



Práctica Profesional Supervisada

REPRODUCCIÓN DE UNA MANIJA DE FRENOS DE ALUMINIO

Autores : **A**lberti Franco, **P**etitti Pablo

Profesor : Migliorino , Diego. Martin Cornes. Mojzis Mauro

Tutor UNAHUR : Claudio Vazquez

Carrera: Tecnicatura en Metalurgia Materia: ESIC 1

Cursada: 08 /2023

## ÍNDICE

### 1. INTRODUCCIÓN.

### 2. Lineamientos de Investigación.

- Tema de la Investigación.
- Problema de investigación.
- Pregunta de investigación.
- Objetivos
  - ❖ Objetivo general.
  - ❖ Objetivos específicos.
- Preguntas derivadas.
- Justificación.
- Hipótesis.

### 3. Marco teórico y Desarrollo.

- Descripción de la pieza.
- Aspectos generales en la fundición de aluminio.
- Ensayo de dureza.
- Ensayo de tracción.
- Metalografía.
- Proceso de cobreado.
- Espectrometría.

### 4. Conclusión.



## **INTRODUCCIÓN**

El proyecto está definido por dos áreas, una empírica y una teórica, establecido por acciones de concretar procesos metalúrgicos con prácticas de laboratorio y análisis teóricos guiados de conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera universitaria.

A continuación cada apartado del informe hará descripción de lo desarrollado para cumplir con los objetivos propuestos. Este informe está constituido desde un ambiente académico y direccionado para que el lector logre adquirir información propia de un proceso con trazabilidad.

### **Lineamientos de Investigación**

Tema de Investigación

Réplica de Manija de freno de motocicletas modelo Gilera Smash 110.

### **Problema de la investigación**

La falta de stock de modelos específicos de manijas de motocicletas y la demanda de modelos exclusivos, motiva nuestro proyecto.

### **Pregunta de Investigación**

¿Es posible reproducir esta pieza importada a través de un proceso de fundición?

¿Aplica para otro tipo de modelos?

¿Es posible utilizar como materia prima el aluminio reciclado?

## **Objetivo General**

Replicar una manija de freno de motocicletas a través de procesos de fundición y moldeo.

El enfoque principal del trabajo es realizar un análisis detallado de las propiedades mecánicas del material y examinar la microestructura obtenida. Aunque no se aborda un estudio del proceso de fundición, sí se proporcionan explicaciones generales sobre el horno empleado, el molde utilizado y el acabado final de la pieza.

## **Objetivos Específicos**

- Dominar procesos de trabajo.
- Utilizar materia prima de aluminio reciclado.
- Cumplir con las solicitudes mecánicas de la pieza.
- Caracterizar microestructuralmente las piezas.

## **Preguntas Derivadas del Problema**

- ¿Con qué recursos contamos para resolver el problema?
- ¿Cuáles son las limitaciones económicas y técnicas?
- ¿Qué escala del problema deseamos abordar?

## **Justificación del problema objeto de investigación**

Suplir la falta de productos en el mercado.

## **Hipótesis**

Es posible realizar una manija de motocicletas de aluminio reciclado mediante un proceso de fundición y acabado superficial, que cumpla con las solicitaciones mecánicas.





Fig 2. MANIJA DE FRENO DE GILERA SMASH 110 ORIGEN CHINA

Los frenos hidráulicos son una aplicación del principio de Pascal, ejercemos una carga con la mano, sobre una palanca que actúa en este caso sobre un primer émbolo pequeño, y el fluido transmite la carga y según la relación entre las secciones de los émbolos posteriores, la amplifica, cambia la dirección y el sentido de la fuerza aplicada, usando una manguera hidráulica flexible para el transporte.

La presión hidráulica comprime unas mordazas contra un disco, que gira paralelo al plano de la rueda, la fuerza ejercida con la mano es aplicada sobre la manija que responde al cálculo de un brazo de palanca de primer grado. En este caso, la misma está sobredimensionada para satisfacer las condiciones anatómicas de la mano en servicio.

La longitud del brazo de resistencia (BR) multiplicado por la fuerza resistente (FR) es igual a la longitud del brazo motriz (BM) multiplicado por la fuerza motriz (FM)

La siguiente resolución nos muestra una apreciación de valores significativos de cargas y magnitudes longitudinales de la manija desarrollada

$$BR * FR = BM * FM$$

$$2\text{cm} \times FR = 14\text{cm} \times 2\text{Kgf} \rightarrow FR = 14 \text{ Kgf}$$



Para aplicar la carga máxima, en posible caso de exigencia extrema, se requiere de una presión hidráulica de aproximadamente 200 lb sobre pulgada cuadrada o 14,06 kgf sobre centímetros cuadrados, estos resultados fueron obtenidos a través de ensayos experimentales donde al sistema hidráulico se le adosó un manómetro de agujas y se le ejerció la carga.



Las características del fluido hidráulico usado es del tipo DOT 3. Por resultados empíricos sobre este tipo de sistemas, la carga ejercida con la mano sobre la manija no supera 2,5 kgf en ningún

caso.

La figura anterior, expresa la presión hidráulica a la que está sometido el sistema cuando se acciona la manija.

Este tipo de palancas mecánicas son usadas en moto vehículos, tanto para el sistema de frenos hidráulicos como para el sistema de frenos a tambor, sobre la mano derecha del conductor.

Sobre la mano izquierda, acciona otra manija similar con iguales características técnicas para el accionamiento del sistema de embrague.

## ASPECTOS GENERALES EN LA FUNDICIÓN DE ALUMINIO

### MARCO TEÓRICO

La versatilidad del aluminio en múltiples aplicaciones nos brinda la oportunidad de diseñar una amplia gama de piezas. Su bajo punto de fusión de  $670^{\circ}\text{C}$  hace que sea una elección asequible para nuestro proyecto de fundición, facilitando el estudio y la mejora continua del material.

Iniciamos obteniendo chatarra de aluminio, principalmente proveniente de latas de bebidas. Esta selección se basa inicialmente en la facilidad para adquirirla y, además, en su nivel de homogeneidad. Además, se empleó chatarra procedente de piezas de motocicletas para complementar nuestra fuente de materia prima.

En el proceso de producción, se examinó minuciosamente las piezas fundidas de esta chatarra. Este enfoque se centra en garantizar la homogeneidad de la materia prima de aluminio.



Fig 3. Latas de bebidas. Chatarra utilizada

## DESARROLLO

La chatarra de aluminio se adquiere de chatarrerías y pasa por un proceso de selección y separación. Luego, se funde en un horno construido con materiales de construcción: yeso, cal, ladrillos refractarios y arena. El aluminio fundido se vierte en moldes diseñados por nosotros, hechos de una mezcla de arcilla de tipo “Tierra de Junín” y bentonita que ofrece propiedades refractarias ideales para la fundición.



Fig 4. Horno de fundición de materiales de construcción.

Se utilizó un crisol fabricado con acero al carbono, construido a partir de un tubo cilíndrico de 5 mm de grosor y 80 mm de diámetro.



Fig 5. Crisol utilizado

El combustible utilizado, carbón vegetal, posee un poder calorífico de aproximadamente 7000 a 8000 kcal/kg. Esta capacidad calorífica es suficiente para alcanzar la temperatura necesaria para fundir el aluminio, 670°C.



Fig 6. Caja de moldeo utilizada.





Fig 7. Caja de moldeo utilizada



Fig 8. Mazarota en el proceso de fundición.

Se han producido una variedad de piezas con modificaciones. Abarcando diferencias significativas en la composición química, la procedencia de la chatarra de aluminio y las modificaciones implementadas en el proceso de fundición. Estas variaciones incluyen ajustes en la aleación de aluminio utilizada, orígenes diversos de la chatarra, así como modificaciones en las condiciones de fundición, tales como cambios en la temperatura o la velocidad de enfriamiento.

Se busca identificar la pieza más adecuada para cumplir con los objetivos del proyecto a partir de esta amplia gama de piezas. En ese sentido, se llevará a cabo un estudio metalográfico detallado de las muestras, seguido por una serie de ensayos mecánicos. Este análisis exhaustivo permitirá determinar cuál de estas variantes posee las propiedades óptimas requeridas para cumplir con los criterios establecidos en el proyecto.

Hemos desarrollado tres piezas diferentes, para poder aplicar modificaciones en cada una de ellas, y poder seleccionar el mejor material.

Una de ellas, ha sido producto de la fundición de aluminio proveniente sólo de la chatarra de latas de bebidas. La segunda de las piezas, ha sido producida a partir de una mezcla de chatarra de latas de bebidas y piezas de chatarra procedente de piezas de motocicletas. La última de las piezas, ha sido una aleación de aluminio-cobre. Hemos utilizado latas de bebidas como fuente de aluminio, y cables eléctricos como fuente de cobre. Los cables eléctricos son excelentes fuentes de cobre, y en este proyecto, se utilizaron como aleantes. Se seleccionó la aleación aluminio-cobre debido a sus conocidas propiedades, superiores al aluminio sin alear.

## ENSAYO DE DUREZA

### MARCO TEÓRICO

La dureza de un material, es la resistencia que este opone ser penetrado o rayado por otro cuerpo, el cual, no sufre deformaciones residuales.

Un ensayo de dureza nos ofrece información crucial sobre la resistencia del material a la abrasión, su capacidad para soportar cargas y su durabilidad en diversas condiciones. Además, la dureza puede ser un indicador de otras propiedades, como la resistencia mecánica, y ayuda a evaluar la idoneidad de un material para ciertas aplicaciones específicas. Por este motivo, hemos decidido realizar un ensayo de dureza para describir las propiedades mecánicas de nuestros materiales. También, realizaremos ensayos de dureza en los materiales utilizados para desarrollar las manijas de las motocicletas, que ya se encuentran en el mercado. De esta forma, tendremos un primer criterio de comparación entre nuestras piezas, y las ya existentes en el mercado.

### DESARROLLO

Hemos decidido realizar un ensayo de dureza Brinell por su campo de aplicación para determinar de forma rápida, fácil y a bajo costo, las propiedades mecánicas de un material. Este ensayo resulta especialmente idóneo para evaluar materiales de baja dureza, como aquellos con los que estamos trabajando.

El método de dureza Brinell relaciona la carga aplicada a un penetrador esférico, con la superficie de la impronta producida. Sus variables son, el diámetro, el tiempo y la carga aplicada. Se aplica una carga mediante una bolilla de acero de un determinado diámetro por cierto tiempo, y se observa la deformación que este causa. La norma ASTM E10, indica la siguiente nomenclatura para la caracterización de las condiciones de ensayo:

HB (material de la bolilla que realiza la impronta)/diámetro de la bolilla/carga aplicada en kgf/tiempo de aplicación de la carga en segundos.

En nuestro caso, hemos utilizado una bolilla de acero de 5 mm de diámetro, una carga aplicada de 100 kgf durante 30 segundos.

HBs/5/100/30.

Se han ensayado dos piezas de mercado, una de primera marca y otra genérica. Además, se ensayaron las tres piezas realizadas por nosotros.

Antes de realizar los ensayos, se prepararon las probetas mediante un pulido superficial, a fin de que la superficie no presente rugosidad que pueda alterar los valores del ensayo.

$$\text{Carga} / \text{Diámetro de bolilla}^2 = C \text{ (Constante de ensayo)}$$

La norma IRAM 104 indica un valor de 5 para el aluminio. En nuestro caso, se procedió a realizar el ensayo con un valor de  $C = 4$ , aproximando lo más posible al indicado por la norma. Los resultados de nuestros ensayos caen dentro de los estándares para el aluminio y sus aleaciones. Además, pueden realizarse comparaciones entre las probetas a ensayar, ya que, se utilizan los mismos parámetros.

Hemos registrado los siguientes números Brinell para las piezas ensayadas y graficado esta información, representando en ordenadas el número Brinell, y en abscisas, el número de ensayos realizados.



HB

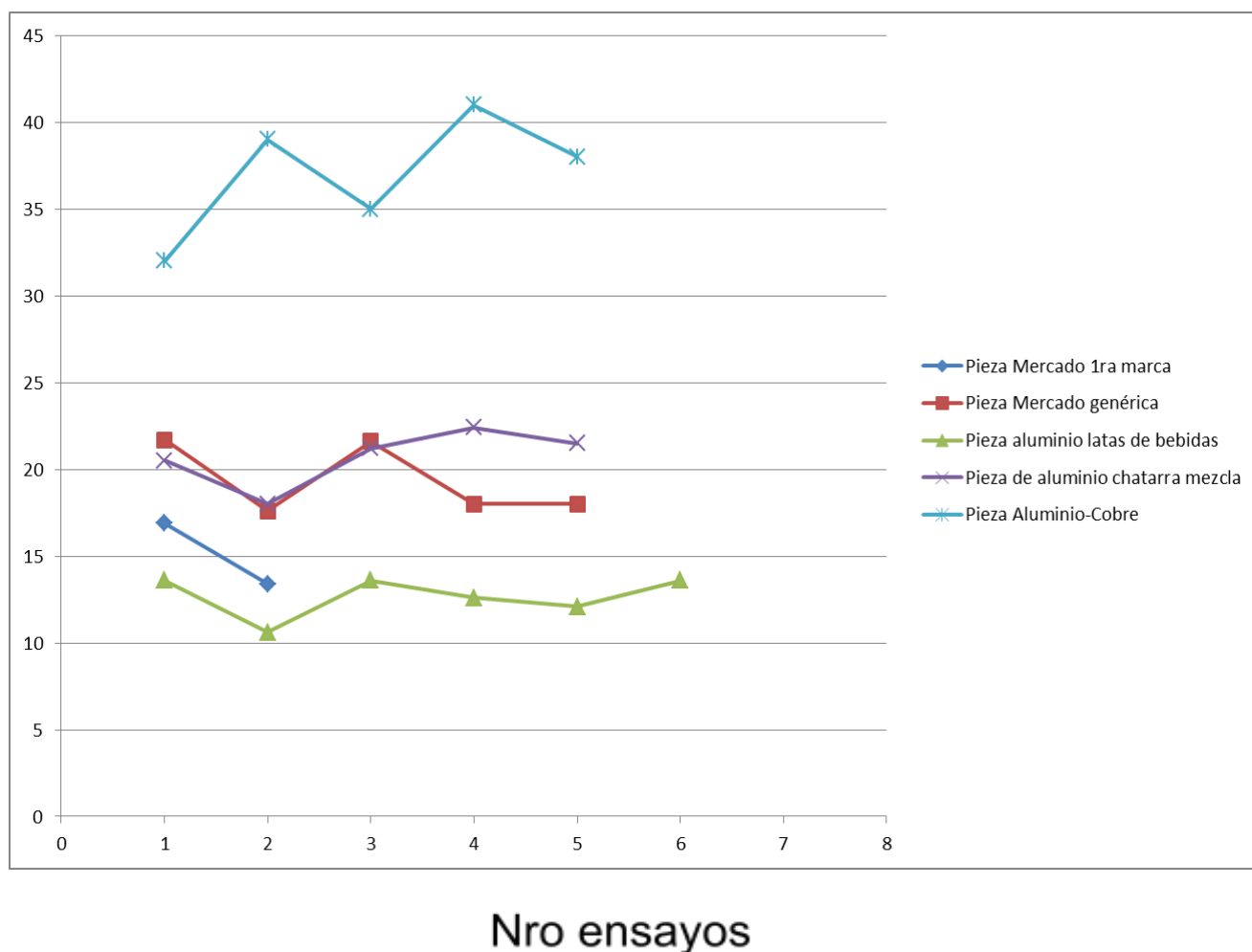


Fig 9. Diagrama de dureza Brinell.

Puede observarse una cierta paridad entre los valores de dureza Brinell, a excepción de la aleación aluminio-cobre, que presenta una clara superioridad. Dado que se han utilizado los mismos parámetros de ensayo, y se ha realizado un número de ensayos significativos, podemos concluir que la aleación aluminio-cobre presenta, con seguridad, mayor dureza.

## ENSAYO DE TRACCIÓN

### MARCO TEÓRICO

Luego de haber realizado un ensayo de dureza, procedimos a realizar un ensayo de tracción.

Un ensayo de tracción caracterizará el comportamiento mecánico del material, su resistencia y deformabilidad. Así, obtendremos el límite de elasticidad, carga máxima y deformaciones, que definirán una zona elástica y plástica. Esta información, nos permitirá conocer en detalle las propiedades mecánicas de nuestro material.

Decimos que un cuerpo se encuentra sometido a un esfuerzo de tracción, cuando sobre sus secciones transversales se aplican cargas normales, uniformemente repartidas, de modo de producir alargamiento.

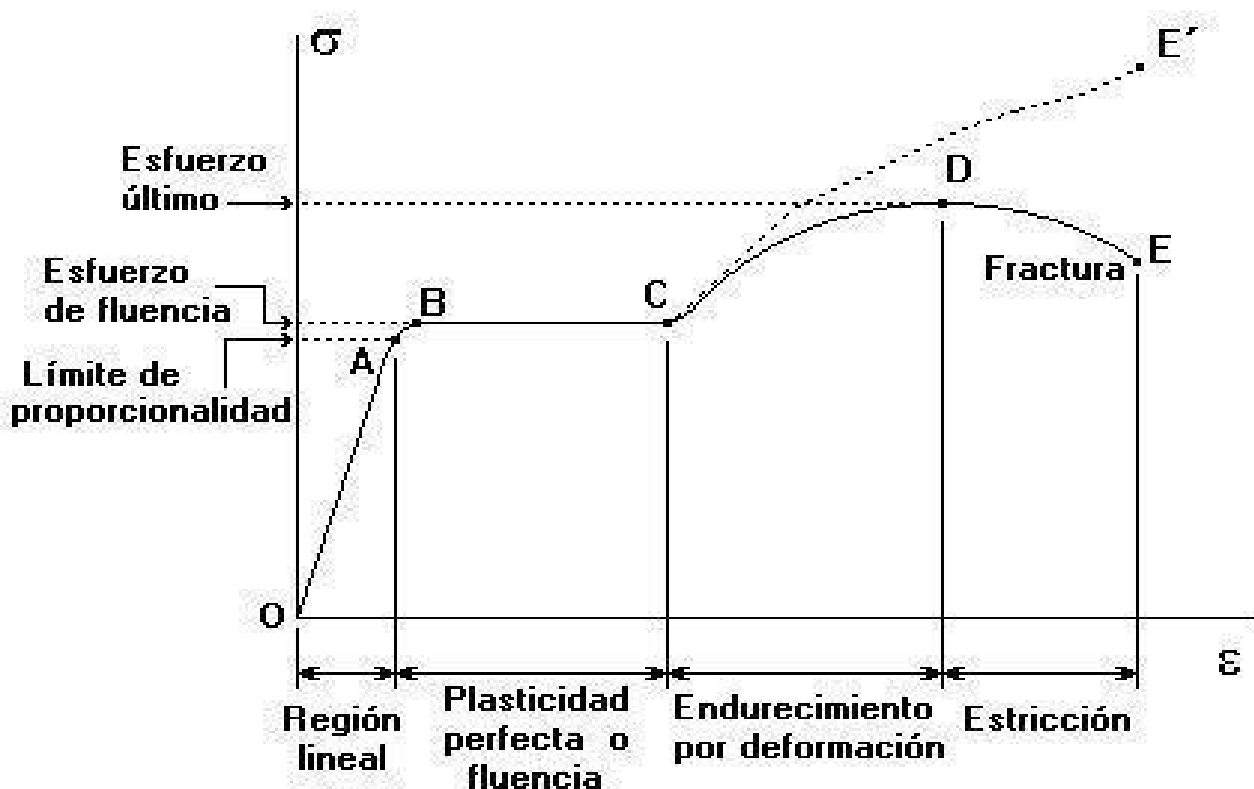


Fig 10. Diagrama esfuerzo-deformación.

El gráfico anterior, representa el gráfico de tensión o esfuerzo, en función de la deformación unitaria del material. Se observan dos zonas principales. En primer lugar, el periodo elástico que se caracteriza por el tramo desde O hasta B. En esta zona, el comportamiento del material es elástico, y obedece la ley de Hooke.

$$F = -K(\Delta l)$$

La fuerza es proporcional al desplazamiento, y el material, retomará la longitud inicial una vez que cese la aplicación de la carga. Alternativamente, puede representarse el mismo gráfico, aunque con la fuerza en ordenadas y el desplazamiento en abscisas. Un concepto importante es el módulo de Young, definido por:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo y  $\varepsilon$  la deformación. Este valor, indica la rigidez del material. Así, valores mayores del módulo de Young, indicarán mayor rigidez, puesto que, se precisará un mayor esfuerzo para producir cierta deformación.

El valor final en el tramo elástico, indicará el límite elástico aparente o límite de fluencia. También, tendremos el límite elástico convencional, que surgirá de trazar una paralela, tal que, se intersecta el eje de deformación, en el 0,2 %. Se lo denota  $\sigma_{0.2}$ .

En el tramo B-C, la zona es de fluencia. Si bien el gráfico anterior lo representa mediante una recta, por lo general, suele ser una zona donde el valor de esfuerzo no es constante, sino más bien, oscilante. La fluencia no es uniforme

en todo el material. Ocurre un acomodamiento de planos cristalinos y una propagación de las deformaciones localizadas, no homogéneas. Este fenómeno tiene alta dependencia con las impurezas en el material, ya que estas, bloquean el deslizamiento. También, se presenta el fenómeno de las bandas de Luders, que consiste en una serie de deformaciones en bandas, que son producto de las no homogéneas deformaciones en el material en fluencia.

Posteriormente, en el tramo C-D, tendremos el efecto de endurecimiento por deformación, que explica el comportamiento creciente del gráfico. Esto ocurre debido que al deformar la pieza, se introducen nuevas dislocaciones, y la densidad de dislocaciones aumenta, por lo cual, la interacción dislocación – dislocación dificulta el propio deslizamiento, endureciendo el material. Se alcanza el valor máximo de tensión, o tensión máxima. En la práctica, trabajamos con el valor del límite elástico, intentando siempre estar por debajo del valor de tensión máxima, en un factor de seguridad que dependerá, entre otras cosas, del riesgo de la actividad.

Finalmente, el tramo D-E, indica el inicio de la estricción del material. Hay una rápida disminución de la sección transversal, y la deformación se localiza en una zona particular, la zona de estricción. Los valores de tensión en función de la deformación unitaria, decrecen en este tramo. Sin embargo, un gráfico de tensión-deformación instantánea, se superpone en el gráfico enseñado, ya que la tensión en función de la deformación en la zona de estricción, aumenta, debido a que el esfuerzo se concentra allí, y la tensión en esa sección supera la deformación producida. Finalmente se produce la rotura.

## **DESARROLLO**

Se realizó un ensayo de tracción bajo la norma ASTM E8, que indica las condiciones de realización del ensayo; velocidad de deformación, forma y dimensiones de la pieza a ensayar. Nuestra probeta de tracción, tiene una

longitud en la zona de sección constante,  $L_0$ , de 80 mm. Espesor de 3 mm y una sección transversal de 12 mm.

Se realizó una probeta de tracción, a partir de un modelo de probeta, con medidas sobredimensionadas, para luego ajustar a las dimensiones solicitadas por la norma. Este ensayo, se ha realizado en el material producto de la chatarra de aluminio de latas de bebidas. Solo se ha logrado ensayar una probeta, principalmente, por la dificultad de ajustar las probetas a las dimensiones requeridas.



Fig 11. Pieza fundida antes de mecanizar

Si bien la probeta de tracción ha sido producto de una pieza fundida con molde de arena, y no se ha extraído de la misma colada utilizada en la manija de frenos, nos sirve para conocer las propiedades de nuestro material sin alear, ya que, Los mismos parámetros de fundición se han empleado, incluyendo velocidades de enfriamiento, origen de la chatarra y temperatura del material fundido desde el horno hacia el molde.



Fig 12. Probeta de tracción.



Fig 13. Ensayo de tracción

30/9/2023

ASTM E8-11 - Standard test method for tension testing of metallic materials.



Resultados

	Specimen label	Modulus (E-modulus) [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Tensile stress at Yield (Offset 0.2 %) [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Tensile Strength [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Elongation [%]	Width [mm]	Thickness [mm]	Comment
1	PRUEBA	1420,857	38,557	50,751	33,669	12,500	2,700	
Media		1420,857	38,557	50,751	33,669	12,500	2,700	
SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	

Fig 14. Curva de Tensión - Deformación y tabla de valores del ensayo de tracción.

De este informe, puede obtenerse el módulo de elasticidad, la deformación máxima conseguida, límite elástico convencional y tensión máxima. Se evidencia la poca deformación experimentada antes de la rotura y la nula estricción del material, lo cual indica un tipo de fractura frágil.



## **METALOGRAFÍA**

En la siguiente sección, se realizará un análisis de la microestructura de todos los materiales desarrollados, así como de los materiales utilizados en las piezas actualmente en el mercado. El propósito principal es caracterizar metalográficamente los materiales desarrollados y establecer un nuevo estándar de comparación con las piezas comerciales existentes.

Este análisis permitirá una comparación más detallada y una comprensión más profunda de las capacidades y limitaciones de nuestros materiales en comparación con los existentes en el mercado.

Posteriormente, se extenderá este análisis con un estudio más profundo de la aleación aluminio-cobre, debido a sus propiedades mecánicas superiores. Se describirá un tratamiento térmico potencial para esta aleación con el objetivo de mejorar aún más sus propiedades, en vista de la posible aplicación en otros productos que requieran solicitaciones más exigentes.

Consideramos que es necesario, en primer lugar, realizar un repaso teórico sobre los conceptos que se aplicarán al análisis de las microestructuras. Se relaciona cada concepto, luego de presentado, con distintas fotomicrografías tomadas a lo largo de nuestro proyecto.

## MARCO TEÓRICO

### Solidificación de aleaciones

A continuación, se discutirá brevemente sobre la solidificación en aleaciones, y cómo esta se relaciona con la microestructura de nuestros materiales.

Una vez iniciada la transformación de fase en una aleación, tendremos todo un rango de temperatura de solidificación. La chatarra de aluminio utilizada como materia prima en nuestro proyecto, contiene Silicio como aleante en mayor proporción. Por lo tanto, es oportuno ejemplificar el concepto de solidificación de aleaciones, con nuestro caso en particular.

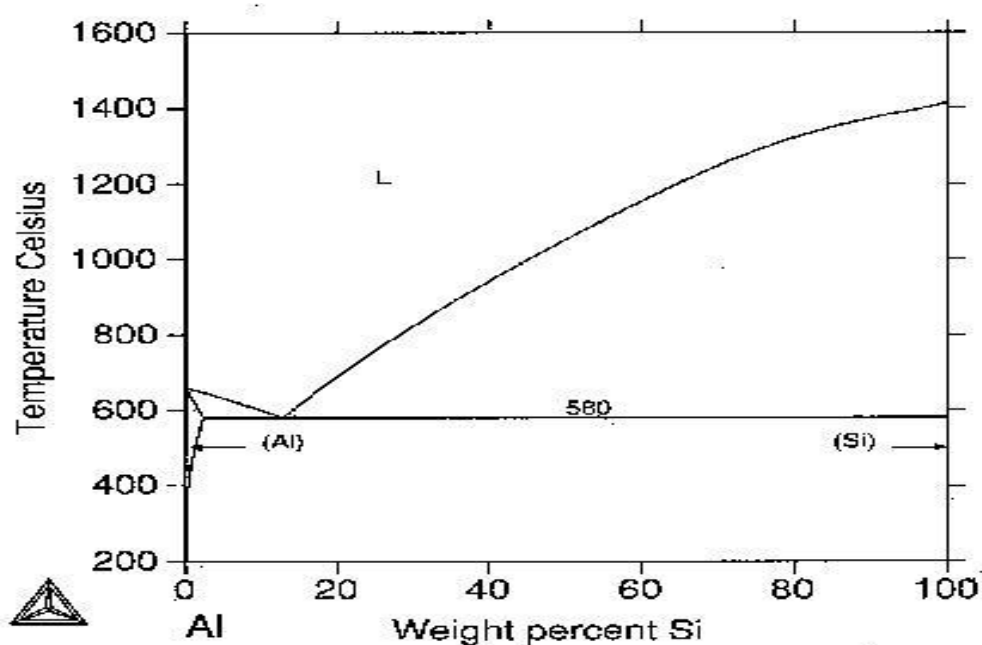


Fig 15. Diagrama Al-Si

## Compuestos intermetálicos

Las fases cuyas composiciones químicas son intermedias entre componentes puros, y cuyas estructuras cristalinas son diferentes de aquellos, reciben el nombre de fases intermedias.

Cuando los componentes del sistema son metálicos, esta fase intermedia es a menudo llamada compuesto intermetálico.

## Generalidades sobre Microestructuras eutécticas.

Cuando una aleación de composición eutéctica es enfriada desde el estado líquido, la reacción eutéctica ocurre a la temperatura eutéctica, donde las dos curvas liquidus se encuentran. A esta temperatura, ambas fases sólidas  $\alpha$  y  $\beta$  deben depositarse en el núcleo del grano hasta que todo el líquido sea convertido a sólido.

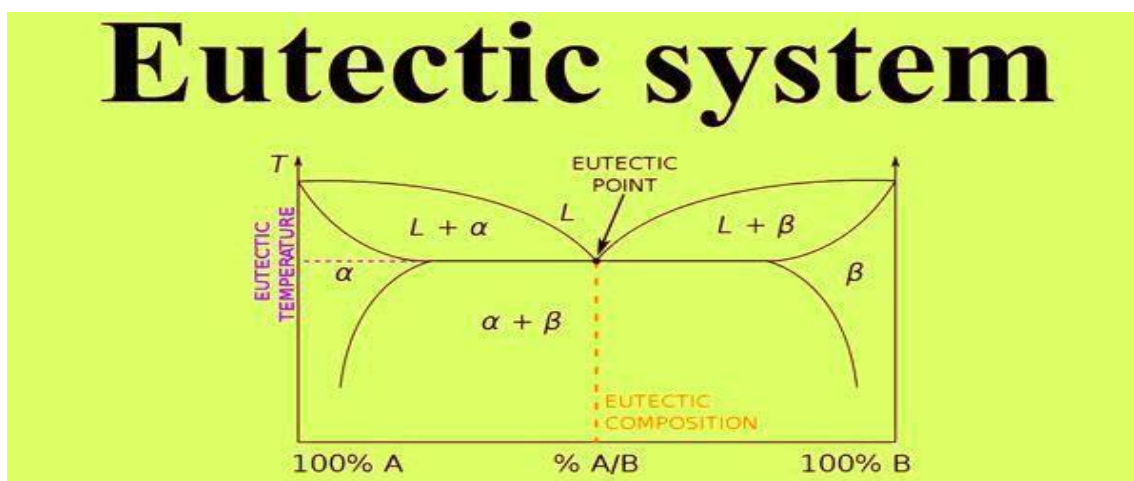


Fig 16. Sistema eutéctico

Esta deposición simultánea da como resultado microestructuras formadas por partículas de formas distintivas de una fase en una matriz de la otra fase, o capas alternas de las dos fases. El enfriamiento y la misma aleación pueden afectar la microestructura conseguida. Así, pueden observarse variaciones en la morfología de dos aleaciones eutécticas distintas.

## **DESARROLLO**

### **Preparación de muestras metalográficas**

Se ha realizado metalografía en las piezas fundidas y las piezas de mercado. El objetivo de esto, ha sido poder determinar la microestructura cualitativamente, esto es, las fases presentes, la morfología de las mismas, las cantidades relativas de una y otra, y a partir de allí, poder explicar los valores conseguidos de los ensayos de las propiedades mecánicas de las piezas.

Se realizaron las consecutivas fases de desbaste con paños abrasivos de menor espesor, posteriormente, tal y como la norma ASTM E 407 – 99 para aluminio puro y la mayoría de aleaciones de aluminio, se ha realizado un tratamiento de ataque químico para revelar la microestructura con HF (ácido fluorhídrico) 0,5%.

En el caso de la aleación realizada con el agregado de cobre, se encuadra dentro de las aleaciones de aluminio serie 2000, cuyo aleante principal es el cobre.

Para esta aleación, también se realizó un ataque con una solución acuosa de HF 0,5% v/v.

Se han tomado las siguientes fotografías sobre la microestructura de los materiales producidos:

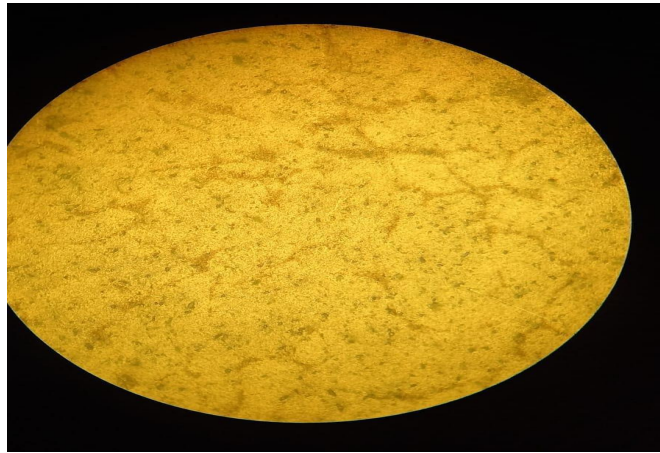


Fig 17. Microestructura de material producto de chatarra de aluminio de latas de bebidas.

Pudo obtenerse una aleación compuesta de una matriz clara que es rica en aluminio y placas grises de silicio. El silicio tiene una estructura cristalina de diamante y es consecuentemente, muy frágil. Las placas grandes de silicio son, por lo tanto, un detrimento para las propiedades mecánicas del material. Además, el silicio incrementa la fluidez del metal fundido, reduce el punto de fusión y reduce la contracción asociada con la solidificación del material. La morfología de la fase que contiene al silicio tiene una estructura columnar, ya que es producto de una transformación eutéctica.

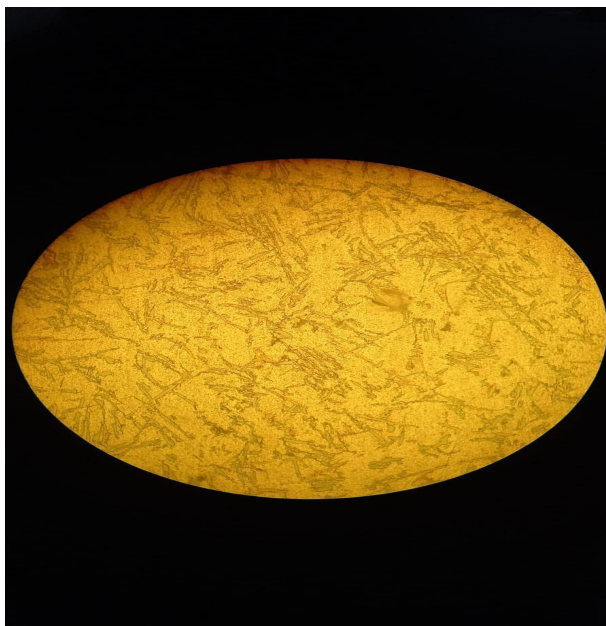


Fig 18. Microestructura de aleación de aluminio, con chatarra producto de motopartes. 400X

En la matriz más clara, no se observa uniformidad. El fenómeno de segregación, modifica la proporción de las fases presentes. Además, se observa una morfología columnar, que no es favorable a la tenacidad del material.

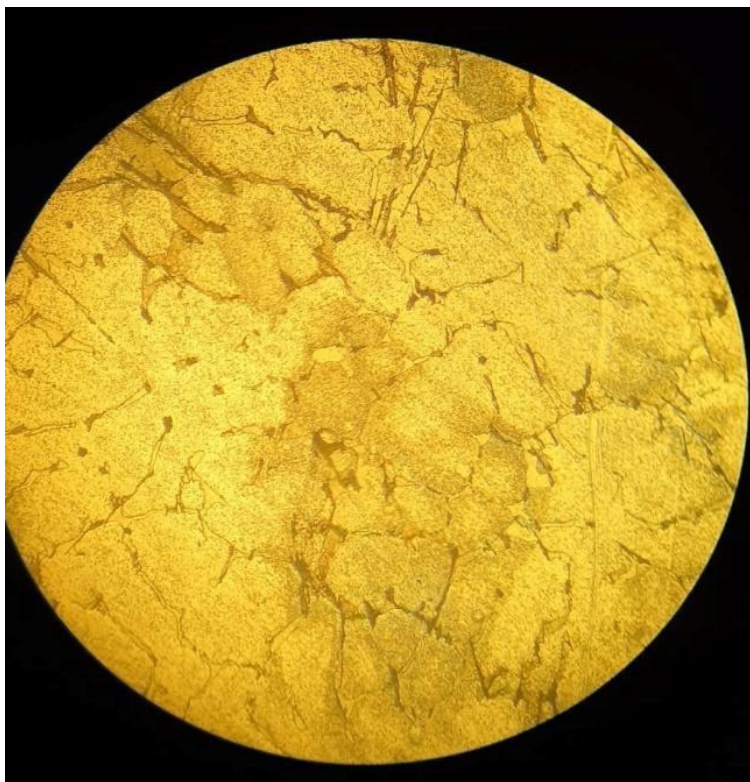


Fig 19. Fotomicrografía de aleación aluminio - cobre. 400X

Se observa ahora, una matriz clara de aluminio, con precipitados de cobre más oscuros. La figura muestra la microestructura de una aleación de Aluminio-Cobre. Para obtener esta aleación, se utilizó chatarra de aluminio, específicamente latas de bebidas de aluminio. Se determinó que el cobre necesario para la aleación podría ser extraído de cables reciclados, los cuales contenían principalmente cobre en su composición. De este modo, se ha conseguido una microestructura similar a las anteriores con las láminas de silicio sobre la matriz de aluminio, aunque ahora con precipitados de cobre. Por supuesto, ahora esta matriz no sólo contiene el aluminio y los aleantes de la aleación 3104 en solución, sino que también, contiene trazas de cobre en solución.



Fig 20. Microestructura de material de mercado. Calidad genérica. 500X

Se observa nuevamente una matriz clara de aluminio, aunque esta vez, también se observa el constituyente proeutéctico, en forma de idiomorphic particles (partículas con su propia forma característica) que reflejan la estructura cristalina de la fase.

### **Envejecimiento**

El envejecimiento es un tratamiento térmico que se realiza para endurecer un material. Se produce por una secuencia de transformaciones de fase, que conduce a una dispersión uniforme de precipitados coherentes, de tamaño fino en una matriz más blanda y dúctil.

Hay una serie de requisitos que deben cumplirse para esto. En primer lugar, la solubilidad del soluto debe decrecer con la temperatura. Debe también, formarse una matriz blanda y una fase dispersa dura. Debe la aleación poseer buena templabilidad. También, formar un precipitado coherente.



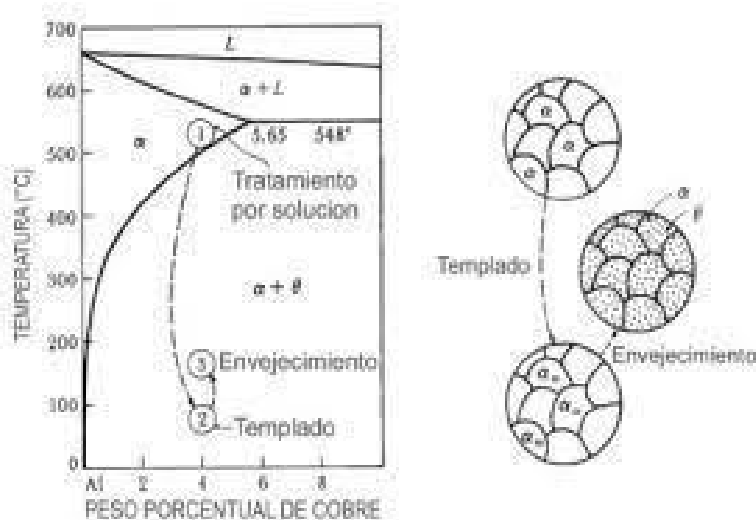


Fig 21. Tratamiento térmico de envejecido.

En primer lugar, se realiza un tratamiento térmico que solubiliza el sólido, por encima de la curva solvus. De esta forma, tendremos toda nuestra aleación, homogénea, y el aleante disuelto. Posteriormente, realizaremos un templado, un rápido enfriamiento que no permite la difusión. De esta manera, se consigue una solución sobresaturada, cuya composición está fuera del equilibrio. Finalmente, se eleva la temperatura por debajo de la curva solvus, para permitir la difusión desde la solución sobresaturada. El soluto en exceso precipita para formar el compuesto intermetálico, aunque ahora con una morfología distinta. Lo hace en forma de diminutas partículas esféricas que endurecen el material.

La aleación desarrollada de aluminio-cobre, es una excelente candidata para este tratamiento térmico, ya que, reúne las condiciones mencionadas. Si bien no hemos realizado este tratamiento térmico, podrían conseguirse mejores propiedades para una pieza que los requiera, con este material.

## PROCESO DE COBREADO

### MARCO TEÓRICO

El proceso de cobreado funciona del siguiente modo:

El sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) es soluble en agua. Dos electrodos, uno de cobre y el otro de una aleación de aluminio y cobre es sumergido en una solución acuosa que actúa como electrolito. Se conectan a una fuente de corriente continua, el cobre se deposita en el cátodo.

En una celda electrolítica, ocurre una reacción REDOX no espontánea. La energía proveniente de una fuente actúa como impulsora de electrones, desplazándolos desde el ánodo hacia el cátodo.

Dentro de la celda, para preservar la electroneutralidad, debe ocurrir un proceso que consuma electrones en el cátodo, y que los genere en el ánodo, este proceso es una reacción REDOX:

En el cátodo tendrá lugar la reducción de un ion, al aceptar este, los electrones emitidos desde el ánodo. Los iones positivos (cationes), se dirigirán al polo negativo llamado Cátodo.

En el ánodo se generan electrones debido a la oxidación del metal, en este caso cobre. Los electrones son enviados al otro electrodo por la batería. El ánodo pierde por tanto, su carga negativa, y por esa razón es polo positivo.



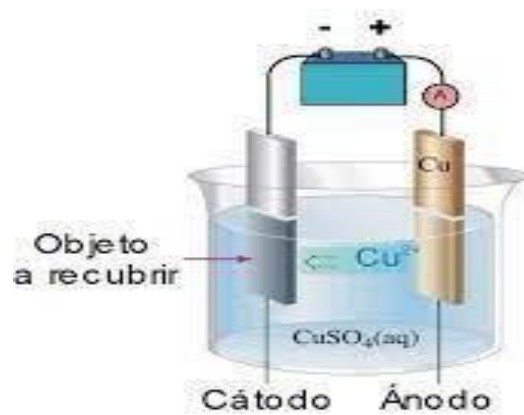


Fig 22. Ilustración de celda electrolítica utilizada

## DESARROLLO

Este proceso se realizó, debido a la necesidad de conseguir un acabado superficial estético.

Se realizó este proceso, entre otros dos (pulido y pintura a solvente).



Fig 23. Piezas cobreadas y pintadas con pintura a solvente



Fig 24. Cuba electrolítica utilizada para la electrodeposición de cobre.



Fig 25. Manija cobreada.

## Análisis mediante Espectrometría de Emisión Atómica

Para conocer los elementos presentes en nuestro material y realizar una caracterización exhaustiva del mismo, hemos optado por llevar a cabo un análisis químico conocido como espectrometría de emisión atómica. Esta técnica implica la excitación de los átomos presentes en la muestra, llevándolos desde su estado fundamental a un estado excitado.

Al hacerlo, los electrones excitados emiten luz en longitudes de onda específicas y características, las cuales pueden ser detectadas. De esta manera, logramos determinar la composición química detallada de la muestra.

Type	Measure Date Time	Recalculation Date Time	Origin	Method Name	Check Type	Check Status											
Unknown	10/12/2023 9:51 AM	10/12/2023 9:53 AM	Measured	AI-01-F	None	Not Used											
Correction Type	Outlier Test Type	Status															
None	None	Not Used															
Sample Name			Proveedor														
Si Conc %	Fe Conc %	Cu Conc %	Mn Conc %	Mg Conc %	Cr Conc %	Ni Conc %	Zn Conc %	Ti Conc %	Ag Conc %	B Conc %	Ba Conc %	Be Conc %	Bi Conc %	Ca Conc %	Cd Conc %	Ce Conc %	
1	0.21	0.63	4.80	0.76	0.88	0.019	0.007	0.054	0.023	0.0010	0.002	<0.0001	<0.0001	0.001	0.002	0.001	<0.002
2	0.21	0.58	4.67	0.74	0.87	0.018	0.006	0.050	0.023	0.0008	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0010	0.002	0.001	<0.002
Rep	0.21	0.61	4.74	0.75	0.87	0.019	0.006	0.052	0.023	0.0009	0.001	<0.0001	<0.0001	0.001	0.002	0.001	<0.002
SD	0.0008	0.037	0.096	0.013	0.009	0.0008	0.0009	0.003	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0002	0.0000
RSD	0.36	6.04	2.03	1.80	1.07	4.07	13.76	5.75	0.39	13.27	14.42	0.0000	0.0000	13.70	9.55	17.99	0.0000
Co Conc %	Ga Conc %	Hg Conc %	In Conc %	La Conc %	Li Conc %	Mo Conc %	Na Conc %	P Conc %	Pb Conc %	Sb Conc %	Sn Conc %	Sr Conc %	V Conc %	Zr Conc %	Sc Conc %	Bg Conc %	
1	<0.0005	0.012	0.003	<0.0003	<0.0003	<0.0001	0.001	0.0002	0.003	0.010	<0.003	<0.0010	<0.0001	0.009	0.001	<0.050	--
2	<0.0005	0.011	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	<0.0005	<0.0001	0.002	0.007	<0.003	<0.0010	<0.0001	0.009	0.0008	<0.050	--
Rep	<0.0005	0.012	0.002	<0.0003	<0.0003	<0.0001	0.0008	0.0001	0.003	0.009	<0.003	<0.0010	<0.0001	0.009	0.001	<0.050	--
SD	0.0000	0.0002	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0007	0.002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	--
RSD	0.0000	1.73	30.20	0.0000	0.0000	0.0000	50.3	31.21	28.46	25.40	0.0000	0.0000	0.0000	0.18	44.49	0.0000	--
Al Conc %																	
1	92.5																
2	92.8																
Rep	92.6																
SD	0.18																
RSD	0.19																

Fig 26. Resultados del análisis químico.

## CONCLUSIÓN

Hemos conseguido caracterizar los materiales desarrollados en nuestro proyecto y replicar la manija de freno de las motocicletas Gilera modelo Smash 110 utilizando aluminio reciclado mediante un proceso de fundición. Un avance significativo ha sido alcanzar una dureza superior a la manija disponible en el mercado, logrando esto al desarrollar una aleación de aluminio con cobre. Aunque estas mejoras no hayan sido críticas para la funcionalidad de la pieza actual, podrían serlo en futuras piezas fabricadas con esta aleación. Incluso, se ha propuesto un tratamiento térmico potencial, para mejorar aún más el material.

Finalmente, para mejorar el acabado superficial de la pieza, implementamos un proceso de electrodeposición de cobre. Aunque en el caso específico de esta pieza no haya sido esencial, su aplicación en otros productos potencialmente fabricados utilizando métodos similares es indiscutible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cornell, R. & Bhadeshia, H. K. D. H. (s.f.). Aluminium-Silicon Casting Alloys. Recuperado de:  
<https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/abstracts/M7-8.html>
- Callister, W. D. (2018). Materials Science and Engineering: An Introduction. John Wiley & Sons.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P. (2019). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cengage Learning.
- González Arias. Laboratorios De Ensayos Industriales Metales.
- Metal Handbook. (1961). (2nd ed.). Edición J.R Davis.