para bujes y piezas de uso corriente con cargas y velocidades moderadas.			
	65	C-90700	B-427	1705-GS#B210	88/90	10-12	0.5	0.5	0.15	0.2	0.5	0.3	24	12.5	10	80	8.78	1.84	10	97	Estas aleaciones de base CuSn se destacan por sus excelentes propiedades de dureza, tenacidad, resistencia al desgaste, corrosión y elasticidad. Es necesario que tengan una buena lubricación, lo que les permite trabajar con cargas específicas elevadas. <b>Aplicaciones:</b> Piezas lubricadas con elevada carga, impacto y acoplamiento. Piezas sometidas de alta sollicitación. Coronas, Engrenajes, Cojinetes, Camisas, Tuerca, Tornillos, Sifón, Balancines, Anillos y Tuerca de Fricción, Bujes de Biela, Prensa, Grúas, etc.			
Bronce al plomo	64	C-93700	B-144-3A	1716-GS#PbB10	78.82	9-11	8-11	0.8	0.15	0.55	1	0.15	20.5	8.5	15	60	8.95	1.85	10	76	Las aleaciones de CuPb se caracterizan por su excelente calidad anfrósica, resistencia a altas presiones, corrosión, vibraciones y golpes. Se recomiendan cuando la lubricación es deficiente. <b>Aplicaciones:</b> Bujes y Cojinetes con altas cargas. Prensa y Pistas mecánicas, Bujes de Biela, Bombas, Motores, Eje Automóvil y Ferrovial.			
	67	C-93800	B-584-93B	1716-GS#PbB15	75-79	6.3-7.5	13-14	0.8	0.15	0.8	1	0.05	18	9.5	12	50	9.25	1.85	12	69				
Bronce al aluminio	68A	C-95200	B-148-9B	-	86 min	8,5-9,5	-	-	2.5-4	-	-	-	45	17	20	110	7.64	1.62	11	103	Estas aleaciones se destacan por su gran resistencia mecánica, aún en altas temperaturas, poseen además alta tenacidad, dureza, y muy buenas propiedades anticorrosivas, necesitan muy buena lubricación. <b>Aplicaciones:</b> Bujes de equipo pesado, guías y correderas.			
	-	C-95400	B-148-9C	1714-GF#AlB150	88 min	10-11.5	-	-	0.5	3.5	2.5	-	51.5	20.5	12	150	7.45	1.62	13	107				
Estano al plomo	43	C-86500	B-147-8A	1709-GS#M45	55-60	0.5-1.5	16-42	1.5	0.4-2	1	1	0.4	45	17	20	125	8.30	2.20	22	103	Estas aleaciones se destacan por su buena resistencia mecánica, elevada dureza y tenacidad; poseen muy buena aptitud para ser trabajados en caliente (Estruñón, Laminado, Forja) y requieren buena lubricación. <b>Aplicaciones:</b> Tuerca, pernos, helices, levas, coronas, engranajes, industria naval.			
	430A	C-86200	B-147-8B	1709-GS#M60	60-66	3-4.9	22-28	2.5-5	2.4	1	0.2	0.2	62	31	18	150	7.84	2.20	8	103				

**Tabla 9.**  
**Información Técnica de los Bronces.**

ALEACIONES		ROJOS	AL ESTAÑO	AL PLOMO	AL ALUMINIO				
Denominación DIN		CuSn5ZnPb	CuSn7ZnPb	CuSn10	CuSn12	CuPb10Sn	CuPb15Sn	CuPb20Sn	CuAl10Ni
Denominación ASTM		C.83600	C.93200	C.90700	C.91700	C.93700	C.93800	C.94300	C.95500
<b>PROPIEDADES GENERALES</b>	<b>Unidad</b>								
Densidad	kg/dm <sup>3</sup>	8.7	8.8	8.7	8.6	9	9.1	9.3	7.6
Carga de Rotura	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	220	240-270	270	260-280	180-230	180-220	160	600-700
Límite Elástico	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	90	120-130	130	140-150	80-110	90-110	90	270-300
Modulo Elastico	KN/mm <sup>2</sup>	65-105	98-115	90-110	90-110	75-83	75-80	74-78	110-128
Alargamiento A <sub>g</sub>	%	16	13-16	18	5-12	8-12	7-8	6	12-13
Dureza HB 10/1000		60	65-75	70	80-95	65-75	75-80	50	140-160
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>									
Calor Especifico	J/g*K	0.373	0.356	0.376	0.376	0.376	0.376	0.376	0.418
Expansion termica	10 <sup>-6</sup> /°K	18.2	18.5	18.5	18.5	18.7	18.8	19.3	17-19
Conductividad Termica	W/(m*K)	71	64	59	54	54	63	71	60
Conductividad electrica	m/(Ohm*mm <sup>2</sup> )	8.5	7.5	7	6.2	6	7	8.5	4.6

Los bronce al estaño son aleaciones ampliamente usadas en el sector de la industria debido a su aplicación, la combinación de la composición química de los elementos aleantes responden a propiedades mecánicas para grandes esfuerzos.

La aleación C91700 de la norma UNS posee una gran dureza, alta resistencia a la rotura y un límite elástico apropiado, es excelente conductor de la electricidad, acumula menos calor q otros metales, es menos rígido q los otros metales por lo tanto es más fácil de manipular y maquinar. Posee alta resistencia a la corrosión lo cual es apropiado para construcciones marinas como ejemplo de ello son las hélices de barcos que muchas veces tienen formas especiales y corresponden a un único modelo de fabricación.

Entre los usos del bronce al estaño se encuentran chumaceras, bujes, impulsores de bombas, anillos de pistón, componentes de válvulas, sellos, conexiones conductoras de vapor, engranes; los cuales se han solicitado para su fabricación en talleres artesanales.

**Tabla 10.**

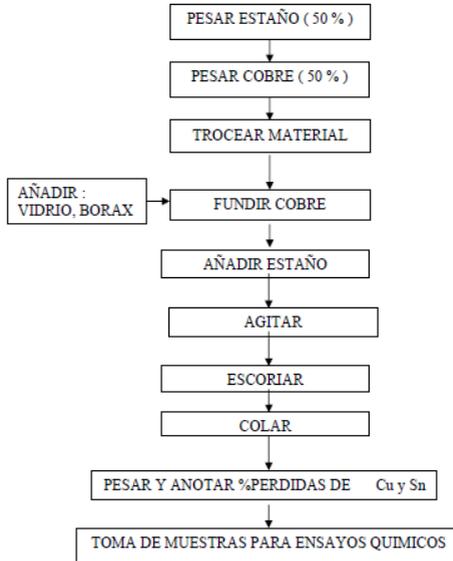
*Composición de la aleación de cobre UNS c91700.*

Contenido en porcentaje	
Cu	85-87,5
Sn	11,3-12,5
Pb	0,25 max
Ni	1,3-2,0
P	0,3 max

## Influencia de los elementos aleantes

**Figura 24.**

***Secuencia de operaciones para elaboración de aleación madre.***



Los elementos aleantes principales y los residuales influyen en las propiedades de la aleación. Así: El Zinc, agregado en estas aleaciones, tiene por objeto actuar como agente desoxidante y aumentar la fluidez del metal, mejorando la maquinabilidad de la pieza colada. El zinc reemplaza una parte del estaño, reduciendo de esta manera el precio del metal. Sin embargo, al aumentar el contenido por encima del 2%, el color específico de los bronce se pierde, resultando un color superficial pardo oscuro, por ello nunca está presente sobre el 1%. Como ya se ha anotado antes, la maquinabilidad de esta aleación es solamente el 20 % de la del latón de maquinado rápido, por ello a veces se agrega a la aleación una pequeña cantidad de plomo para aumentar la maquinabilidad de la pieza fundida. Para este fin se agrega hasta un 2 % de plomo. Cuando se trate de bronce para cojinetes, usados en cargas elevadas y bajas velocidades se incrementa la cantidad de plomo hasta un 30 %, para procurar llegar a zonas blandas de plomo libre donde se aloja detritos y partículas arrancadas por fricción sin lubricación.

La proporción del hierro no debe aumentarse en la pieza fundida más del 0,3 %, de lo contrario la colada se hace quebradiza y disminuye la resistencia al impacto.

La presencia del aluminio y del silicio en la aleación es del mismo modo contraproducente, porque estos elementos hacen disminuir las propiedades mecánicas de la pieza fundida y dificultan el maquinado de la misma.

El fósforo es también perjudicial en la aleación si está presente en proporciones mayores a 2.04 % ya que tiene doble efecto. Aumenta tanto la fluidez del metal, lo cual es bueno en relación con el colado de piezas difíciles, pero este aumento de fluidez ocasiona dificultades si se efectúa la colada en moldes de arena de grano grueso sin pintura, ya que el metal se infiltra en el molde formando una mezcla arena-metal que es difícil de maquinar.

El níquel, antes era considerado como un elemento perjudicial para esta clase de aleaciones, se admite, por lo general, hasta el 2% de níquel para aumentar la resistencia mecánica de la aleación y mejorar el tamaño de grano ya que tiene la propiedad de generar centros de nucleación.

El azufre debe mantenerse debajo del 0,08 %, ya que este elemento empeora la fluidez de la aleación, aun con bajo porcentaje en la composición.

Entre las aplicaciones del bronce al estaño encontramos; fuelles, arandelas de sujeción, seguros, bujes, discos de embrague, resortes, engranajes, casquillos de cojinetes, tornillos sinfín. También se la utiliza en piezas de maquinarias sometidas a corrosión, así como impellers, bombas, rodamientos, construcciones marinas y se la usa para recipientes sometidos a presión. Por su amplio rango de enfriamiento haciendo la colada en moldes de arena se obtienen piezas de formas especiales, así como también se la utiliza para esculturas.

## **Materiales y métodos**

### **Materiales**

- Chatarra de cobre de conductores,
- Estaño 99,9% puro
- Chatarra de plomo de uso sanitario, plomo dulce
- Níquel puro 99,9%
- Fósforo en forma de pastillas (desgacificante)

- Diesel
- Gas propano
- Equipo utilizado
- Microscopio Leitz asistido por computadora
- Balanza de 20 kg, 6 Kg
- Crisol de 20 Kg, 5Kg, 3Kg
- Pinzas (agarrar crisol)
- Barra de hierro (mover colada)
- Probetero metálico
- Vidrio molido, Carbón vegetal
- Horno de crisol
- Termómetro digital
- Proceso de fusión de los bronce al estaño

Las aleaciones de cobre se funden usando diversos tipos de hornos, pero los más usados son los de crisoles de grafito calentados con carbón, petróleo o gas. Para la fusión de grandes cantidades de metal se emplean hornos de reverberos, 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 de mayor peligro para tener piezas homogéneas tanto en el exterior como en el interior de la aleación.

Las prácticas de fusión deben considerar los aspectos de forma de las piezas, así como los espesores. Las piezas pequeñas se funden más bien a temperatura baja; por el contrario, las piezas de tamaño grande deben fundirse calientes, para que los gases se separen. Es importante que se utilicen en el proceso de fusión crisoles limpios, para evitar una contaminación con otros metales; en particular deben descartarse para la fundición de bronce crisoles que hayan sido empleados anteriormente para aleaciones conteniendo aluminio, aún en porcentajes pequeños. 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:

1. Preparación, lingoteado de la aleación y control de la composición química, y
2. Refundición de los lingotes con ajuste de composición química y vaciado de la colada.

Para obtener los mejores resultados, especialmente a lo que se refiere las características mecánicas, se partió de las materias primas lo más puras posibles, limpias y sin óxidos. Para la preparación de la aleación se introdujo en el crisol o en el horno de reverbero o eléctrico el cobre en trozos no muy grandes, añadiéndole materiales cubrientes 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 el 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. Un sobrecalentamiento elevado es muy perjudicial para la fundición; se formarían óxidos de estaño, los que no se separarían, sino que quedarían en el metal solidificado, empeorando las propiedades de las piezas elaboradas y debe considerarse el aumento del costo porque hay que aportar nuevamente estaño. Cuando todo el cobre necesario para la aleación está fundido, se procede a una primera desoxidación introduciendo pequeñas cantidades de fósforo, este metal al combinarse con el oxígeno que el cobre pueda haber absorbido durante la fusión, forman óxidos que pasan a las escorias. Terminada esta segunda operación, se añaden por orden los elementos de la aleación, como el estaño, níquel y plomo, procurando, con adecuadas barras de hierro revestidas de grafito, tenerlos sumergidos en el baño para evitar fuertes pérdidas por oxidación (combustión). Se deja calentar suficiente la aleación y, después de quitar las escorias que flotan sobre el baño, se la vacía en moldes metálicos. 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.

### **Defectos típicos de las piezas fundidas de aleaciones de cobre**

**RECHUPES.-** Son cavidades que se forman en el interior o exterior de las piezas moldeadas, y que tienen por causa la disminución de volumen que experimenta el metal o aleación colada, en el momento de su enfriamiento.

**SEGREGACIÓN.-** Los líquidos que se han solidificado para obtener las aleaciones contienen además de los elementos de soluto añadidos intencionalmente para obtener la aleación, elementos de impureza. Cuando solidifica

una aleación los elementos del soluto presentes, son más solubles en estado líquido que en estado sólido, entonces se presenta una falta de uniformidad en el soluto especialmente en aquellas zonas que solidifican al último (centro del lingote), sería llamada esta macrosegregación, que se refiere al cambio en la composición promedio del metal según se mueve de lugar a lugar en el lingote, también es posible tener variaciones de composición localizadas en una escala más pequeña que el tamaño del cristal, esto se llama microsegregación o segregación dendrítica.

**SEGREGACIÓN DENDRÍTICA (CORING).**- causada por solidificación dendrítica en aleaciones. El “coring” es muy común en fundiciones de aleación UNS C91700.

## Metodología

Se uso la técnica experimental dividida en dos partes. Primero se encontró por prueba y error las típicas pérdidas de los elementos principales cobre y estaño durante la fusión. Luego se procedió a la elaboración de una aleación madre compuesta de cobre y estaño en partes iguales. Después se procedió a la fusión de lingotes de cobre y estaño en partes iguales. Luego se fundió la aleación madre considerando el porcentaje de estaño que posee y se agregó la cantidad de cobre requerido para obtener la composición indicada en la norma.

Segundo, se elaboró la aleación por el método directo. Con los porcentajes encontrados de las pérdidas típicas de la fusión de la aleación obtenida por el método que utiliza una aleación madre se hizo el cálculo de la carga y se procedió a la fusión primero del cobre y luego se incorporó el estaño y demás elementos de la aleación.

Se realizó el control de calidad de las aleaciones hechas por los dos métodos por medio de análisis químico, ensayo de dureza y metalografía. Con estos datos se encontró la aleación certificada, con la que el fundidor artesanal puede trabajar seguro que la aleación está dentro de la norma.

Con la aleación madre se realizó diferentes composiciones químicas para obtener una composición química ideal, se encontró que las pérdidas aproximadas son del 2% con el procedimiento de fundición realizado, se elaboraron ocho composiciones diferentes, dos que caigan por encima de la norma, dos por debajo y cuatro que caigan dentro de la norma. De esta prueba se escogió una aleación para ajustar químicamente. Luego se hizo una segunda alea-

ción madre ajustando a la composición química definitiva que caiga dentro del rango de la aleación C91700.

### **Control de calidad en la elaboración de la aleación UNS C 91700**

El término control de calidad incluye un sin número de pruebas para asegurar que el producto obtenido de la fundición cumpla con los requerimientos en todos los aspectos contemplados en una norma, aparte que debe de cumplir aspectos intrínsecos de calidad no se pueden descuidar los aspectos extrínsecos, tal como los poros debidos a las prácticas de fusión artesanal sin control de la fusión. Siempre al solidificar el metal líquido quedan retenidos gases en su interior, se originan en la pieza moldeada poros o sopladuras. Por lo general estos defectos son más numerosos y de menor tamaño que los embudos o cavidades de contracción, y se distinguen de estas últimas por su forma esferoidal. Estos gases, en particular el aire, pueden pasar al molde en el momento de la colada, disueltos en el metal fundido, o entremezclado con él, debido a un aumento brusco del chorro de metal líquido. Ahora bien, como los gases son por lo general más solubles en los líquidos que en los sólidos, durante la solidificación los gases disueltos se desprenden. Los gases también pueden originarse como consecuencia de la reacción entre el metal líquido y las sustancias volátiles, tales como la humedad, contenida en el molde. La porosidad se puede reducir en gran medida aireando y ventilando convenientemente los moldes, y utilizando moldes que permitan una fácil evacuación del aire y gases contenidos en su interior. Es así que desde un principio se debe asegurar que la aleación a obtener va a cumplir con lo requerido. La chatarra de cobre viene en alambre y trozos de fusión de la producción de alambres de cobre, los mismos que serán lo más grueso posibles para minimizar las pérdidas, por oxidación. Como se añade estaño, el metal base debe tener la menor condición de oxidación. También se añade níquel. Tanto el estaño y el níquel se los consigue en el mercado local en forma de lingotes y ánodos de sacrificio con pureza comercial de 99,9%.

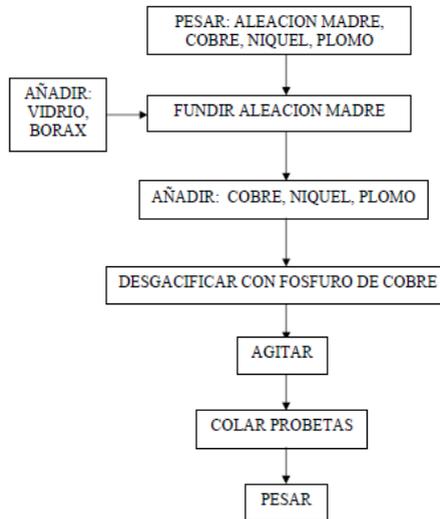
El plomo se usa de chatarra de plomo, de accesorios de instalaciones sanitarias o lo que se llama plomo dulce sin antimonio y el fósforo se lo encuentra nivel comercial en aleación al 14 % en aleación con cobre. Luego se controla el ingreso del material al horno; no todos los elementos ingresan en un solo tiempo. Primero es el cobre, cuando este ya esté fundido se le añade el estaño, níquel y plomo, en ese orden. La manera más efectiva para minimizar la absorción de hidrógeno durante la fundición es minimizar la cantidad de hidrógeno en contacto con el material fundido, haciendo la fundición con atmósfera ligeramente oxidante. Los hidrocarburos que se usan para la combustión son

compuestos de hidrógeno y carbón que al quemarse (unirse con el oxígeno) forman grandes cantidades de vapor de agua lo cual es un serio problema ya que esto comúnmente causa defectos en los productos terminados, es por esto que se aconseja fundir bajo condiciones ligeramente oxidantes; esto significa ajustar la relación combustible-aire del quemador lo que hace que exista una combustión completa, resultando una pequeña cantidad de oxígeno libre en la llama. Este exceso de oxígeno bajo circunstancias normales tiende a saturar la fundición con oxígeno y restringe la solubilidad del hidrógeno a niveles bajos aceptables. Una técnica de control para asegurar una atmósfera ligeramente oxidante es “la prueba del zinc” la cual consiste en sostener una pieza de zinc pequeña a la salida de la llama del quemador durante 5 segundos para luego observar su apariencia; si la superficie se ennegrece entonces la atmósfera es altamente reductora, si cambia de amarillo a gris claro es reductora y si el color no cambia entonces la atmósfera es oxidante. También debemos controlar la temperatura de la fundición que se hace este caso con termocuplas que es la manera más precisa de controlar este parámetro. Los moldes deben estar libres de humedad para esto se los precalienta con llama directa de lanzallamas de gas propano butano ya que el aire en particular puede pasar al molde en el momento de la colada, disuelto en el metal fundido o entremezclado con él debido a un aumento brusco del chorro del metal líquido. El siguiente control es en el vaciado del metal que debe ser continuo y lo más rápido posible para asegurar que no haya imperfecciones al momento de solidificar. Por último, se hace inspección visual escogiendo las probetas para análisis químico, ensayos de dureza, de tracción y metalografía.

## Resultados

**Figura 25.**

**Secuencia de operaciones para elaboración de aleaciones a partir de aleación madre.**



Por el método de la aleación madre se encontró diferencias porcentuales para el cobre de 13,35% menos que el porcentaje de la norma, el estaño bajó en 0,96%, el plomo bajó en 0,05%, y el níquel bajó en 0,4%; se procedió a ajustar composición química a partir de la aleación con contenido en Sn de 13,46 %: Se añadió los 13,35% de Cu de la primera prueba y se consideró un 5 % de pérdidas en esta segunda fundición ya que la que se obtuvo provino de una aleación que casi cae dentro del rango requerido.

Al realizar ensayos químicos se encontró Bronce al Estaño con norma UNS C91700, cuyos valores son; Cobre 85,03%, Estaño 11,55%, Níquel 1,26%, Plomo 0,13 y Fósforo 0,1%.

Por el método directo, con valores de pérdidas del método de la aleación madre y con cargas al horno de dos diferentes aleaciones como son:

- Aleación 1: Cobre 90%, Estaño 12%, Níquel 2%, Plomo 0,15 y Fósforo 0,1%.

- Aleación 2: Cobre 90%, Estaño 13%, Níquel 1%, Plomo 0,15 y Fósforo 0,2%.

Los resultados finales dieron una aleación ajustada a la norma UNS C91700 con los siguientes porcentajes de aleación: Cobre 85,25%, Estaño 12,5%, Níquel 2%, Plomo 0,15 y Fósforo 0,1%.

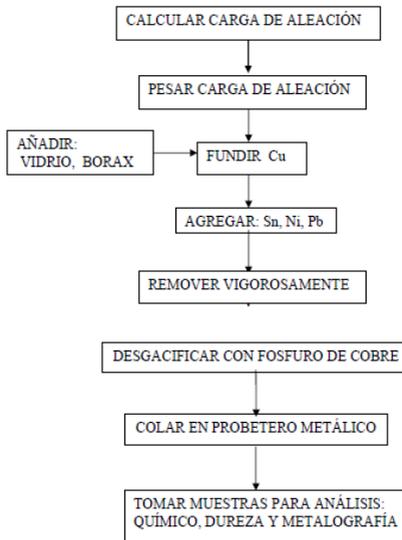
### Análisis de dureza

Los ensayos de dureza se realizan con durómetro Brinell, penetrador de bola de acero de 10mm de diámetro y carga de 1500kg con tiempo de acción de 5 segundos.

### Método de la aleación madre

#### Figura 26.

**Secuencia de operaciones para elaboración de aleaciones por método directo.**



121 BHN para aleación con 11.55% de Estaño.

### **Método Directo**

117 BHN para aleación con 11,14% de Estaño.

### **Metalografía**

Con pulido intermedio, con lijas desde 200 a 600 y pulido final con pasta de diamante (alúmina) de 1 micra, ataque con reactivo cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) alternadamente, pasa a observación final y microscopía x100.

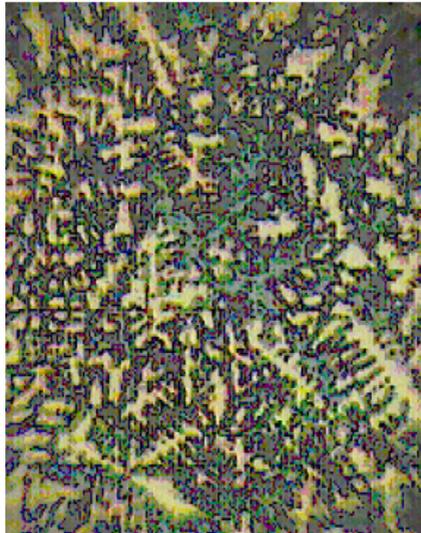
### **Figura 27.**

***Microscopía C91700 experimental con el método de la aleación madre.***



## Figura 28.

*Microscopía C91700 experimental con el método directo.*



El ensayo de tracción realizado a probetas elaboradas tanto por el método de la aleación madre como el realizado a probetas hechas con el método directo nos da los siguientes resultados:

- Método de la aleación madre: 61,5 ksi
- Método directo: 61,2 ksi

## Resultados y discusión

### Con relación al método de elaboración

Se diseñó un proceso de fabricación en base a una secuencia de operaciones establecidas por diagramas de flujo las mismas que se siguen para obtener una aleación certificada.

Para poder entrar a este sistema secuencial de operaciones hemos tenido que realizar unos ensayos preliminares, los cuales están basados en conocer las características del equipo y los materiales utilizados, tal es así que los primeros ensayos fueron de ajuste para conocer el porcentaje de pérdidas que se dan durante la fusión de los metales. En unos casos las pérdidas fueron mayores en el cobre, en otros casos en el estaño.

El primer método realizado, que usa aleación madre para llegar a nuestro objetivo radica en que debemos tener una aleación en donde el estaño ya esté aleado junto con el cobre, procurando en lo posible que estén en partes iguales, luego deberemos fundir el cobre y añadimos la aleación madre y los elementos faltantes, para ajustar una composición que llega casi a la composición requerida, para luego con esta última ajustar a la composición deseada que en nuestro caso es la C 91700.

La diferencia de porcentajes en composición química para el cobre está entre el 6 y 10 %.

La diferencia de porcentajes en composición química para el Sn está entre 3 y 5%.

En el otro método que denominamos directo es aquel que conociendo las pérdidas de los elementos aleantes obtenidas, sirven de base para el cálculo de nuestra aleación final, considerando siempre que estas aleaciones son hechas de chatarra con alto porcentaje de pureza. Previo a la fundición de la aleación se hará lingotes de la misma.

La diferencia de porcentajes en composición química para el Cu está alrededor del 18%.

La diferencia de porcentajes en composición química para el Sn varía alrededor de un 4%.

Así podemos ir enumerando cada uno de los experimentos, cómo fuimos ajustando la composición química hasta conocer en detalle preciso cuáles eran las deficiencias de nuestro equipo y también se elaboró un procedimiento para llegar a la meta de obtener aleaciones que caigan dentro del rango requerido por la aleación UNS C91700.

### **Con relación a la calidad de la aleación**

Hemos tenido resultados precisos al realizar el control de calidad a las aleaciones obtenidas por ambos métodos, es decir que es posible hacer estas aleaciones certificadas:

1. Usando material de reciclaje y,
2. Con equipo artesanal.

Utilizando un método de control de planta visual que consiste en hacer una probeta y ensayarla bajo condiciones de un análisis sencillo de comparación con un patrón de calidad conocida, luego se realiza un ensayo de fle-

xión, pero aplicando una carga de impacto con un martillo. Con este método podemos hacer ajustes finos en relación al color de la aleación, tamaño de grano de la aleación y presencia de defectos como porosidades, con esto se certifica la calidad de la aleación en relación a su constitución física de tal manera que no tenga defectos internos es aquí que estamos analizando qué tan efectiva ha sido el ajuste de composición química y la desgasificación realizada a la aleación. Luego aplicamos los ensayos normalizados de análisis químico, tracción, dureza y metalografía para con esto concluir el control de calidad de nuestras aleaciones, ratificando con esto que nuestros postulados están correctos ya que llegamos a condiciones de resistencia mecánica exigidas en la norma.

En cuanto al ensayo de dureza, el resultado de la misma no es imprescindible que sea el valor exacto que se expresa en la norma porque esto varía de acuerdo al rango de porcentaje del elemento aleante principal, y este es considerado en un rango de composición,

Así, el valor de la norma es de 106 Brinell y nuestro resultado está entre 100 y 120 Brinell.

Pero la composición química es imprescindible que caiga dentro del rango ya que es muy estrecho porque la aleación bajo la norma debe estar para el cobre entre 85% y 87%; y para el estaño debe estar entre 11,3% y 12,5%; valor que nos da 11,14% y 11,55%.

Todos los parámetros están analizados, certificados y ratificados debido a que caen dentro de la norma UNS C 91700.

## **Conclusiones**

A mayor contenido de Sn; mayor dureza (92-125 HBN) de la aleación y aumento de color grisáceo en la fractura, así como también el tamaño de grano resulta más fino, la resistencia a la tracción también aumenta. No existe variaciones ni pérdidas considerables en cuanto a los elementos aleantes.

Los métodos sugeridos para obtener aleaciones certificadas a través de reciclaje en hornos artesanales son correctos.

Las secuencias de operaciones establecidas en los diagramas de flujo aseguran la calidad de las aleaciones aquí producidas.

Los equipos y materiales usados, sirven para el propósito que se fijó, es decir el reciclaje de chatarra genera aleaciones que cumplen con la calidad de una norma.

## Recomendaciones

Se recomienda que los métodos aquí ensayados sean utilizados para producir aleaciones certificadas.

Se recomienda también que cada artesano tenga su propio método de asegurar su calidad.

El método de análisis rápido en planta le asegura una calidad constante lo cual es beneficioso para su producción. Si no se tiene microscopía es fundamental tener diferentes composiciones de estaño y una cartilla con patrones de calificación de fractura de las aleaciones, color y tamaño de grano de las mismas.

Se recomienda seguir con el estudio microscópico de las aleaciones en general, a fin de establecer una tabla comparativa que sirva a los fundidores como referencia calificadora.

Es importante además una investigación continua para el desarrollo, educación e implementación de procedimientos técnicos que usan normas internacionales. Es conveniente ofrecer capacitación de alto nivel y tener acceso al conocimiento de manera guiada, así como también es importante realizar visitas técnicas tanto de estudiantes a empresas, artesanos a universidades y en general acortar cada vez más la brecha que existe entre el conocimiento formal y el trabajo empírico para el desarrollo de nuevas formas de trabajo colaborativo y eficaz.

## Referencias

- Crespo Cánovas, J. (2021). *Aleaciones de cobre: Desarrollos recientes y nuevas perspectivas*. Ingeniería Mecánica, Materiales y Fabricación. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9616>
- Montero Ruiz, I., Murillo-Barroso, M., & Hook, D. (2019). *La producción de bronce durante El Argar: frecuencia y criterios de uso*. Boletín del Museo Arqueológico Nacional. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/222340/3/2019-bolman-38-01-montero.pdf>