

ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LAS PÉRDIDAS EN EL
PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE COBRE EN LA EMPRESA
COPERCO S.A.

LIZETH PAOLA HERRÁN SERRANO



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA
PERÚ
2019

ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LAS PÉRDIDAS EN EL
PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALEACIONES DE COBRE EN LA EMPRESA
COPERCO S.A.

LIZETH PAOLA HERRÁN SERRANO

Monografía

Director
Ing. Luis Arcesio Medrano Rivera
Especialista en metalurgia en cuchara

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA
PERÚ
2019

DEDICATORIA

A Dios.

Por permitirme existir y poder compartir con los demás esa sed profunda de vivir y dar de mi misma lo mejor, dándome de igual manera grandes bendiciones y oportunidades.

A mi madre Nirsa.

Porque gracias a ella he aprendido a ser una mujer culta y llena de valores, una persona dedicada, entregada y responsable; siendo estas las cualidades de esa mujer que con orgullo hoy puedo admirar. Por apoyarme durante las más grandes adversidades, por cada uno de sus consejos, por la motivación constante, pero más que nada, por su inmenso amor.

A mi padre Jairo

Por estar a mi lado cuando más necesité de una figura paternal, por ser esa persona sencilla y humilde de la cual aprendí que la vida está hecha para luchar, sin importar las condiciones.

A mis hermanos

Porque han sido mis compañeros de vida llenando cada parte de mí con una sonrisa y aunque les falta aún mucho por vivir, son mi orgullo y deseo ser para ellos el mejor ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

En este espacio quiero dar las gracias, a todas aquellas personas que hicieron posible este trabajo y que de alguna forma estuvieron conmigo en todos los momentos difíciles. Primeramente, a mis padres por todas las veces que me brindaron su apoyo, por guiarme en cada decisión presente en mí camino, por su comprensión; pero sobre todo por la gran paciencia que me han tenido.

A mis hermanos por que hicieron parte de esta investigación y de ellos también pude aprender nuevas cosas. Porque, con cada ayuda y cada palabra de ellos, pude construir este trabajo.

Así mismo, deseo expresar mi agradecimiento al Ingeniero Luis Arcesio Medrano Rivera; mi tutor, mi guía y mi ejemplo para seguir en este proceso. Por sus consejos, pero sobre todo por su tiempo y su infinita paciencia durante todo este proceso.

Finalmente, quiero agradecer al Doctor Vicente Treviño Márquez, Gerente General de la Compañía Peruana de Metales COPERCO S.A. Por brindarme su confianza y la oportunidad de hacer parte de esta gran familia. Porque gracias a esta familia pude aprender cosas nuevas y sobre todo empezar mi vida profesional.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1. RESEÑA HISTORICA.....	14
1.2. NORMATIVIDAD	14
1.2.1.ASTM B455 - 10(2017).....	14
1.3. PROCESO DE FUNDICIÓN	15
1.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	16
1.5. ALEACIONES DE COBRE ZINC (LATONES)	16
1.5.1.Diagrama de fases.....	17
1.6. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN.....	19
1.6.1.Difracción de rayos x	19
1.6.2.Análisis metalográfico.....	19
1.6.3.Espectrometría	20
1.7. PROPIEDADES Y USOS DE LA ALEACIÓN UNS C 38500 = ASTM B455.....	20
1.7.1.Características de la aleación.....	20
1.8. METODOLOGÍA A EMPLEAR.....	21
2. ESTADO DEL ARTE.....	22
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	24
3.1. MATERIALES.....	24
3.1.1.Fundición.....	24
3.1.2.Análisis.....	24
3.2. ELEMENTOS.....	25
3.2.1.Fundición.....	25
3.2.2.Análisis.....	25
3.3. EQUIPOS	25
3.3.1.Fundición.....	25
3.3.2.Análisis.....	26

3.4. FABRICACIÓN DE LA ALEACIÓN	26
3.4.1. Balance de carga.....	26
3.4.2. Fusión.....	27
3.4.3. Escoreado y toma de muestra	28
3.4.4. Colada de material.....	29
3.4.5. Destochado de material	29
3.4.6. Extrusión	30
3.4.7. Trefilación.....	31
3.4.8. Producto terminado	32
3.4.9. Análisis Químico	33
3.5. PROPIEDADES DEL MATERIAL	34
3.5.1. Composición química	34
3.5.2. Dureza.....	35
3.5.3. Medidas.....	36
4. RESULTADOS.....	37
4.1. COLADA 1	37
4.2. COLADA 2.....	40
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	42
6. CONCLUSIONES	49
7. RECOMENDACIONES	50
INFOGRAFÍA.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas principales del proceso de fundición.....	15
Figura 2. Piezas de latón	16
Figura 3. Diagrama de fases cobre-zinc	18
Figura 4. Recepción y selección de material	24
Figura 5. Cargada del horno basculante	27
Figura 6. Escorado.....	28
Figura 7. Muestra de laboratorio	28
Figura 8. Colada de material.....	29
Figura 9. Destochado del material	30
Figura 10. Extrusión.....	31
Figura 11. Barras de latón	32
Figura 12. Flujograma del proceso de obtención de barras de latón por fundición, extrusión y trefilado.....	33
Figura 13. Titulación	34
Figura 14. Composición química del material	35
Figura 15. Ensayo de dureza	35
Figura 16. Medidas de barras	36
Figura 17. Gráfica temperatura vs tiempo.....	42
Figura 18. Gráfica recorte vs merma	43
Figura 19. Gráfica viruta vs merma.....	45
Figura 20. Gráfica viruta vs tiempo	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades químicas y mecánicas de la aleación UNS C 38500 = ASTM B455.	20
Tabla 2. Variación de cantidades en dos semanas.....	37
Tabla 3. Cantidades colada 1	38
Tabla 4. Porcentajes colada 1.....	38
Tabla 5. Tiempos y temperatura colada 1.....	39
Tabla 6. Cantidades colada 2	40
Tabla 7. Porcentajes colada 2.....	40
Tabla 8. Tiempos y temperatura colada 2.....	41
Tabla 9. Datos de recorte y merma.....	43
Tabla 10. Datos viruta y merma.....	44
Tabla 11. Datos viruta y tiempo	46
Tabla 12. Análisis estadístico de temperatura y tiempo.....	48

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis estadístico de temperatura.....	54
Anexo B. Análisis estadístico de tiempo	57

GLOSARIO

CALLANA: Crisol para colar metales.

COMBA: Mazo que sirve para romper.

DESARMADOR: Herramienta utilizada para apretar y aflojar tornillos u otros elementos.

DESTOCHADORA: Maquina utilizada para sacar los tochos de la tochera.

DESTOCHAR: Acción sacar los tochos de las tocheras.

FRAGUA: Horno en el que se calientan los metales para forjarlos o trabajarlos.

LAMPA: Instrumento que posee una pala de hierro y un mango y se utiliza para cargar.

LENTES DE SEGURIDAD: anteojos protectores que normalmente se usan para evitar la entrada de objetos.

MAMELUCO: Overol una sola pieza que cubre hasta los pies.

MANDIL: Delantal o una prenda utilizada generalmente para el trabajo.

MERMA: Es una pérdida o reducción de un cierto número de mercancías o de la actualización de un stock que conlleva a una pérdida monetaria.

PARIHUELA: Cama estrecha y portátil que se sujeta al montacargas para transportar objetos.

REBARBA: Borde saliente de las piezas de forja.

RECORTE: conjunto de trozos de metal de desecho conocido como chatarra.

RESPIRADOR: Accesorio que sirve para cubrir la boca

TOCHERA: Molde metálico con forma de tocho.

TOCHO: Ladrillo basto y tosco con forma cilíndrica.

RESUMEN

Este trabajo de investigación, consiste en la determinación y análisis de las variables que influyen de manera positiva o negativa en el porcentaje final de pérdida (merma) obtenido en el proceso de fundición de la Compañía Peruana de Metales COPERCO S.A.

El problema de investigación presente en la empresa es el alto porcentaje de pérdida, llegando hasta un 17% aproximadamente, siendo este porcentaje bastante elevado para parámetros industriales actuales.

La investigación se realizó obteniendo información de diversas fuentes, como documentos internos de la empresa, datos recopilados y una revisión de literatura. Partiendo de la identificación de variables y todos los parámetros presentes en el proceso, se determinaron 4 variables importantes: temperatura, tiempo, porcentaje de recorte y porcentaje de viruta; las cuales, fueron evaluadas con el fin de dar solución al problema mencionado y así mismo para la optimización de los rendimientos de las materias primas, disminuyendo las pérdidas de materiales, con lo que se obtendrá una mayor producción, mejorando los rendimientos económicos, lo que garantizará la permanencia de la empresa en el competitivo panorama industrial de la región y de la nación peruana.

Finalmente, se obtuvieron conclusiones; las cuales brindan una visión general de las condiciones actuales del proceso de fundición en la empresa, de manera que se tomen decisiones determinantes para la reducción del porcentaje de merma.

Palabras clave: Merma, proceso de fundición, optimización, pérdida, rendimiento económico.

INTRODUCCIÓN

El cobre y sus aleaciones, al igual que el acero y el aluminio se encuentran entre los mayores grupos de aleaciones comerciales disponibles en el mercado. El cobre se utiliza en grandes cantidades, por su excelente conductividad eléctrica y térmica; además de su buena resistencia a la corrosión. Es utilizado de diferentes formas con facilidad y es adecuada para muchas aplicaciones por su resistencia mecánica y a la fatiga. Generalmente, pueden soldarse fácilmente por diferentes procesos al ser materiales no-magnéticos. Las aleaciones de cobre están compuestas por el cobre como aleante principal, (es decir constituye un mayor porcentaje en la aleación), más algún tipo de metal que le da el nombre a la aleación.

Una de las principales empresas latinoamericanas productoras de estos materiales es la Compañía Peruana de Metales COPERCO S.A. Empresa dedicada a la fabricación de aleaciones no ferrosas bajo norma y posterior transformación en productos semielaborados de uso general en la industria. Así como, por ejemplo: latones (barras, tubos, platinas, perfiles, entre otros); bronce (barras y bocinas centrifugadas); aleaciones de zinc (zamak 5); soldaduras de bronce, piezas forjadas y alambres de latón.

Las aleaciones de Cobre con Zinc (Zn) son llamadas latones. Estas aleaciones además del Zn, poseen cantidades pequeñas de Plomo (Pb), Estaño (Sn) o Aluminio (Al); elementos que pueden modificar alguna propiedad del material como, por ejemplo, el color, la resistencia a la corrosión, la maquinabilidad, la resistencia mecánica, la ductilidad, o una mezcla de dichas propiedades.

En la Empresa COPERCO S.A, una de las aleaciones más importantes y la que se tiene en cuenta para esta investigación, es el latón ($\alpha+\beta$), que contiene de un 56% a 60% de Cobre, y un 38% a 42% Zn; teniendo en cuenta que la adición de 0,5 a 3% de plomo mejora la maquinabilidad.

Esta aleación es conocida como bronce dulce (ASTM B455) y se puede utilizar en procesos de maquinado, doblado y estampado en caliente, por su alto contenido de zinc. También por su contenido de Plomo, se caracteriza por su buena ductilidad y la facilidad de trabajo en el maquinado.

El proceso productivo de este material comienza en la selección del material para posterior fundición. Dentro de la selección, se escoge el mejor material entre viruta y chatarra (recorte), dependiendo el tipo de aleación que se requiera y considerando que el zinc y el plomo son utilizados como metales puros.

Dentro de los distintos procesos de producción de aleaciones no ferrosas como el latón y la realización de una variedad de productos por medio de diversas técnicas, se encuentra el proceso de fundición. Para este proceso la empresa cuenta con dos hornos basculantes; uno de 300kg y otro de 1000kg de capacidad. Iniciando con la carga del horno, hasta la obtención de escoria y tochos (lingotes cilíndricos), listos para extrusión.

Este proceso presenta porcentajes de pérdidas hasta de un 17%, siendo bastante elevado para parámetros industriales actuales y que afecta los rendimientos económicos de la empresa, perjudicando la subsistencia de la empresa en el mercado regional y global. Es por ello, que surge la necesidad de disminuir estos porcentajes, identificando y evaluando las variables que intervienen de manera positiva o negativa en la fundición.

Para la evaluación de esta problemática se cuenta con las instalaciones de la empresa y todos los datos proporcionados que sean relevantes en la investigación. Sin embargo, existen ciertas limitaciones que se deben tener en cuenta en la investigación; como, por ejemplo, el número de coladas semanales (entre 3 y 4), teniendo en cuenta que la materia prima es escasa y la carencia de equipos modernos en la empresa, pues solo se cuenta con hornos basculantes y el control de variables se hace manualmente.

El presente trabajo muestra una recopilación completa de información, con datos, antecedentes, análisis, gráficas y todo lo necesario para dar solución a la problemática inicial y a su vez generar un beneficio económico para la empresa.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. RESEÑA HISTORICA

Desde la edad de piedra, (6.000 a.c y 2.500 a.c.), con la aparición de la primera herramienta humana, el hombre empieza a explotar el bronce y el oro, por medio de procedimientos poco convencionales. De esta forma dan origen a herramientas de trabajo que a su vez les permitirán indagar otro tipo de materiales. Con herramientas como el martillo logran ver que “el cobre se quebraba con golpes, pero que al calentarse se fundía y se podía vaciar en moldes y solidificarse cuando esta frio.

Los primeros moldes eran de piedra de jabón o jaboncillo de sastre. Esta última era una piedra blanda y de fácil corte que soportaba altas temperaturas, aunque era muy difícil de tallar y por ello, se empezó a utilizar la arcilla arenosa”¹.

El proceso era el vaciado de la colada de metal sobre moldes abiertos de piedra o barro cocido, siendo una técnica elemental; pero solo se fabricaban armas o utensilios. Luego, poco a poco se fueron haciendo moldes para otros objetos.

1.2. NORMATIVIDAD

1.2.1. ASTM B455 - 10(2017)

Esta especificación aborda los requisitos para ángulos de latón extruido, canales y otras formas producidas en Aleación de cobre Núm. C38000 y C38500. El material se ajustará a la composición química especificada. Para las aleaciones de cobre se permite tomar cobre o zinc como la diferencia entre la suma de todos los elementos analizados y el 100%. Cuando se determine el cobre, ese valor de diferencia se ajustará a los requisitos especificados. La resistencia a la tracción y la dureza del producto suministrado se determinarán mediante pruebas de tensión y de dureza Rockwell. Sin embargo, los productos de sección hueca no están incluidos en esta especificación.

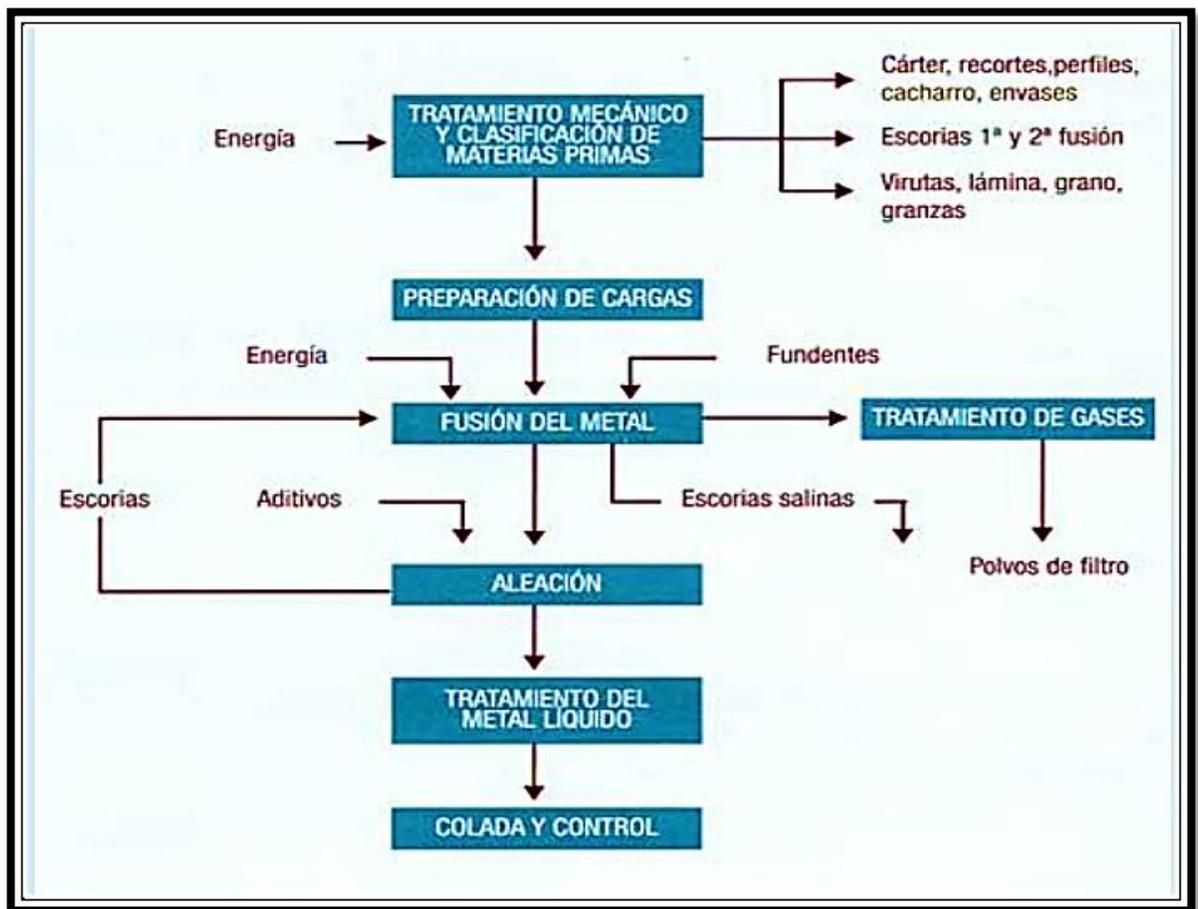
¹ Disponible en: <http://cerveracastrolosmetales.blogspot.com/p/historia-de-los-metales.html>

1.3. PROCESO DE FUNDICIÓN

Para realizar un proceso de fundición se requiere del metal líquido y el molde o matriz en que se depositará el mismo.

La figura 1, muestra un diagrama general del proceso de fundición con sus principales etapas.

Figura 1. Etapas principales del proceso de fundición



Fuente: <http://www.reciclajesamarquez.es/tag/chatarra/page/2/>

1.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Toda investigación posee una hipótesis que requiere de un juicio, una afirmación o negación de algo. Esta hipótesis posee un significado, un valor y una solución específica al problema.

- “Variable independiente: el valor de verdad que se le da a una hipótesis en relación con la causa.
- Variable dependiente: cuando el valor de verdad hace referencia al efecto y no a la causa.
- Variable interviniente: cuyo contenido se refiere a un factor que ya no es causa, ni efecto, pero sí modifica las condiciones del problema investigado”².

En este proceso de identificación de variables se realizó la recepción y selección del material hasta obtener el porcentaje de merma o de pérdida.

1.5. ALEACIONES DE COBRE ZINC (LATONES)

La fase α presente en mayor cantidad en los latones; les da la característica de ser muy buenos para ser deformados en frío. De igual manera, los que poseen fase β , que a su vez contienen plomo, se caracterizan por tener una excelente capacidad de mecanizado y gran resistencia a la corrosión.

Figura 2. Piezas de latón



Fuente: <https://www.ivanbohman.com.ec/product-detail/bronce-dulce-laton-uns-c-38500-astm-b455/>

² Disponible en: http://ocwus.us.es/comunicacion-audiovisual-y-publicidad/tendencias-actuales-de-investigacion-en-narrativa-audiovisual/contenidos/tema3/pagina_12.htm

1.5.1. Diagrama de fases

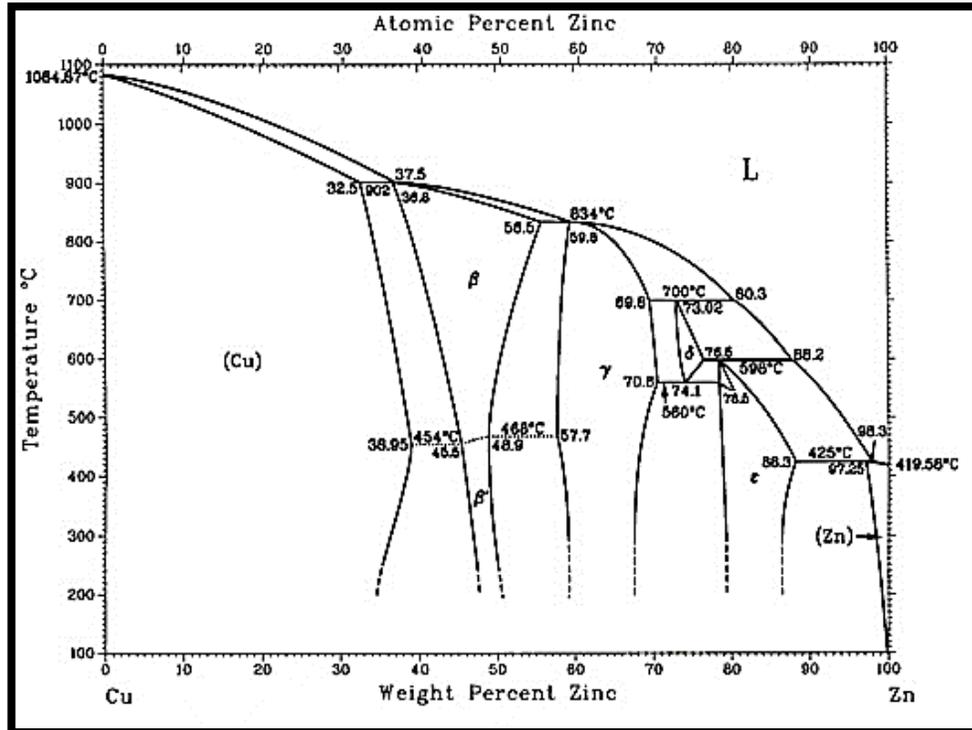
Los materiales en estado sólido pueden estar formados por varias fases. La combinación de las mismas, define muchas de las propiedades que tendrá el material. Por ello, es necesario tener una herramienta teórica que muestre la composición con relación a la temperatura, lo que se llama diagrama de fases o de equilibrio.

En figura 3 se muestra el diagrama de fase binario cobre zinc. La solubilidad del zinc en la solución alfa (α) sólida crece desde 32.5% a 902.7°C hasta 39% a 454.4°C. Como el cobre es f.c.c. (cúbico de caras centradas), la solución sólida α sólida es f.c.c. La fase beta (β) es un b.c.c. (cúbico centrado en el cuerpo) y sufre un ordenamiento, en la región de 854.44°C a 468.33°C. Al enfriar en este rango de temperatura, la fase β cambia hasta convertirse en β' ordenada b.c.c.; con los átomos de zinc en los centros de los cubos unitarios y los de cobre en las esquinas.

Según el diagrama las aleaciones de cobre-zinc se pueden clasificar según su microestructura en tres grupos: Latones α con un porcentaje de cobre mayor del 61% en peso, latones ($\alpha + \beta$) con un contenido en cobre entre el 54 y 61% en peso y Latones β con un contenido del 50 al 54% en peso de cobre. “Con la adición creciente de zinc, el color se vuelve más claro a medio dominio de α , y cambia de rojo a dorado hacia un amarillo claro. Desde el principio de la fase β el color adquiere un brillo rojizo, de manera que a partir del 70% de peso o más de cobre vuelve a haber un cambio de tonalidad que tiende hacia el amarillo dorado”³.

³ Disponible:http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/aleaciones_1/serie_m___z/serie_m___z.jsp

Figura 3. Diagrama de fases cobre-zinc



Fuente: ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams, Volume 3. Pág. 780

El Zn aumenta la resistencia y dureza al Cu, por un mecanismo de endurecimiento por solución sólida.

Según el diagrama Cu-Zn, tenemos las fases:

Solución sólida α (latón α):

- Blanda y dúctil.
- Estructura FCC.

Fase β' :

- Dura y frágil.
- Fase ordenada

Fase β :

- Estable a altas temperaturas.

- Plástica y desordenada.

- Estructura BCC.

Fases γ y δ : Completamente frágiles.

1.6. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN

La caracterización es una identificación y estudio de las propiedades de un material, estableciendo la naturaleza del mismo y sus posibles aplicaciones.

Existen diferentes técnicas de caracterización, entre las cuales se encuentra: Difracción de rayos x, análisis metalográfico y espectrometría.

1.6.1. Difracción de rayos x

Al interaccionar un haz de rayos X, con una determinada longitud de onda y una sustancia cristalina se produce uno de los fenómenos físicos llamado: difracción de rayos X. Este fenómeno utiliza la dispersión coherente del haz de rayos X por parte de la materia, manteniendo la longitud de onda de la radiación; y a su vez en la interferencia de las ondas que están en fase y que se dispersan en definidas direcciones del espacio.

Este fenómeno de difracción se describe con la Ley de Bragg, donde se prevé la dirección en la que se da interferencia constructiva entre haces de rayos X dispersados coherentemente por un cristal:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

La difracción de rayos permite la identificación de fases cristalinas, teniendo en cuenta que todos los sólidos cristalinos poseen su difractograma característico tanto en su aspecto cuantitativo como cualitativo.

1.6.2. Análisis metalográfico

Este análisis estudia las propiedades químicas y mecánicas de los metales o aleaciones por medio de la evaluación de las características microestructurales.

La preparación comienza con el Corte y Pulido, en donde el objetivo es limpiar el material y dejar acabado espejo.

El paso de Análisis se da en dos etapas: el ataque químico para la revelación de la estructura y el análisis de la muestra en el microscopio.

1.6.3. Espectrometría

Es la técnica espectroscópica determinada para evaluar la concentración o la cantidad de especies presentes en una muestra. Para este caso, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo.

1.7. PROPIEDADES Y USOS DE LA ALEACIÓN UNS C 38500 = ASTM B455

La aleación C38500, es una aleación de cobre, de buena ductilidad y fácil de trabajar en maquinado por la adición de plomo, que también se puede utilizar en procesos de doblado, maquinado y estampado en caliente por su alto contenido de zinc.

Se pueden obtener piezas como, marcos, bisagras, tornillos, grifos, accesorios para cerraduras, puertas de duchas, juntas de dilatación, pasamanos, accesorios para secadores eléctricos, mordazas de prensa, tuercas, válvulas, uniones, fijadores, entre otras.

1.7.1. Características de la aleación

Tabla 1. Propiedades químicas y mecánicas de la aleación UNS C 38500 = ASTM B455.

Typical Chemistry & Mechanical Properties						
Alloy Number	Name	Nominal Chemical Composition	Tensile Strength (KSI)	Yield Strength (KSI)	Elongation %	Rockwell B Hardness
UNS C38500	Architectural Bronze	Cu: 55.0 ~ 59.0% Pb: 2.5 ~ 3.5% Fe: 0.35% max Zn: Rem	60	20	30%	65

Fuente: http://www.muellerindustriesipd.com/pdfs/MLT-261_C38500.pdf

- Maquinabilidad: La aleación C38500 posee excelentes características de maquinabilidad, con un índice de maquinabilidad del 90%.
- Facilidad de trabajo: La aleación C38500 posee una excelente capacidad para calentarse. Los mejores resultados se obtienen entre 1150° y 1350°F (625° ~ 725°C). Esta aleación tiene poca capacidad para ser trabajada en frío. Si se requiere trabajo en frío, se recomienda realizar un recocido de alivio

de tensión a 500°F para reducir la posibilidad de agrietamiento por corrosión bajo tensión.

- Aplicaciones: C38500 (Bronce arquitectónico) se puede utilizar para varias piezas de arquitectura.

1.8. METODOLOGÍA A EMPLEAR

El proceso de fundición en la empresa COPERCO S.A. se realiza con máquinas antiguas, pues esta empresa no cuenta con equipos modernos dispuestos para fabricación, transporte ni carga.

Teniendo en cuenta la disposición que se tiene en la empresa se debe realizar un proceso de identificación de variables. Iniciando desde la recepción y selección del material hasta obtener el porcentaje de merma.

Para realizar la medición de variables, es necesario hacerlo de forma manual y detallada, pues como no se cuenta con instrumentos adecuados, es mucho más difícil este proceso.

Finalmente, se debe hacer un análisis de los resultados, observando de esta manera el comportamiento de cada una de las variables y de qué manera influyen en el porcentaje de desperdicio (merma).

2. ESTADO DEL ARTE

Dentro de la revisión literaria, se encontraron diferentes investigaciones relacionadas con las pérdidas en fundición de Cu. Las más relevantes se presentan a continuación:

- Minimización de las pérdidas de Cu en la escoria de fundición mate mediante adición de colemanita.

En cualquier planta de producción de cobre, se descartan más de dos toneladas de escoria con 0.7-2.3% de Cu. Por lo tanto, minimizar las pérdidas de cobre es muy importante durante la fundición mate de cobre.

A fin de reducir las pérdidas se adicionó colemanita, un compuesto de boro ($2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$) a la escoria.

En el artículo se afirma: “Los resultados mostraron que la adición de colemanita calcinada a la escoria; disminuyó el contenido de cobre de 1,50% a aproximadamente 0,40%”⁴.

También se observó que la adición de colemanita calcinada redujo la duración para alcanzar el equilibrio. Al aplicar este método, se podría mejorar la calidad del proceso de producción y reducir el costo del procesamiento de la escoria.

- Estudio sobre la reducción de la escoria de cobre del horno flash con el uso de polvo de antracita.

En el artículo se presenta la siguiente conclusión: “Se obtiene una reducción de la escoria de fusión de cobre blister con el uso de polvo de antracita”⁵.

El material, después de la preparación adecuada, se puede utilizar para el procesamiento de escoria como un sustituto de la brisa de coque actualmente aplicada.

⁴ YAVUZ, Ahmet. Minimización de las pérdidas de Cu en la escoria de fundición mate mediante adición de colemanita. Elsevier. Turquía, 2012.

⁵ SIWIEC G y OLEKSIK B. Nuevo proceso libre de residuos de escoria de cobre de fundición. Elsevier. Croacia, 2014.

- Evaluación de la nocividad de las escorias de los procesos de fundición de cobre.

Hay dos métodos para producir cobre primario:

- Hidrometalúrgico, el cual surge a partir de minerales oxidados y se realiza mediante operaciones por vía húmeda, estos se realizan a través de reacciones en fase acuosa y a bajas temperaturas.
- Pirometalúrgico, se realiza mediante operaciones por vía seca a altas temperaturas entre productos en estado sólido, líquido o gaseoso.

La escoria de la producción de cobre, al final del proceso contiene menos 0,8%. Se trata como un desperdicio o usado en otro campo, pero solo en unas pocas fricciones.

El autor del artículo menciona que: “Este es un problema ecológico serio. Por ello, es importante darle el tratamiento adecuado y buscar una forma de reducir estas cantidades”⁶.

⁶ HOLTZER M. y BYDAŁEK A. Evaluación de la nocividad de las escorias de los procesos de fundición de cobre. Elsevier. 2017.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. MATERIALES

En el proceso de producción de latón se utilizan diferentes materiales, dependiendo del proceso que se debe realizar; en este caso se presentan los materiales necesarios para el proceso de fundición y análisis químico; es decir, materia prima y reactivos químicos, respectivamente.

3.1.1. Fundición

El proceso comienza con la recepción de la materia prima como se muestra en la figura 3. Entra material de calle, que puede ser viruta o chatarra; que es seleccionado de manera que no exista en lo posible presencia de hierro ni bronce (figura 4). Para este proceso se utiliza un imán y por el color (rojizo) se descarta que sea bronce.

Figura 4. Recepción y selección de material



Fuente: Autora

3.1.2. Análisis

El análisis que se realiza es de tipo volumétrico, donde por titulación se obtiene el porcentaje de cobre presente en la aleación.

Para este análisis se necesitan los siguientes materiales:

- Ácido Nítrico
- Yoduro de potasio
- Almidón
- Tiosulfato de Cobre
- Agua destilada
- Muestra latón

3.2. ELEMENTOS

Adicional a la materia prima, se deben agregar elementos que ajustan la aleación al porcentaje que se quiere y otros que favorecen el proceso de fusión.

3.2.1. Fundición

Los aleantes utilizados y los elementos adicionales para la fusión, se relacionan a continuación:

- Zinc (electrolítico)
- Plomo (electrolítico)
- Fundente

3.2.2. Análisis

En el análisis son necesarios algunos elementos que ayudan en el proceso de medición de sustancias y en la manipulación de las mismas.

- Matraz
- Bureta
- Pipeta
- Pipeteador
- Pinzas

3.3. EQUIPOS

Los equipos utilizados en los procesos de análisis y fundición son necesarios para obtener un buen resultado y una aleación ideal.

3.3.1. Fundición

Los equipos empleados en el área de fundición son los siguientes:

- Horno
- Destochadora
- Balanza

3.3.2. Análisis

Para el análisis son necesarios los siguientes equipos:

- Balanza Analítica
- Estufa

3.4. FABRICACIÓN DE LA ALEACIÓN

3.4.1. Balance de carga

La aleación debe contener 58%Cu, 38%Zn y 2%Pb según la norma UNS C38500= ASTM B455.

Para el cálculo de la carga se tiene en cuenta la cantidad de materia prima que se tiene disponible y la capacidad del horno que es de 1100kg aproximadamente.

La base de cálculo que se toma es de 1000kg, dejando 100kg para el reajuste posterior de la aleación que se realiza luego del análisis, solo si es necesario.

La materia prima que entra al horno es:

- Recorte Coperco 350Kg
- Viruta Coperco 10Kg
- Recorte Calle 350Kg
- Viruta Calle 250Kg

El total de carga es 960Kg, sobre este peso se calcula el porcentaje de Plomo así:

$$960 * 0,02 = 19,2 \text{ Kg Pb}$$

Para completar la tonelada de material, se agrega la diferencia en Zinc:

$$1000\text{Kg Total} - 960\text{kg Carga} - 19,2\text{Kg Pb} = 20,8 \text{ Kg Zn}$$

El zinc proviene en mayor cantidad de la materia prima y se agrega la cantidad anterior para compensar pérdidas.

Para el reajuste de la aleación, se debe tener en cuenta el porcentaje de Cu obtenido en el análisis y se aplica la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\text{Carga total}(a - 0.587)}{0.587}$$

Donde:

x = Cantidad de zinc necesaria

a = Porcentaje de Cu obtenido en el análisis

3.4.2. Fusión

La materia prima es cargada en el horno (figura 5). Empezando por una capa de viruta y fundente, seguido de recorte de calle (chatarra). Cuando el material esta fundido se adiciona una siguiente carga de viruta y recorte, las veces que sea necesario hasta terminar la carga completa. El plomo se añade al final y se deja fundir el material en su totalidad.

Figura 5. Cargada del horno basculante



Fuente: Autora

3.4.3. Escorado y toma de muestra

El material fundido es escorado con ayuda de una cuchara, retirando la escoria presente, en una capa gruesa de la superficie como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Escorado



Fuente: Autora

El zinc se agrega seguidamente, homogenizando completamente el caldo y se saca una pequeña muestra (figura 7), que es llevada para análisis químico para determinación de la cantidad de cobre.

Figura 7. Muestra de laboratorio



Fuente: Autora

Teniendo el resultado de laboratorio, se realiza el ajuste de la aleación añadiendo la cantidad de zinc necesaria y homogenizar la aleación.

3.4.4. Colada de material

El material es vaciado en una callana y se vierte en las tocheras dispuestas, dependiendo de las medidas de barras que sean requeridas.

Luego de llenar cada tochera, se escorea en la parte de arriba para seguidamente llenar la tochera en su totalidad (figura 8).

Figura 8. Colada de material



Fuente: Autora

3.4.5. Destochado de material

Al solidificar, el material es llevado a la máquina de destochado (figura 9) por medio de un montacarga.

Las tocheras son ubicadas verticalmente en los canales y se acciona la palanca de la máquina para empujar el material hasta que se expulsa completamente.

Finalmente se pesan los tochos obtenidos para determinar el porcentaje de merma obtenido.

Figura 9. Destochado del material



Fuente: Autora

Luego del proceso de fundición, este material es llevado para ser cortado en tochos de diferentes medidas (depende la medida de la barra a obtener).

3.4.6. Extrusión

La extrusión en caliente se debe hacer a temperaturas elevadas para evadir el trabajo forzado y a su vez, hacer más fácil la fluidez del material. Por ello, los tochos son calentados a una temperatura de 800°C aproximadamente.

Se lleva el metal a una cámara de presión, que es forzado mediante un embolo que sale a través de una matriz de acero con forma especial, permitiendo que el material fluya como una barra continua (figura 10).

El producto es llevado a una máquina de despunte y luego se realiza un decapado con ácido sulfúrico para eliminar escorias presentes en la superficie.

Figura 10. Extrusión



Fuente: Autora

3.4.7. Trefilación

Por último, el material es llevado a la sección de trefilado, donde se conforma plásticamente con tensiones de tracción, haciéndolo pasar a través de un orificio calibrado en forma continua, con lo que se busca su alargamiento. Se trabaja generalmente en frío, aumentando la resistencia, la dureza, y el grado de acabado superficial (menores tolerancias).

Al finalizar el proceso de trefilación, el material es llevado a la máquina enderezadora y se cortan las puntas y las colas para dar un último acabado.

3.4.8. Producto terminado

Las barras obtenidas presentan diferentes medidas y pueden ser redondas, hexagonales o cuadradas.

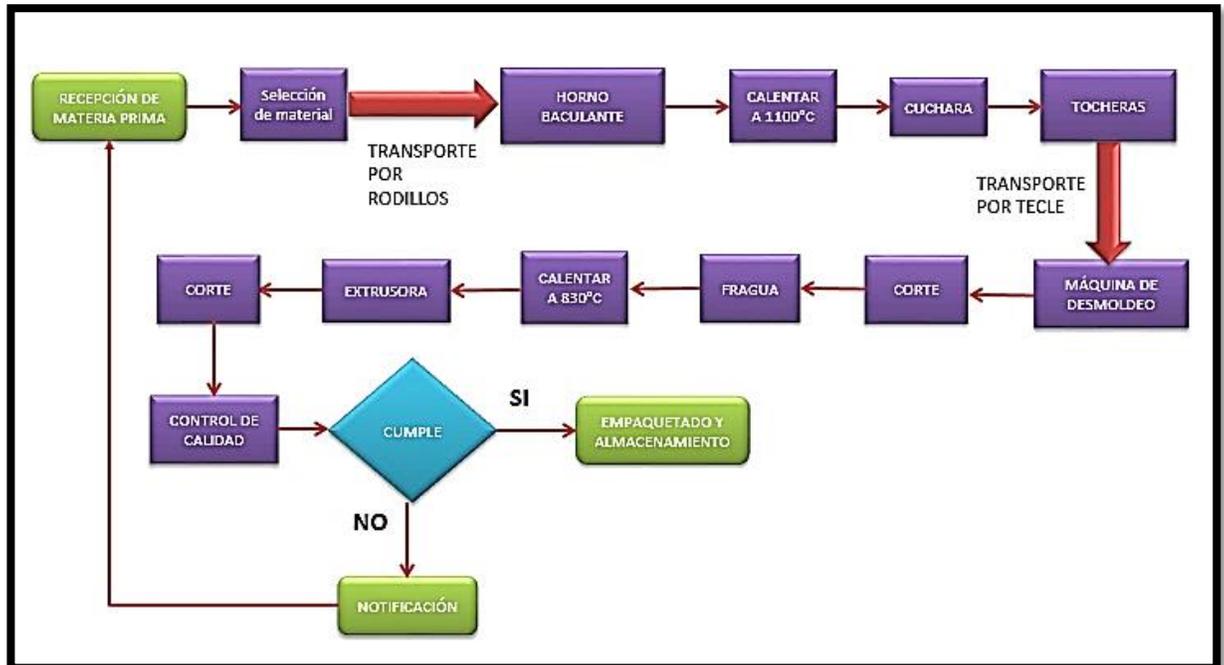
Antes de almacenar el producto, se realiza una inspección de calidad, donde se revisan medidas y la superficie del material, para luego ser pesado y almacenado.

Figura 11. Barras de latón



Fuente: Autora

Figura 12. Flujograma del proceso de obtención de barras de latón por fundición, extrusión y trefilado.



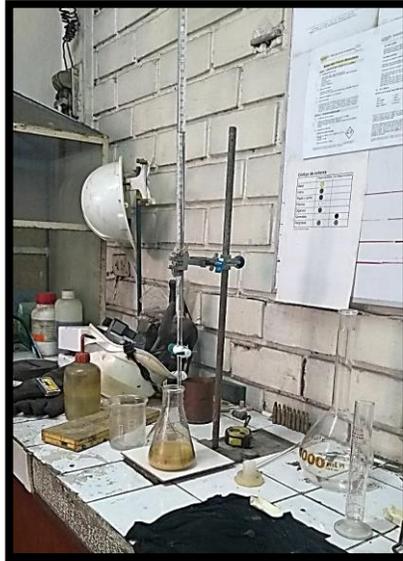
Fuente: Autora

3.4.9. Análisis Químico

Luego de añadir el zinc y homogenizar la colada, se toma una muestra como se mencionó anteriormente y se procede a analizar así:

- Enfriar la muestra y esmerilar, hasta obtener la superficie plana.
- Preparar la muestra y pesar 0.25g, llevándolos a un matraz.
- Añadir 10ml de ácido nítrico diluido a 50:50 y calentar a fuego lento hasta disolver completamente la muestra.
- Dejar enfriar la muestra y añadir 50ml de agua destilada.
- Pesar 2g de yoduro de potasio, agregarlos al matraz y agitar (tomando color amarillo).
- Añadir 5ml de almidón, preparado por cada 200ml de agua destilada, 1g de almidón (obteniendo un color azul oscuro)
- Tarar la bureta con tiosulfato de cobre titular hasta observar el cambio de color (figura 13).
- Tomar el dato de la bureta y multiplicar por el factor. Este número obtenido será el porcentaje de cobre presente en la muestra.

Figura 13. Titulación



Fuente: Autora

3.5. PROPIEDADES DEL MATERIAL

3.5.1. Composición química

Las propiedades de las aleaciones dependen del tamaño, forma y distribución de sus fases o microconstituyentes y a su vez de su composición química. Al adicionar un elemento, así sea incluso menos de 1% puede modificar intensamente las propiedades de dicha aleación. Por ello, es importante controlar la composición del producto final, para tener un control adecuado de la calidad.

Se realizó un análisis a una muestra de una barra de 1" redonda, por espectrofotometría con un equipo (espectrofotómetro) que mide en función de la longitud de onda, la relación entre la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra y valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones.

Este material obtenido presentó una composición promedio de Cu 59.085%, Zn 38.732%, Pb 2.023% y el resto en otros elementos presentes como se muestra en la figura 14, siendo una aleación con una composición que se ajusta a la norma C38500.

Figura 14. Composición química del material

Zn	38.697	38.738	38.730	38.763
Pb	2.033	1.994	2.024	2.041
Sn	0.027	0.026	0.026	0.025
Mn	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Fe	0.071	0.071	0.071	0.072
Ni	0.005	0.004	0.005	0.004
Al	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cr	0.002	0.002	0.003	0.002
Si	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
As	0.005	<0.005	<0.005	0.005
Sb	0.053	0.044	0.045	0.053
Cu	59.105	59.110	59.093	59.033

Fuente: Autora

3.5.2. Dureza

La dureza rockwell se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar. Es sucede por la acción del penetrador bajo una carga estática como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Ensayo de dureza



Fuente: Autora

Se realizó un ensayo de dureza a una barra de latón trefilada, como se muestra en la figura anterior, obteniendo tres durezas: 66.5HRB, 67HRB y 67.5 HRB, para un promedio de dureza de 67HRB.

La dureza presentada se encuentra dentro de los parámetros establecidos según especificación, para ser trabajada posteriormente en mecanizado.

3.5.3. Medidas

En la siguiente figura se muestra una tabla con medidas y pesos de los diferentes tipos de barra que se fabrican en la empresa.

Figura 16. Medidas de barras

DIAMETRO		REDONDA	HEXAGONAL	CUADRADA
mm.	Pulg.	Kgs./ M.L.	Kgs./ M.L.	Kgs./ M.L.
0.794	1/32	0.0042	0.0046	0.0053
1.588	1/16	0.0168	0.0185	0.0214
2.381	3/32	0.0378	0.0417	0.0482
3.175	1/8	0.0672	0.0741	0.0857
3.696	5/32	0.1051	0.1159	0.1338
4.763	3/16	0.151	0.167	0.193
5.556	7/32	0.206	0.227	0.262
6.350	1/4	0.269	0.297	0.343
7.144	9/32	0.340	0.375	0.433
7.938	5/16	0.420	0.464	0.535
8.731	11/32	0.509	0.561	0.648
9.525	3/8	0.605	0.668	0.771
10.319	13/32	0.710	0.783	0.905
11.113	7/16	0.824	0.909	1.049
11.906	15/32	0.946	1.043	1.205
12.700	1/2	1.076	1.187	1.371
13.494	17/32	1.215	1.340	1.548
14.288	9/16	1.362	1.501	1.735
15.081	19/32	1.518	1.674	1.933
15.875	5/8	1.681	1.854	2.141
16.669	21/32	1.854	2.044	2.362
17.463	11/16	2.035	2.244	2.590
18.256	23/32	2.224	2.452	2.831
19.050	3/4	2.422	2.671	3.083
19.844	25/32	2.628	2.897	3.346
20.638	13/16	2.842	3.134	3.619
21.431	27/32	3.065	3.379	3.903
22.225	7/8	3.296	3.635	4.197
23.019	29/32	3.535	3.898	4.502
23.813	15/16	3.784	4.172	4.818
24.606	31/32	4.040	4.455	5.144
25.400	1	4.305	4.747	5.481
26.988	1-1/16	4.860	5.360	6.188
28.575	1-1/8	5.449	6.008	6.938
30.163	1-3/16	6.071	6.694	7.730
31.750	1-1/4	6.727	7.417	8.564
33.338	1-5/16	7.416	8.178	9.442
34.925	1-3/8	8.139	8.975	10.363
36.513	1-7/16	8.897	9.810	11.328
38.100	1-1/2	9.687	10.681	12.334
39.688	1-9/16	10.511	11.590	13.383
41.275	1-5/8	11.368	12.537	14.475
42.863	1-11/16	12.259	13.518	15.609
44.450	1-3/4	13.185	14.539	16.786
46.038	1-13/16	14.143	15.594	18.006
47.625	1-7/8	15.133	16.695	19.271
49.213	1-15/16	16.161	17.826	20.579
50.800	2	17.216	18.987	21.935

Fuente: Compañía Peruana de Metales COPERCO S.A.

4. RESULTADOS

Luego de conocer el proceso fundición completamente se observó, que las cargas de material en el horno varían dependiendo de la cantidad de material disponible en el momento, es decir; no se utiliza siempre la misma cantidad de viruta o de recorte de calle como muestra en la tabla 2. Por ello, se tomó cantidad de viruta y cantidad de recorte como las dos primeras variables que influyen en el porcentaje de merma.

Tabla 2. Variación de cantidades en dos semanas

N° Colada	Fecha	Recorte Coperco (kg)	Recorte Calle (kg)	Recorte Calle 70/30 (kg)	Viruta Coperco (kg)	Viruta Calle (kg)	Plomo (kg)	Zinc (kg)	Total Carga (kg)
1	10/04/18	249	368			326	5	14	962
2	11/04/18	298		368		240	6	94	1006
3	16/04/18	372	282		27	208	4,5	60	953,5
4	18/04/18	200	91	133	56	358	5	51	894
5	19/04/18	170	189			427	4,5	46	836,5

Fuente: Autora

En la fusión, es necesario controlar el tiempo y la temperatura en el horno, pues de estas variables depende que el material funda completamente y a su vez que el zinc no se oxide, causando pérdida del mismo.

Es importante resaltar que las 4 variables están relacionadas entre sí, pues de las cantidades de viruta y recorte depende la duración de cada colada y así mismo varía afectando la temperatura.

4.1. COLADA 1

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos de dos coladas con diferente porcentaje de merma, donde se observa la variación de las cantidades y porcentajes de viruta y recorte.

La colada 1 presentó un porcentaje de merma de 8.98%, siendo la de menor porcentaje de entre los datos obtenidos. En la tabla 3, se muestran las cargas realizadas para esta colada y sus porcentajes (tabla 4).

Tabla 3. Cantidades colada 1

FECHA	30/10/2018
MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
Recorte Coperco	324
Viruta Coperco	6
Recorte Calle	393,4
Viruta Calle	276,8
Plomo	19
Zinc	50,9
TOTAL	1070,1

Fuente: Autora

Tabla 4. Porcentajes colada 1

Recuperación (Kg)	974
%Merma	8,98046912
%Recorte	67,0404635
%Viruta	26,4274367

Fuente: Autora

En la tabla 5, se presenta una recopilación de datos tomados en un intervalo de tiempo de 5 minutos, la actividad realizada y su respectiva temperatura.

Tabla 5. Tiempos y temperatura colada 1

HORA	TEMPERATURA (°C)	ACTIVIDAD
9:50	0	Encendido
9:55	504	Precalentamiento
10:00	585	Precalentamiento
10:05	726	Carga Viruta y fundente
10:20	907	Carga Recorte
10:25	927	Carga Recorte
10:30	996,1	Carga Recorte
10:35	995,7	Carga Recorte
10:40	998	Carga Recorte
10:45	953,7	Carga Recorte
11:00	1050,2	Carga Viruta
11:05	984,5	Carga Viruta
11:10	913,3	Carga Viruta horno con apagado
11:15	885,3	Carga Viruta y Encendido
11:25	996,2	Carga Recorte
11:30	1050,1	Carga recorte
11:45	907,5	Carga Recorte
12:05	1056,8	Carga Recorte
12:20	856	Carga Recorte
12:40	968,4	Carga Recorte
12:50	1112,3	Carga Pb
13:20	1115,7	Carga Recorte
13:30	1038,3	Escoriado y carga de zinc con horno apagado
13:40	1014,9	Encendido y análisis químico
13:50	1034,3	Carga de Ajuste de Zinc y homogenización con horno apagado
13:55	1001,7	Colada de material

Fuente: Autora

4.2. COLADA 2

Esta colada presento un porcentaje de perdidas elevado como se muestra en la tabla 7.

Tabla 6. Cantidades colada 2

FECHA	19/12/2018
MATERIAL	CANTIDAD (Kg)
Recorte Coperco	337,5
Viruta Coperco	58,2
Recorte Calle	115,8
Viruta Calle	451
Plomo	17
Zinc	10,9
TOTAL	990,4

Fuente: Autora

Tabla 7. Porcentajes colada 2

Recuperación (Kg)	834
%Merma	15,7915994
%Recorte	45,7693861
%Viruta	51,4135703

Fuente: Autora

Los tiempos y temperatura del proceso de fundición de la colada 2, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Tiempos y temperatura colada 2

HORA	TEMPERATURA (°C)	ACTIVIDAD
9:45	0	Encendido
9:50	468,9	Precalentamiento
9:55	598,7	Precalentamiento
10:00	979,5	Carga recorte
10:05	696,6	Carga recorte
10:35	775,5	Carga Recorte
11:00	763,9	Carga viruta y recorte
11:15	403,9	Carga viruta y recorte, con horno apagado y homogenización
11:40	837,5	Carga viruta
11:45	990,3	Carga Viruta
11:50	992,6	Homogenización
11:55	969,3	Carga recorte y encendido
12:25	1113	Carga viruta con horno apagado y homogenización
12:30	998,4	Carga viruta
12:35	987,8	Carga viruta
12:40	977,4	Carga viruta
12:45	911,2	Carga viruta
12:50	477,4	Carga recorte
12:55	832,8	Encendido
13:15	957,3	Carga Recorte
13:20	1052	Carga viruta
13:25	931,3	Carga Recorte
13:30	911,8	Homogenización con horno apagado
13:35	892,3	Carga Pb y viruta
13:40	867,9	Carga viruta
13:45	846,3	Carga viruta y encendido
14:00	896,3	Escoriado con horno apagado
14:05	875,1	Carga de Zn y homogenización
14:10	831	Análisis químico
14:20	977,3	Encendido
14:30	1003	Homogenización, apagado y colada

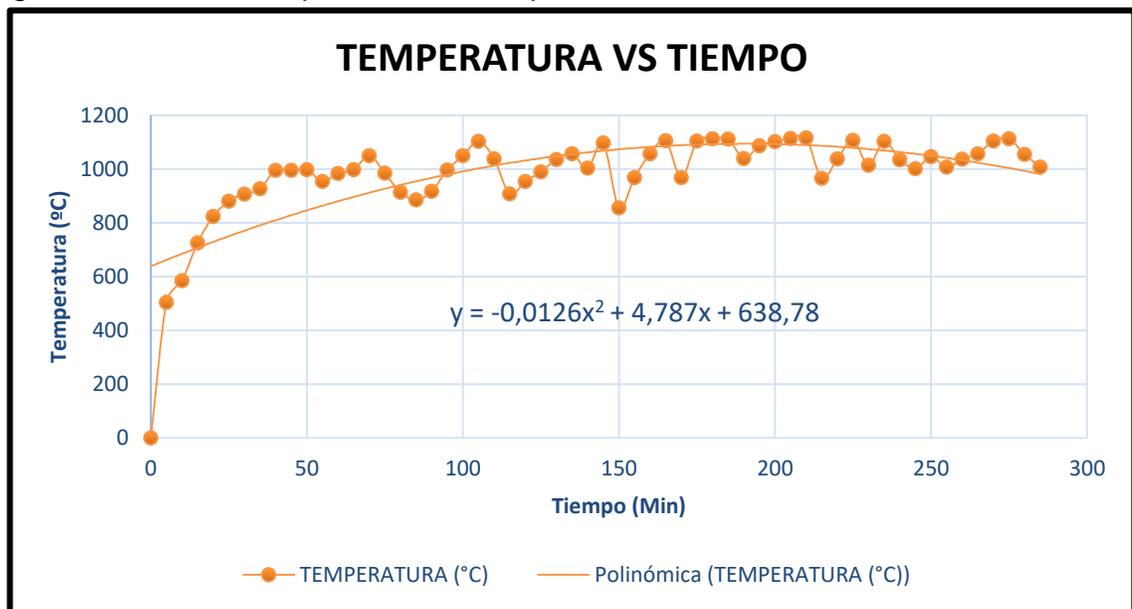
Fuente: Autora

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Durante el proceso de recopilación de datos, se obtuvieron resultados de 12 coladas con diferente porcentaje de merma. Donde se evidenció la variación de cantidades de viruta y recorte, así como también los tiempos y temperaturas.

Las tablas de resultados anteriormente mostrados, son graficados a continuación para realizar un análisis más detallado del comportamiento de las variables en las diferentes coladas.

Figura 17. Gráfica temperatura vs tiempo



Fuente: Autora

En la gráfica 17, se representa la curva de calentamiento del horno basculante con respecto al tiempo, empezando desde el punto cero hasta el momento de colar el metal. Observando que la temperatura máxima obtenida en el horno es de 1115,7°C.

Este gráfico corresponde a los datos de la colada 1 que, en comparación a las demás coladas, el comportamiento es el mismo; ajustándose a una tendencia de polinomio en segundo grado.

Algunos picos de la curva se presentan en caída, pues en esos puntos del proceso de fundición se presentó la carga de materia prima.

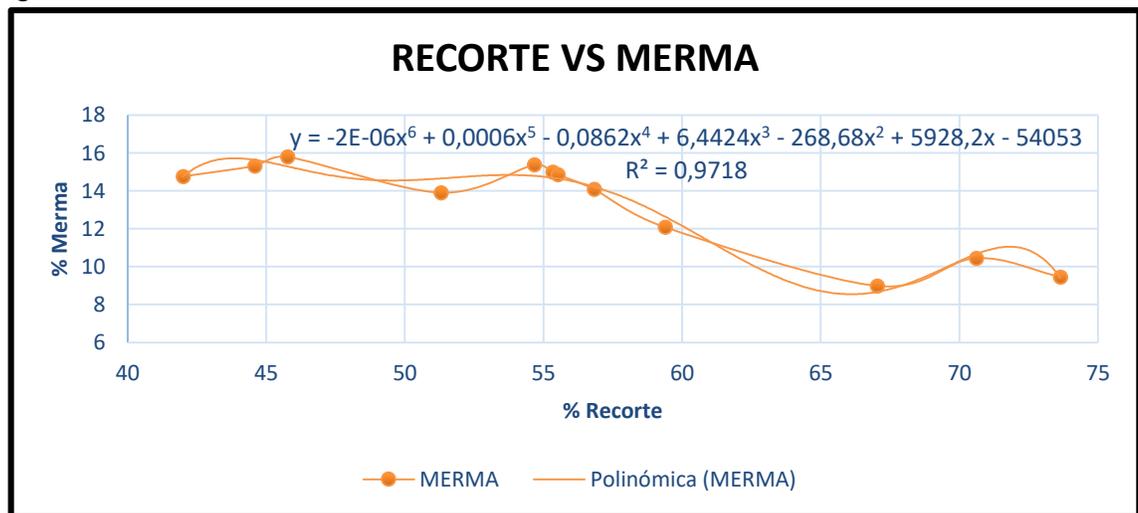
En la siguiente tabla se muestra un resumen del porcentaje de merma y recorte presentes en cada colada, donde los datos de porcentaje de recorte se encuentran organizados de menor a mayor para su posterior grafica (figura 18).

Tabla 9. Datos de recorte y merma

RECORTE	MERMA	COLADA
42,0050041	14,7647718	11
44,5828145	15,3175592	10
45,7693861	15,7915994	6
51,3051108	13,9065585	2
54,6694649	15,3725079	7
55,3326294	14,9947202	8
55,5243915	14,8552539	4
56,8239028	14,0855861	5
59,3882693	12,0833905	9
67,0404635	8,98046912	1
70,6061529	10,4477612	12
73,6469492	9,45505356	3

Fuente: Autora

Figura 18. Gráfica recorte vs merma



Fuente: Autora

Este grafico muestra una curva con tendencia polinómica en sexto grado, donde se relaciona el porcentaje de recorte con respecto al porcentaje de merma en diferentes coladas.

Se puede observar que el porcentaje de merma es inversamente proporcional al porcentaje de recorte, pues en el grafico la merma aumenta si disminuye el recorte.

La tabla 10 muestra a continuación los datos de porcentaje de viruta y merma para las 12 coladas, teniendo en cuenta que el porcentaje de viruta se encuentra organizado en forma creciente.

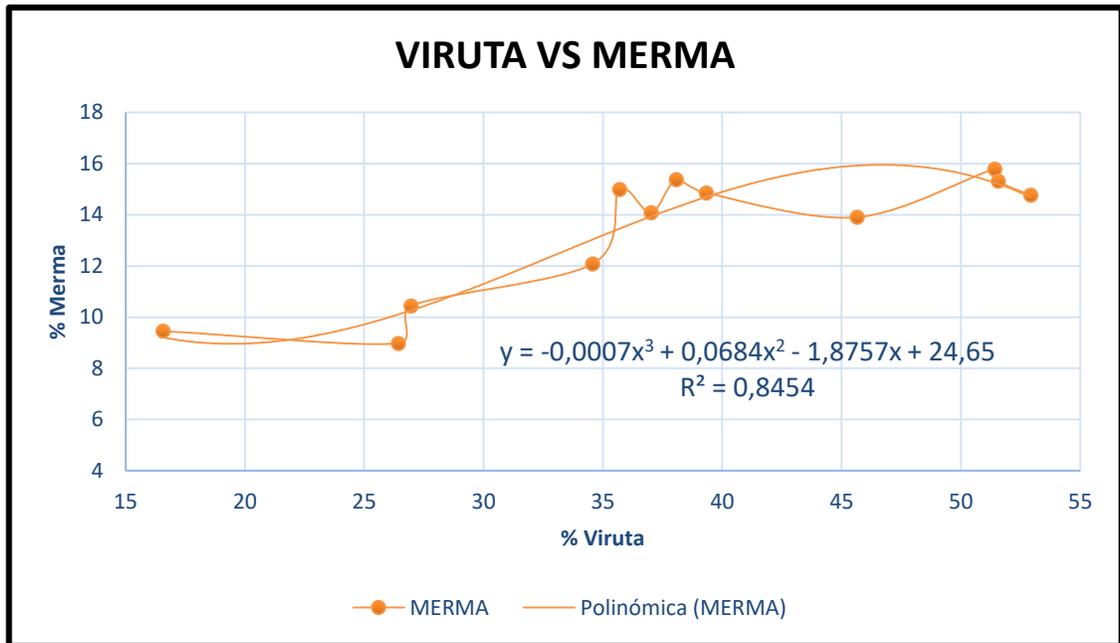
Tabla 10. Datos viruta y merma

VIRUTA	MERMA	COLADA
16,5626456	9,45505356	3
26,4274367	8,98046912	1
26,9570515	10,4477612	12
34,5631601	12,0833905	9
35,6916579	14,9947202	8
37,0143373	14,0855861	5
38,069255	15,3725079	7
39,3268557	14,8552539	4
45,645975	13,9065585	2
51,4135703	15,7915994	6
51,5566625	15,3175592	10
52,9263512	14,7647718	11

Fuente: Autora

Los datos anteriores se muestran en la figura 19, donde se presenta una gráfica de viruta contra merma.

Figura 19. Gráfica viruta vs merma



Fuente: Autora

En la figura 19, se observa una curva con tendencia cubica. En ella, se presentan los porcentajes de merma con relación al porcentaje de viruta, pues son directamente proporcionales.

El porcentaje de merma ideal para cualquier industria, no debe sobrepasar el 10%. Teniendo en cuenta este parámetro y según la ecuación de la curva se tiene que:

$$y = -0,0007x^3 + 0,0684x^2 - 1,8757x + 24,65$$

Reemplazando 10 en y:

$$10 = -0,0007x^3 + 0,0684x^2 - 1,8757x + 24,65$$

Resolviendo queda:

$$X1: 57,40332028$$

$$X2: 26,60957558$$

$$X3: 13,70138985$$

Teniendo como referencia la gráfica anterior, se toma el valor más cercano en intersección. Es decir, que la cantidad máxima de viruta permitida para no sobrepasar el 10% de merma es de 26,60957558%.

En la siguiente tabla se evidencian los porcentajes de viruta y el tiempo total de cada colada, organizados en forma creciente.

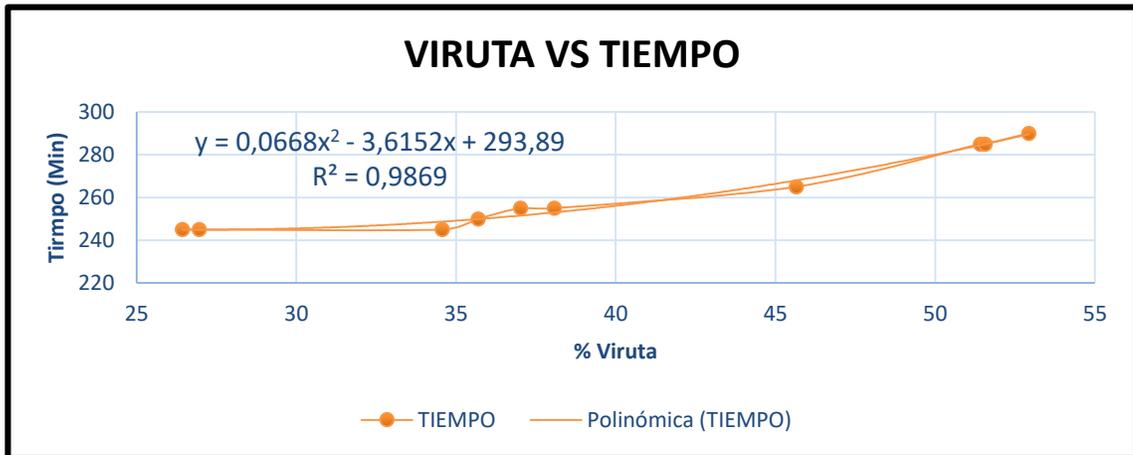
Tabla 11. Datos viruta y tiempo

VIRUTA	TIEMPO	COLADA
26,4274367	245	1
26,9570515	245	12
34,5631601	245	9
35,6916579	250	8
37,0143373	255	5
38,069255	255	7
45,645975	265	2
51,4135703	285	6
51,5566625	285	10
52,9263512	290	11

Fuente: Autora

La relación entre tiempo y porcentaje de viruta se representa en la figura 20, mostrando el porcentaje de viruta organizado de menor a mayor como se muestra en la tabla anterior. Donde las dos variables son directamente proporcionales, obteniendo una curva con tendencia cuadrática.

Figura 20. Gráfica viruta vs tiempo



Fuente: Autora

La ecuación que proporciona la gráfica, nos permite determinar la interpolación de cualquier punto que sea necesario conocer.

Reemplazando el porcentaje máximo de viruta que se puede utilizar para no sobrepasar el porcentaje de merma ideal se tiene:

$$y = 0,0668x^2 - 3,6152x + 293,89$$

$$y = 0,0668(26,60957558)^2 - 3,6152(26,60957558) + 293,89$$

$$y = 244,9901058$$

El valor de “y” nos indica el tiempo de duración de una colada con máximo 10% de merma.

Se realizó un análisis estadístico para los datos de temperatura y tiempo obtenidos en cada colada como se muestra la tabla 12, en donde se puede observar la temperatura máxima promedio y tiempo promedio para la colada 1 con merma baja.

Es importante resaltar que la temperatura mínima para todas las coladas es 0, pues aquí inicia el calentamiento del horno.

En algunas colas no se presentó moda, teniendo en cuenta que los datos son del calentamiento del horno y se presentan variados. De igual manera la desviación estándar es diferente en cada aleación y a su vez es elevada.

Tabla 12. Análisis estadístico de temperatura y tiempo

<i>TEMPERATURA (°C) 1</i>		<i>TIEMPO MIN 1</i>	
Media	977,527586	Media	142,5
Error típico	23,1636052	Error típico	11,0867789
Mediana	1007,65	Mediana	142,5
Moda	1038,3	Moda	#N/A
Desviación estándar	176,408762	Desviación estándar	84,4343927
Varianza de la muestra	31120,0512	Varianza de la muestra	7129,16667
Curtosis	16,887734	Curtosis	-1,2
Coficiente de asimetría	-	Coficiente de asimetría	0
Rango	3,61036177	Rango	0
Mínimo	1115,7	Mínimo	245
Máximo	1115,7	Máximo	245
Suma	56696,6	Suma	8265
Cuenta	58	Cuenta	58

Fuente: Autora

Realizando un promedio de la máxima temperatura entre todas las coladas, se obtiene una temperatura de 1114,625°C y un tiempo máximo promedio de 267,083 minutos totales para el proceso de fundición.

6. CONCLUSIONES

- El porcentaje de recorte en una colada está relacionado con el porcentaje de merma, pues al ser inversamente proporcionales, favorece el aprovechamiento de la materia prima.
- El porcentaje de merma depende claramente del porcentaje de viruta. Son dos variables directamente proporcionales, donde al aumentar la viruta aumenta la merma.
- Para no sobrepasar el 10% en merma establecido en parámetros industriales; el porcentaje de viruta no debe exceder el 26,610%.
- Cuando el porcentaje de viruta es alto se presenta un aumento en el tiempo de la colada en el proceso de fundición, y se puede observar en las tablas de tiempo contra porcentaje de viruta.
- El tiempo de una colada para que la merma no pase del 10%, no debería sobrepasar de 244,99 minutos como se muestra en graficas anteriores.
- Para obtener coladas de merma baja, la temperatura ideal debería estar cercana a 1115.7°C.
- El tiempo promedio para una colada de merma baja debería acercarse a los 142,5 minutos.
- La viruta como el material reciclado, contienen metales de bajo punto de fusión como el estaño; que al entrar en contacto con el calor funden rápidamente y son vaporizados u oxidados lo que aumenta considerablemente el porcentaje de merma.
- La viruta por estar en partículas de menor tamaño que el recorte, se encuentra más expuesta a la oxidación, ocasionando un aumento en la merma, pues estos óxidos salen a la escoria.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un manual de operaciones para el proceso de fundición y extrusión para diferentes tipos de materia prima.
- La carga del horno se realiza manualmente y no es secuencial, por ello se recomienda cargar de acuerdo a secuencias y tiempos establecidos en el manual de operaciones.
- La presente investigación se basó en la aleación especial para fabricación de barras, se recomienda tener en cuenta las demás aleaciones de cobre para futuras investigaciones.
- Después del proceso de conformado del material, se obtiene un porcentaje de recorte de planta entre 25% y 37%. Por este motivo se recomienda realizar una investigación con el motivo de disminuir este porcentaje y aumentar la producción.
- Cuando se utilizan grandes cantidades de viruta se recomienda compactarla y fundirla en lingotes en un proceso separado y posteriormente fundirlos con el recorte de planta para la aleación.
- Cuando ingresa la materia prima en viruta, posee grandes cantidades de taladrina (lubricante utilizado para mecanizado), es decir, que el material presenta humedad. Por ello, se recomienda controlar este factor.
- Se observó que cuando se utiliza recorte de planta en latas grandes, al introducirlo en el horno se deshace en el aire y vuelan partículas de material. Para que no se presente este fenómeno, se recomienda comprimir el material y disminuir la temperatura del horno.
- Se recomienda pesar el material nuevamente antes de llevarlo al horno para evitar pérdidas en el peso.
- Durante el proceso de fundición no se presenta un control de temperatura, por esto, se recomienda medir esta variable para evitar el aumento de merma.

- En el proceso se producen pérdidas de zinc, se recomienda realizar investigaciones futuras sobre este fenómeno.
- La materia prima se selecciona con ayuda de un imán con el fin de evitar material con hierro, pero no se tienen en cuenta los demás elementos. Es recomendable realizar un análisis más completo de la materia prima.
- Se recomienda evitar en lo posible adquirir recorte oxidado para prevenir aumento en la merma.

INFOGRAFÍA

Disponible en: <https://biblio.uptc.edu.co:2082/S1293255812002282/1-s2.0-S1293255812002282-main.pdf?>

Disponible en: <https://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=7f53f6c2-922b-454b-80b3-e93ad5f4bb02%40sessionmgr>

Disponible en: <https://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=7c5e6cab-7e2f-4726-be81-73eebd018fb5%40sessionmgr1>

Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/tilting-furnace-4879548712.html>

Disponible en: <http://www.reciclajesamarquez.es/tag/chatarra/page/2/>

Disponible en: <https://www.ivanbohman.com.ec/product-detail/bronce-dulce-laton-uns-c-38500-astm-b455/>

Disponible en: http://www.muellerindustriesipd.com/pdfs/MLT-261_C38500.pdf

BIBLIOGRAFÍA

AVNER, Sydney. Introducción a la metalurgia física. Ed. 2. 1988.

ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams, Volume 3. Pág. 780

BISWAS, A.K.; DA VENPORT, W.G. "El cobre: Metalurgia Extractiva". Ed Limusa S.A., México, Pág. 104-106.

Centro Español del Cobre, El Cobre y sus Aleaciones en la Tecnología, 23 págs.

HOLTZER M. y BYDAŁEK A. Evaluación de la nocividad de las escorias de los procesos de fundición de cobre. {En línea}. {Consultado 10 Diciembre 2018}. Disponible(<https://biblio.uptc.edu.co:2057/science/article/pii/S1006706X15300182>).

YAVUZ, Ahmet. Minimización de las pérdidas de Cu en la escoria de fundición mate mediante adición de colemanita. {En línea}. {Consultado 10 Diciembre 2018}. Disponible(<https://biblio.uptc.edu.co:2057/science/article/pii/S1293255812002282>)

SIWIEC G y OLEKSIK B. Estudio sobre la reducción de la escoria de cobre del horno flash con el uso de polvo de antracita. {En línea}. {Consultado 10 Diciembre 2018}. Disponible(<https://biblio.uptc.edu.co:2057/science/article/pii/S0959652617313781>).

ANEXOS

Anexo A. Análisis estadístico de temperatura

<i>TEMPERATURA (°C) 1</i>		<i>TEMPERATURA (°C) 2</i>	
Media	977.527586	Media	970.51
Error típico	23.1636052	Error típico	27.4960771
Mediana	1007.65	Mediana	1023.85
Moda	1038.3	Moda	1047.3
Desviación estándar	176.408762	Desviación estándar	194.426626
Varianza de la muestra	31120.0512	Varianza de la muestra	37801.7128
Curtosis	16.887734	Curtosis	12.5719154
	-		-
Coefficiente de asimetría	3.61036177	Coefficiente de asimetría	3.12233257
Rango	1115.7	Rango	1115.8
Mínimo	0	Mínimo	0
Máximo	1115.7	Máximo	1115.8
Suma	56696.6	Suma	48525.5
Cuenta	58	Cuenta	50

<i>TEMPERATURA (°C) 3</i>		<i>TEMPERATURA (°C) 4</i>	
Media	949.661538	Media	950.540984
Error típico	27.4317003	Error típico	25.1600552
Mediana	1005.05	Mediana	998.6
Moda	#N/A	Moda	1102.7
Desviación estándar	197.812804	Desviación estándar	196.506313
Varianza de la muestra	39129.9056	Varianza de la muestra	38614.7311
Curtosis	9.80657394	Curtosis	8.56698139
	-		-
Coefficiente de asimetría	2.65049086	Coefficiente de asimetría	2.47295004
Rango	1113.6	Rango	1116.3
Mínimo	0	Mínimo	0
Máximo	1113.6	Máximo	1116.3
Suma	49382.4	Suma	57983
Cuenta	52	Cuenta	61

TEMPERATURA (°C) 5

Media	877.509259
Error típico	27.6846724
Mediana	939.8
Moda	972.4
Desviación estándar	203.439963
Varianza de la muestra	41387.8186
Curtosis	5.24790844
	-
Coefficiente de asimetría	1.81604998
Rango	1114.9
Mínimo	0
Máximo	1114.9
Suma	47385.5
Cuenta	54

TEMPERATURA (°C) 6

Media	918.915517
Error típico	26.4040676
Mediana	973.3
Moda	#N/A
Desviación estándar	201.087388
Varianza de la muestra	40436.1375
Curtosis	7.45565395
	-
Coefficiente de asimetría	2.36860971
Rango	1113
Mínimo	0
Máximo	1113
Suma	53297.1
Cuenta	58

TEMPERATURA (°C) 7

Media	917.15517
Error típico	24.0676
Mediana	944.3
Moda	#N/A
Desviación estándar	202.7388
Varianza de la muestra	41476.1075
Curtosis	6.455395
Coefficiente de asimetría	-2.86091
Rango	1113.6
Mínimo	0
Máximo	1113.6
Suma	48654.6
Cuenta	52

TEMPERATURA (°C) 8

Media	870.5259
Error típico	28.66724
Mediana	940.8
Moda	962.4
Desviación estándar	201.439963
Varianza de la muestra	40557.8186
Curtosis	4.240844
Coefficiente de asimetría	-2.804998
Rango	1114.3
Mínimo	0
Máximo	1114.3
Suma	46375.5
Cuenta	53

TEMPERATURA (°C) 9

Media	951.5984
Error típico	24.6552
Mediana	988.6
Moda	#N/A
Desviación estándar	197.6313
Varianza de la muestra	37414.6311
Curtosis	7.598139
Coficiente de asimetría	-1.495004
Rango	1115.3
Mínimo	0
Máximo	1115.3
Suma	56883
Cuenta	60

TEMPERATURA (°C) 10

Media	943.50984
Error típico	26.00554
Mediana	988.4
Moda	1103.5
Desviación estándar	184.56312
Varianza de la muestra	36814.7519
Curtosis	5.598139
Coficiente de asimetría	-2.95004
Rango	1115.8
Mínimo	0
Máximo	1115.8
Suma	55973
Cuenta	59

TEMPERATURA (°C) 11

Media	961.6637338
Error típico	28.73477003
Mediana	1008.05
Moda	#N/A
Desviación estándar	198.8948804
Varianza de la muestra	38729.56
Curtosis	8.7437394
Coficiente de asimetría	-1.7484786
Rango	1114.1
Mínimo	0
Máximo	1114.1
Suma	48282.4
Cuenta	53

TEMPERATURA (°C) 12

Media	956.47338
Error típico	29.89277003
Mediana	1010.05
Moda	#N/A
Desviación estándar	197.913804
Varianza de la muestra	36799.6
Curtosis	6.37394
Coficiente de asimetría	-2.833786
Rango	1113.1
Mínimo	0
Máximo	1113.1
Suma	47882.1
Cuenta	54

Anexo B. Análisis estadístico de tiempo

<i>Tiempo 1</i>		<i>Tiempo 2</i>	
Media	142.5	Media	122.5
Error típico	11.0867789	Error típico	10.3077641
Mediana	142.5	Mediana	122.5
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	84.4343927	Desviación estándar	72.8868987
Varianza de la muestra	7129.16667	Varianza de la muestra	5312.5
Curtosis	-1.2	Curtosis	-1.2
Coefficiente de asimetría	0	Coefficiente de asimetría	-3.7763E-17
Rango	285	Rango	17
Mínimo	0	Mínimo	245
Máximo	285	Máximo	0
Suma	8265	Suma	245
Cuenta	58	Suma	6125
		Cuenta	50

<i>Tiempo 3</i>		<i>Tiempo 4</i>	
Media	127.5	Media	150
Error típico	10.5079335	Error típico	11.3651514
Mediana	127.5	Mediana	150
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	75.7737861	Desviación estándar	88.7646701
Varianza de la muestra	5741.66667	Varianza de la muestra	7879.16667
Curtosis	-1.2	Curtosis	-1.2
Coefficiente de asimetría	7.2447E-17	Coefficiente de asimetría	9.1829E-17
Rango	255	Rango	300
Mínimo	0	Mínimo	0
Máximo	255	Máximo	300
Suma	6630	Suma	9150
Cuenta	52	Cuenta	61

Tiempo 5

Media	132.5
Error típico	10.7043605
Mediana	132.5
Moda	#N/A
Desviación estándar	78.6606636
Varianza de la muestra	6187.5
Curtosis	-1.2
Coefficiente de asimetría	3.4805E-17
Rango	265
Mínimo	0
Máximo	265
Suma	7155
Cuenta	54

Tiempo 6

Media	142.5
Error típico	11.0867789
Mediana	142.5
Moda	#N/A
Desviación estándar	84.4343927
Varianza de la muestra	7129.16667
Curtosis	-1.2
Coefficiente de asimetría	0
Rango	285
Mínimo	0
Máximo	285
Suma	8265
Cuenta	58

Tiempo 7

Media	132.4
Error típico	12.2747749
Mediana	132.3
Moda	#N/A
Desviación estándar	82.857927
Varianza de la muestra	7229.74647
Curtosis	-1.4
Coefficiente de asimetría	0
Rango	255
Mínimo	0
Máximo	255
Suma	8145
Cuenta	56

Tiempo 8

Media	144.5
Error típico	11.742828
Mediana	142.5
Moda	#N/A
Desviación estándar	83.44727
Varianza de la muestra	7069.16747
Curtosis	-1.3
Coefficiente de asimetría	0
Rango	250
Mínimo	0
Máximo	250
Suma	8263
Cuenta	58

<i>Tiempo 9</i>	
Media	138.5
Error típico	11.5075
Mediana	123.5
Moda	#N/A
Desviación estándar	74.74848
Varianza de la muestra	5643.68477
Curtosis	-1.4
Coefficiente de asimetría	6.2747E-16
Rango	245
Mínimo	0
Máximo	245
Suma	6836
Cuenta	53

<i>Tiempo 10</i>	
Media	135.6
Error típico	10.84636
Mediana	124.4
Moda	#N/A
Desviación estándar	76.74646
Varianza de la muestra	5548.8474
Curtosis	-1.9
Coefficiente de asimetría	7.848E-17
Rango	285
Mínimo	0
Máximo	285
Suma	6848
Cuenta	52

<i>Tiempo 11</i>	
Media	142.5
Error típico	11.5585
Mediana	142.5
Moda	#N/A
Desviación estándar	77.744689
Varianza de la muestra	6177.5
Curtosis	-1.3
Coefficiente de asimetría	3.4774E-17
Rango	290
Mínimo	0
Máximo	290
Suma	7152
Cuenta	53

<i>Tiempo 12</i>	
Media	136.2
Error típico	10.9424798
Mediana	132.8
Moda	#N/A
Desviación estándar	76.74744
Varianza de la muestra	6086.1
Curtosis	-1.4
Coefficiente de asimetría	2.8375E-17
Rango	245
Mínimo	0
Máximo	245
Suma	7153
Cuenta	54