

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES SONORAS EN PLACAS DE ALUMINIO,  
BRONCE Y LATON SOMETIDAS A PRUEBAS ACUSTICAS ANTES Y  
DESPUES DE SER TRATADAS TERMICAMENTE**

**ANGIE TATIANA TIBADUIZA LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2015**

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES SONORAS EN PLACAS DE ALUMINIO,  
BRONCE Y LATON SOMETIDAS A PRUEBAS ACUSTICAS ANTES Y  
DESPUES DE SER TRATADAS TERMICAMENTE**

**ANGIE TATIANA TIBADUIZA LÓPEZ**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Metalúrgica**

**DIRECTOR**

**LUIS ORLANDO AGUIRRE RODRIGUEZ**

**Magister en Of Science in Metallurgical**

**Co- DIRECTOR**

**MARIA LILIANA MENESES RINCÓN**

**Ingeniera Metalúrgica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora de este proyecto desea expresar lo más sinceros agradecimientos a las personas que con su apoyo e incondicionalidad me apoyaron de una u otra forma.

A Dios por darme la vida, permitiendo la realización de este proyecto, porque nunca me faltó y fué mi guía en el camino.

Al Dr Luis Orlando Aguirre Rodríguez, director de grado, y Maria Liliana Meneses Rincón codirectora por compartirme sus conocimientos, experiencia y consejos.

A mis calificadoros de proyecto Carlos Andrés Galán Pinilla y Julián Orlando Herrera Ortiz por su tiempo, dedicación y conocimiento transmitidos.

A la Universidad Industrial de Santander, por hacerme parte activa de la academia y por su formación integral.

A la escuela de Ingeniería Metalúrgica por brindarme la oportunidad de hacer parte de ella, por su apoyo incondicional y por las enseñanzas de cada día.

A TOCA estudios por su apoyo, conocimientos y colaboración incondicional.

A Daniel Bayona Jaramillo por su cooperacion en la realización de este proyecto.

A mis papitos, Isai Tibaduiza y Rosa Maria López por su confianza, amor, paciencia, entrega y sacrificio.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. ESTADO DEL ARTE.....	18
4. MARCO TEORICO .....	20
4.1. ALUMINIO.....	20
4.2. COBRE .....	20
4.2.1. Aleaciones de Cobre.....	21
4.2.1.1. Cobre – Zinc. ....	21
4.2.1.2. Cobre - Estaño ].....	21
4.3. TRATAMIENTO TÉRMICO DE METALES NO FERREOS (ALUMINIO, COBRE Y ALEACIONES DE COBRE).....	21
4.3.1. Temple.....	21
4.3.2. Recocido.....	22
4.3.3. Solución Sólida. ....	23
4.4. DUREZA ROCKWELL B.....	25
5. PROPIEDADES DEL SONIDO .....	26
5.1. FRECUENCIA.....	26
5.2. AMPLITUD.....	26

5.3. ENVOLVENTE .....	27
5.3.1. El Envolverte Acústico:.....	27
5.4. SONORIDAD .....	29
6. METODOLOGIA .....	31
6.1. ETAPA 1: MARCO DE REFERENCIA.....	32
6.1.1. Actividad.. .....	32
6.2. ETAPA 2: ELABORACIÓN DE PLACAS .....	32
6.2.2. Actividad: Obtención de placas para prueba.....	32
6.3. ETAPA 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL. ....	33
6.3.1. Actividad: Estudio de Respuesta Acústica.....	33
6.3.2. Actividad. Caracterización del material. ....	34
6.3.2.1. Análisis Metalográfico .....	34
6.3.2.2. Actividad: Desarrollo de Prueba de Tratamientos Térmicos.. ....	34
6.3.3. Actividad: estudio de respuesta Acustica.....	34
6.3.4. Actividad: Caracterización del material.. ....	34
6.3.4.1. Composición Química.....	34
6.3.5. Actividad: Ensayos Mecánicos.....	35
6.3.5.1. Dureza.. .....	35
6.4. ETAPA 4: PRESENTACION DE RESULTADOS Y ANALISIS. ....	35
6.4.1. Actividad: Discusión y Análisis de Resultados.....	35
6.4.1.1. Análisis de Resultados de la fundición y obtención de placas .....	35
6.2.1.2. Resultados Y Análisis De Composición Química De Cada Material. ....	37
6.2.1.3. Tratamiento Térmico (Temple).....	37
6.2.1.4. Dureza. ....	39
6.2.1.5. Metalografía De Probetas Antes Y Después De Ser Tratadas Térmicamente .....	40
6.2.1.6. Resultados Y Analisis De La Respuesta Acustica .....	42
7. CONCLUSIONES .....	51

8. RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS.....	58

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Materiales Y Equipos .....	30
Tabla 2. Porcentaje elemental de aluminio, bronce y latón como cargas para la fundición. ....	37
Tabla 3. Resumen de tiempo y Temperaturas utilizados en el tratamiento térmico de cada material .....	39
Tabla 4. Dureza antes y después del TT .....	40
Tabla 5. Armónicos del latón con su respectiva frecuencia y amplitud antes y después de aplicarles el TT .....	44
Tabla 6. Armónicos del Bronce con su respectiva frecuencia y amplitud antes y después de aplicarles el TT .....	47
Tabla 7. Armónicos del Aluminio con su respectiva frecuencia y amplitud antes y después de aplicarles el TT .....	50

## LISTA DE FIGURA

	Pág.
Figura 1. Diagrama de fase de aleación de cobre zinc.....	23
Figura 2. Diagrama de fase aleación de cobre estaño.....	24
Figura 3. Dos ondas con igual frecuencia y forma de onda, pero con diferente amplitud. (a) Pequeña amplitud. (b) Gran amplitud. ....	27
Figura 4. El envolvente acústico es la evolución temporal en amplitud de cualquier sonido. Consta de 4 parámetros: Ataque, Decaimiento, Sostenimiento y Relajación .....	27
Figura 5. Dos senoides de frecuencia 200Hz. La de mayor amplitud se percibe como más sonora. ....	29
Figura 6. Dos senoides de frecuencia 200Hz.y 600 Hz respectivamente. La de mayor amplitud se percibe como menos sonora.....	30
Figura 7. Diagrama de flujo.....	31
Figura 8. Ensayo Acustico .....	33
Figura 9. Esquema de colada de placas.....	36
Figura 10. Dos figuras modelo de Tratamiento Térmico Temple .....	38
Figura 11. Modelo Tratamiento Térmico Temple Aluminio 99,99% .....	39
Figura 12. Microscopía después ataque a 200x, <i>Antes</i> del ataque 200x,.....	40
Figura 13. Microscopía después <i>Después de tratamiento de tratamiento</i> .....	40
Figura 14. A continuación se muestran dos espectros de frecuencia correspondientes a las placas de latón antes y después de ser tratadas térmicamente. ....	42
Figura 15. Microscopia después del ataque 200x, <i>Antes de ser tratada</i> .....	44
Figura 16. Microscopia del ataque 200x, <i>Despues de ser tratada</i> .....	44
Figura 17: Diagrama de Equilibrio Cu- Sn .....	45

Figura 18. A continuación se muestran dos espectros frecuenciales correspondientes a las placas de Bronce antes y después de ser tratadas térmicamente .....46

Figura 19. Microscopia Aluminio a 200x después del ataque, *Antes del tratamiento térmico* .....48

Figura 20. Microscopia Aluminio a 200x después del ataque, *después del tratamiento térmico* .....48

Figura 21. A continuación se muestran dos espectros frecuenciales correspondientes a las placas de Aluminio antes y después de ser tratadas térmicamente .....49

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A: Resultado pruebas de SEM-EDS .....	58

## RESUMEN

**TITULO: EVALUACIÓN DE PROPIEDADES SONORAS EN PLACAS DE ALUMINIO, BRONCE Y LATON SOMETIDAS A PRUEBAS ACUSTICAS ANTES Y DESPUES DE SER TRATADAS TERMICAMENTE.**

**AUTOR: TIBADUIZA LÓPEZ, ANGIE TATIANA\*\***

**PALABRAS CLAVE: ALUMINIO, ALEACIONES DE COBRE (LATÓN, BRONCE), TRATAMIENTO TÉRMICO (TEMPLE), MICROESTRUCTURA, FRECUENCIA, AMPLITUD, ENVOLVENTE, SONORIDAD.**

El material fue clasificado cuidadosamente separando y pesando cada porción de metal y aleación, EL horno de crisol se preparó dos horas antes del trabajo a realizar, con todos los materiales y respectivos fundentes tales como carbón y vidrio los cuales sirven para aislar del contacto del aire, disolver y eliminar los óxidos que pueden formarse, se procedió a realizar la fundición por medio de colada en arena verde, placas de aluminio, bronce y latón con dimensiones de 8mm x 25mm x 170mm. Luego de obtener dichas probetas, se mecanizaron para obtener una forma de arista en cada una de ellas, se hizo un análisis metalográfico para observar las características micro estructurales tanto físicas, químicas y mecánicas de cada material y así correlacionar con base en cada micrografía, los resultados de los ensayos acústicos. Posteriormente se trataron térmicamente por medio de temple a determinado tiempo y temperatura según el diagrama de fase de cada metal y aleación, con base en el estudio de su composición elemental el cual se efectuó por medio de un análisis cuantitativo de EDS, y después de dicho procedimiento se repitieron los ensayos acústicos y metalografías para así poder evaluar y comparar el comportamiento sonoro después del tratamiento.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad De Ingenierías Físico – Químicas. Escuela De Ingeniería Metalúrgica Y Ciencia De Materiales. Director. Luis Orlando Aguirre Rodriguez. Co- Director. Maria Liliana Meneses Rincón

## ABSTRACT

**TITLE: EVALUATION OF SOUND PROPERTIES IN ALUMINIUM, BRONZE AND BRASS PLATES, SUBJECTS TO ACOUSTIC TESTS BEFORE AND AFTER BEING TREATED THERMALLY .\*\***

**AUTHOR: TIBADUIZA LOPEZ, ANGIE TATIANA \*\***

**KEY WORDS: ALUMINUM, COPPER ALLOYS (BRASS, BRONZE), HEAT TREATMENT (HARDENING), MICROSTRUCTURE, FREQUENCY, AMPLITUDE, ENVELOPE, LOUDNESS.**

The material was carefully classified by separating and weighing each portion of metal and alloy , The Crucible Furnace prepared two hours before work to perform, with all materials and respective fluxes such as carbon and glass which serve for isolate from contact air, dissolve and remove oxides that can form, proceeded to perform casting using sand casting Green, plates of aluminium, bronze and brass with dimensions of 8 mm x 25 mm x 170 mm. After obtaining these specimens, is mechanized to obtain a form of edge on each one of them, is made a metallographic analysis to observe the features micro structural and physical, chemical and mechanical of each material and thus correlate each Micrography, acoustic trials results-based. Subsequently thermally treated through temple at particular time and temperature according to each metal and alloy phase diagram, based on the study of its elemental composition which I made through a quantitative analysis of EDS, and after this procedure repeated acoustic testing and metallography as well to be able to assess and compare sound behavior after treatment.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Engineering Physicochemical. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director. Luis Orlando Rodriguez Aguirre. Co-director. Liliana Maria Meneses Corner

## INTRODUCCIÓN

El mercado ofrece una amplia gama de materiales para construcción de instrumentos musicales de percusión. Sin embargo, no se detienen a estudiarlos desde sus propiedades acústicas con base en su composición y microestructura, metales tales como aluminio, bronce y latón desde el punto de vista metalúrgico proporcionan características que los hacen metales únicos brindando una sonoridad particular.

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en la respuesta acústica de placas de bronce, latón y aluminio con dimensiones específicas y que fueran constantes en todo el proceso, las cuales se sometieron a un conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento rápido bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad y presión de cada material con el fin de cambiar su microestructura y dureza para tener una comparativa con los resultados obtenidos antes y después de ser tratadas. La estandarización de procedimientos se rige bajo códigos o normas ya establecidas, para estudiar las características micro estructural o constitutivo del metal o aleación relacionadas con propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Acústicamente se catalogan los resultados obtenidos en dos aspectos. Por un lado la ubicación y amplitud de la frecuencia fundamental, la cual da la cualidad del tono y por el otro lado la amplitud de los armónicos, lo cual tiene implicaciones directas en el timbre.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Poca bibliografía se ha encontrado acerca de las propiedades sonoras de los metales en función de su composición y microestructura, por lo que a la hora de escoger un metal para fabricar un instrumento musical de percusión afinada, solamente se podrían usar los mismos metales que se usan en los instrumentos que ofrece el mercado, produciendo la misma sonoridad, o hacer pruebas a ciegas sin entender lo que se puede obtener con la manipulación estructural del material.

Este estudio se enfocará en revelar el comportamiento de algunos metales al ser usados como placas percutidas y así poder diseñar con certeza una sonoridad específica al momento de construir un instrumento musical.

Por otra parte se evaluará el comportamiento acústico de las placas al ser expuestas a ondas sonoras.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar el comportamiento acústico del aluminio puro (99.9%), bronce (80/12) y latón (60/40) en función del cambio de su microestructura después de ser tratados térmicamente.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar el comportamiento de las placas mediante tratamientos térmicos (temple).
- Caracterizar las placas de aluminio, bronce y latón mediante propiedades mecánicas y composición química teniendo en cuenta los datos experimentales obtenidos.
- Analizar las muestras con un espectrómetro de software con lo cual se concluirá la frecuencia fundamental que genera la placa y el análisis de sobre tonos que se generan.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Debido a la poca relación que existe en el estudio de caracterización acústica de materiales no férreos como: Aluminio, bronce y latón el desarrollo de este anteproyecto se basa en conocimientos metalúrgicos y acústicos del autor para obtener sonoridades a partir del cambio micro estructural de dichos materiales al ser tratados térmicamente.

Tesis CARACTERIZACION ACUSTICA DE MATERIALES Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Acústica. Que describe las técnicas acústicas conocidas como espectroscopia de resonancia ultrasónica y tiempo de vuelo. La espectroscopia de resonancia ultrasónica es el estudio de las resonancias mecánicas de los sólidos para inferir las propiedades de los materiales como, por ejemplo, las constantes elásticas. Esta técnica se basa en el hecho de que la respuesta en frecuencia para un sólido elástico, depende de diversos parámetros intrínsecos al objeto, como la densidad, la forma del objeto, las constantes elásticas, etc. Conociendo estos parámetros, las frecuencias de resonancia del objeto pueden ser predichas. En el caso inverso, al obtener el espectro en frecuencia se puede determinar, a través de un proceso de minimización, algunos de esos parámetros, dando un valor inicial como ensayo, el cual se encontraría limitado por cierto rango de valores aceptables. De acuerdo a las consideraciones anteriores el desarrollo de la tesis consistió en medir la velocidad longitudinal y transversal del sonido en muestras de cobre y acero con la técnica de pulsos. Además se determinó los valores para las constantes elásticas asociadas a dichas frecuencias y se emplearon estos valores como parámetro de entrada en la técnica de espectroscopia de resonancia ultrasónica, en donde, luego de la minimización se obtienen nuevos valores para las constantes elásticas. Como perspectiva a futuro se buscará explorar la dependencia entre las

constantes elásticas y la densidad de defectos presentes en los materiales, tales como las dislocaciones o el tamaño de granos. Se están realizando estudios de densidad de dislocaciones en el aluminio por técnicas de microscopía electrónica. Rodrigo Espinoza, alumno de doctorado de Ciencias de los Materiales en la Universidad de Chile, es el encargado de realizar dichas mediciones. [1]

## **4. MARCO TEORICO**

### **4.1. ALUMINIO**

La característica más conocida del aluminio es su peso ligero, y su densidad es como una tercera parte de la del acero o de las aleaciones de cobre. El aluminio tiene buena maleabilidad y formabilidad, alta resistencia a la corrosión y gran conductividad eléctrica y térmica. Una forma de aluminio ultra puro se utiliza para reflectores fotográficos con el fin de aprovechar sus características de alta reflectividad a la luz y de no decoloración superficial.

El aluminio 99.99% tiene una resistencia tensil de 49 megapascales, sin embargo, grandes incrementos de resistencia se obtienen mediante el trabajo en frío o por aleación. Una de las características más importantes del aluminio es su maquinabilidad y su capacidad de trabajado. Se puede fundir mediante cualquier método conocido, laminado a cualquier espesor deseado, estampado, estirado, enrolado, forjado y extruido a casi cualquier forma imaginable.[2].

### **4.2. COBRE**

En la forma no aleada, el cobre tiene una extraordinaria combinación de propiedades para aplicaciones industriales. Algunas de ellas son de alta conductividad eléctrica y térmica, buena resistencia a la corrosión, facilidad de fabricación, resistencia media a la tracción, propiedades controlables en el recocido y características generales para la soldadura y las uniones. El cobre tenaz electrolítico es el menos costoso de los cobres industriales y se usa para la producción de alambre, varilla, placas y tiras. [3]

#### **4.2.1. Aleaciones de Cobre**

**4.2.1.1. Cobre – Zinc.** Los latones cobre-zinc consisten en una serie de aleaciones de cobre con adiciones de entre 5 y 40 por ciento de zinc. El cobre forma soluciones sólidas de sustitución con zinc hasta casi 35 por ciento de zinc, lo cual se aprecia porque está todo dentro de la fase totalmente alfa del diagrama de fases Cu-Zn. Cuando el contenido de zinc llega a 40 por ciento aproximadamente, se forman aleaciones con dos fases, alfa y beta. La microestructura de los latones de una sola fase alfa consiste en una solución sólida alfa para una aleación de 70% Cu-30% Zn (C26000, latón para cartuchería). La microestructura del latón 60% Cu-40% Zn (C28000, metal de Muntz) tiene dos fases, alfa y beta. [3]

**4.2.1.2. Cobre - Estaño** Las aleaciones de cobre-estaño, que reciben apropiadamente el nombre de bronce de estaño, pero a menudo se designan como bronce de fósforo, se producen agregando al cobre entre 1 y 10 por ciento de estaño para formar aleaciones endurecidas por solución sólida. Los bronce de estaño forjado son más resistentes que los cobres Cu-Zn, sobre todo en condiciones de trabajo en frío y tienen mayor resistencia a la corrosión, pero son más caros. [3]

#### **4.3. TRATAMIENTO TÉRMICO DE METALES NO FERREOS (ALUMINIO, COBRE Y ALEACIONES DE COBRE)**

**4.3.1. Temple.** El temple como todos los tratamientos térmicos, es un proceso de calentamiento y enfriamiento, realizando este último con una velocidad mínima denominada crítica de temple. El fin que se pretende generalmente en este ciclo es transformar toda la masa del material con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento suficientemente rápido, convertirse en constituyentes.

En la práctica no se transforma la totalidad de la estructura, en muchos casos porque es imposible conseguir una velocidad de enfriamiento suficientemente rápida en la totalidad de la masa de las piezas muy grandes y en otros, por que no interesa obtener algunos constituyentes.

El proceso de temple consta esencialmente de dos fases, una fase de calentamiento y otra fase de enfriamiento.

El calentamiento hasta la temperatura máxima se debe iniciar estando el horno a baja temperatura y de ser posible, a la temperatura ambiente; la elevación de temperatura debe ser uniforme en toda la pieza, esto se consigue elevando la temperatura del horno lo más lentamente posible. [4]

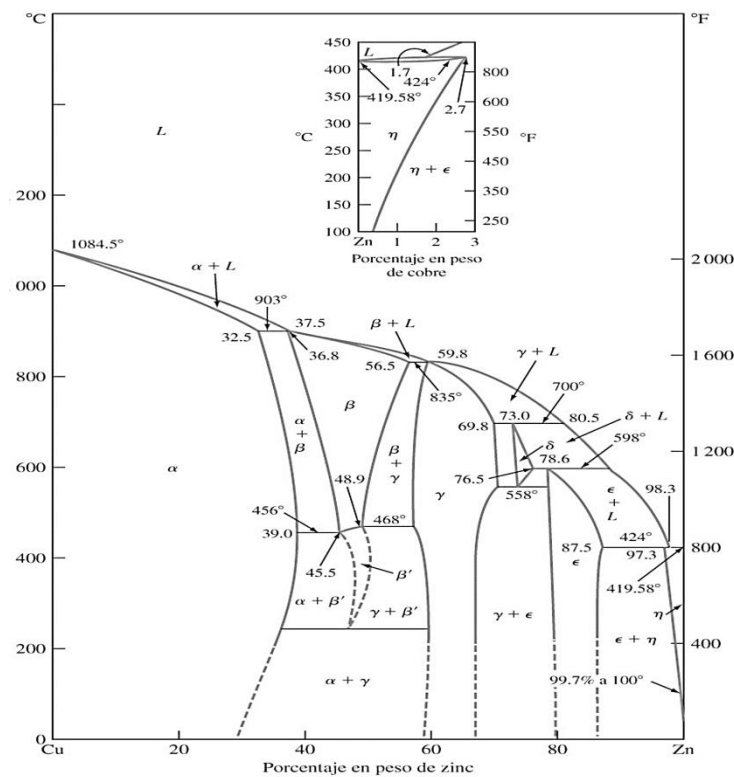
**4.3.2. Recocido.** El objetivo principal de este tratamiento es ablandar el metal para su posterior deformación en frío; con este se obtiene la combinación óptima de ductilidad, resistencia y textura superficial. El proceso incluye calentamiento, sostenimiento y enfriamiento; una descripción apropiada del proceso debe incluir la velocidad de calentamiento, la temperatura, el tiempo de sostenimiento, la atmósfera adecuada y la velocidad de enfriamiento.

Es necesario tener en cuenta los factores que afectan el proceso, especialmente la cantidad de deformación en frío, el tamaño de grano inicial, la temperatura y el tiempo.

En el tratamiento en sí, la temperatura y el tiempo son los determinantes de las propiedades. El proceso depende exponencialmente de la temperatura, así, un pequeño cambio en esta da como resultado un cambio extremadamente rápido en las propiedades. [4]

**4.3.3. Solución Sólida.** Las aleaciones con menos del 40% de Zn forman soluciones sólidas monofásicas de zinc en cobre, con las propiedades correspondientes a la estructura cristalina c.c.c. del cobre. Las propiedades mecánicas aumentan conforme se eleva el contenido en Zn, sin disminución apreciable del alargamiento o ductilidad. En el rango de composiciones entre el 35 y 40% de Zn, la aleación forma una segunda fase  $\beta$  que sufre una transformación eutectoide al disminuir la temperatura. Es por esto último que el contenido de Zn se limita al 35% para obtener una estructura monofásica que puede ser conformada en frío y por lo tanto endurecida por deformación. La adición de manganeso a la aleación proporciona una elevada resistencia de forma que a esta aleación se denomina bronce al manganeso. [3]

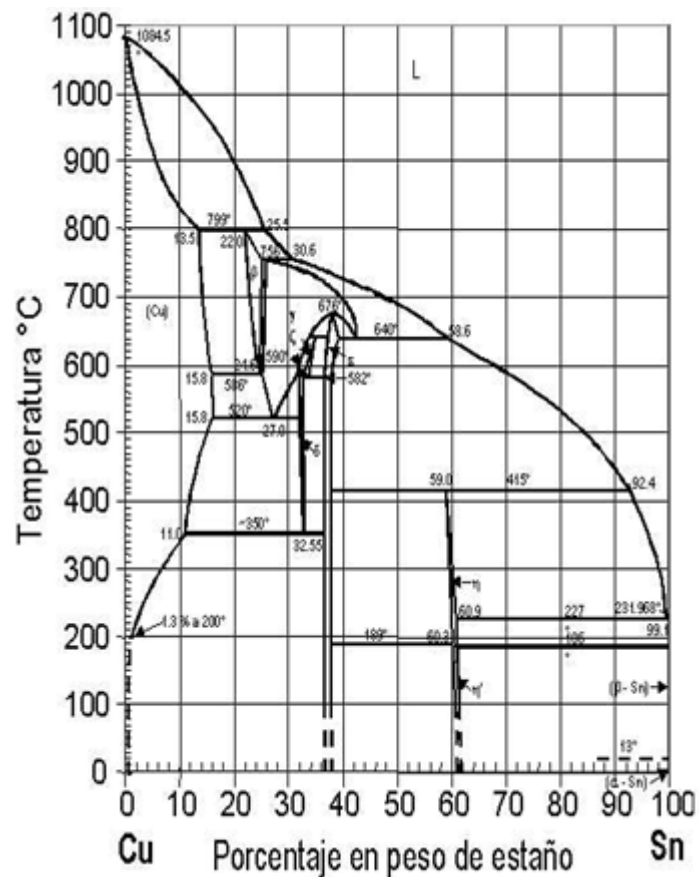
**Figura 1. Diagrama de fase de aleación de cobre zinc.**



**Fuente:** SMITH, William F, HASHEM, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales Cuarta Edición.1998, Editorial Mc Graw Hill [

Los bronce al estaño pueden contener más de un 10% de Sn y seguir siendo monofásicos. El diagrama de fases, figura 2, determina que la aleación contendrá el compuesto Cu<sub>3</sub>Sn. Sin embargo, la cinética de la reacción es tan lenta que el precipitado puede no formarse, sobre todo en las aleaciones con contenidos inferiores al 5% de Sn. Estas aleaciones, a las que se añaden otros elementos de aleación como el Pb, para elevar su maquinabilidad, o el zinc, para elevar su resistencia mecánica, se utilizan de manera fundamental como aleaciones para fundición. [3]

**Figura 2. Diagrama de fase aleación de cobre estaño.**



**Fuente:** SMITH, William F, HASHEM, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales Cuarta Edición.1998, Editorial Mc Graw Hill Ensayos Mecánicos De Caracterización De Metales

#### **4.4. DUREZA ROCKWELL B**

El estándar ASTM E 18-03 define la dureza Rockwell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una maquina calibrada, se fuerza un indentador cónico esferoidal de diamante (penetrador de diamante) o una bola de acero endurecido (acero o carburo de tungsteno), bajo condiciones específicas contra la superficie del material a ser ensayado, en dos operaciones, y se mide la profundidad permanente de la impresiones bajo condiciones específicas de carga. [6].

## **5. PROPIEDADES DEL SONIDO**

### **5.1. FRECUENCIA**

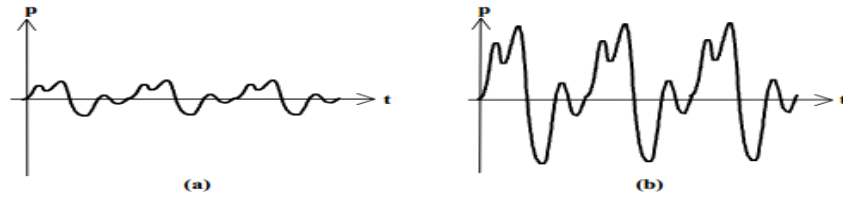
En general es una relación de repetición de ciclos de un fenómeno periódico. Es la inversa del periodo. Su unidad es el ciclo/s. Está basada en la frecuencia de 440 cps; esta frecuencia también recibe el nombre de altura tonal. [7]

El número de oscilaciones por segundo es la medida de la frecuencia del sonido y se puede iniciar en cualquier parte de la onda siempre y cuando se termine donde empezó, el sonido es más agudo con el aumento de ciclos por segundo, teniendo en cuenta la banda de frecuencias audibles, uno de los ítems de este trabajo es estudiar la frecuencia producida por cada material puro y aleado antes y después de los tratamientos térmicos aplicados teniendo en cuenta la variación de la tonalidad. [7]

### **5.2. AMPLITUD**

El oscilograma permite interpretar fácilmente un parámetro del sonido vinculado a la fuerza o intensidad del mismo: la amplitud se define como el máximo valor que alcanza una oscilación en un ciclo. La amplitud se denomina también valor de pico. En la figura 3 se verá la misma forma de onda con dos amplitudes diferentes. [8]

**Figura 3. Dos ondas con igual frecuencia y forma de onda, pero con diferente amplitud. (a) Pequeña amplitud. (b) Gran amplitud.**



**Fuente:** MIYARA, Federico. Acústica y sistemas de sonido 1999. Tercera Edición. Rosario

### 5.3. ENVOLVENTE

#### 5.3.1. El Envoltorio Acústico:

**Figura 4. El envoltorio acústico es la evolución temporal en amplitud de cualquier sonido. Consta de 4 parámetros: Ataque, Decaimiento, Sostenimiento y Relajación**



**Fuente:** ROSAS Jorge. 7 Notas Estudio. Guía Compresión – Ataque- Release

Envolvente es el nombre que recibe el desarrollo en el tiempo de un determinado sonido y se compone de: ataque, decaimiento, sostenimiento y relajación.

En general, es la manera como un sonido dado se desenvuelve en el tiempo, en función de su intensidad. El envolvente es una característica muy importante del sonido ya que en conjunto con los armónicos, conforman el timbre que distingue un sonido de otro. Es decir es lo que nos permite, por ejemplo, distinguir un piano de una guitarra o una voz humana de un trombón. Repasemos las partes que componen el envolvente acústico:

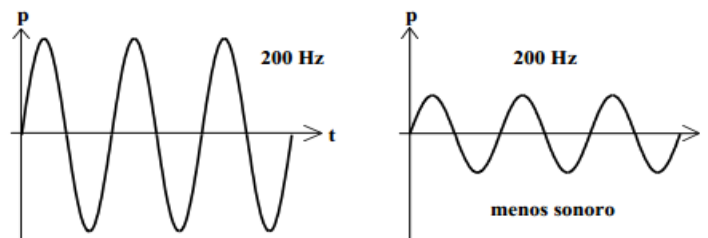
- **Ataque:** Es el tiempo entre que comienza el sonido y demora en llegar a su amplitud máxima. Es lo que se denomina como transiente o transitorio ya que es de corta duración.
- **Decaimiento:** Es el tiempo que le toma al sonido para reducir la amplitud desde el valor máximo conseguido en el ataque hasta el valor de sostenimiento.
- **Sostenimiento:** Es el tiempo en el que la amplitud del sonido se mantiene constante hasta que se deja de inducir vibración en el instrumento.
- **Relajación:** Es el tiempo que tarda el sonido en reducir su amplitud hasta la inaudibilidad, luego de haber cesado la vibración.

Esto implica que si de alguna forma podemos modificar el envolvente podemos modificar el timbre del instrumento para nuestros propósitos, esto nos permite tanto manipular algunos sonidos para transformarlos en otros distintos y también nos puede servir para los usos creativos de la compresión. [9]

## 5.4. SONORIDAD

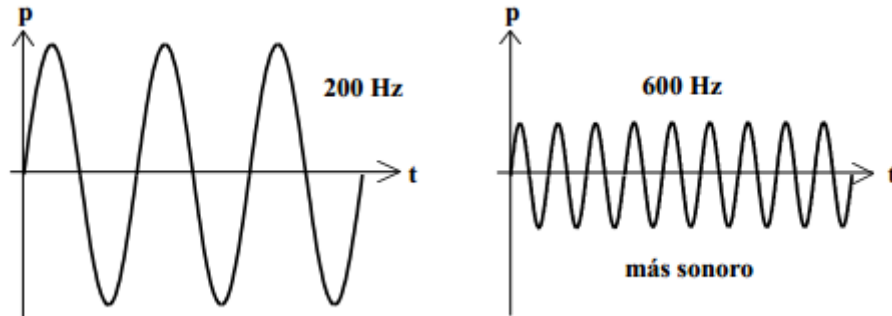
La sensación de sonoridad, es decir la fuerza, volumen o intensidad de un sonido, esta, en principio, relacionada con su amplitud. Sin embargo la relación no es tan directa como la que existe entre la frecuencia y la altura. De hecho la sonoridad resulta en realidad fuertemente dependiente no solo de la amplitud sino también de la frecuencia. Así, a igualdad de frecuencias se puede afirmar que un sonido de mayor amplitud es más sonoro. En la figura 5 se muestra el ejemplo de dos sonidos de 200 Hz, de los cuales el de mayor amplitud es más sonoro. Pero si se aumenta la frecuencia del sonido de menor amplitud, este puede llegar a percibirse como más sonoro. En el ejemplo de la figura 6 el sonido de menor amplitud se lleva a 600 Hz, percibiéndose ahora con mayor sonoridad. [8]

**Figura 5. Dos senoides de frecuencia 200Hz. La de mayor amplitud se percibe como más sonora.**



**Fuente:** MIYARA, Federico. Acústica y sistemas de sonido 1999.Tercera Edición.].Rosario

**Figura 6. Dos senoides de frecuencia 200Hz.y 600 Hz respectivamente. La de mayor amplitud se percibe como menos sonora.**



**Fuente:** MIYARA, Federico. Acústica y sistemas de sonido 1999.Tercera Edición.  
 .Rosario

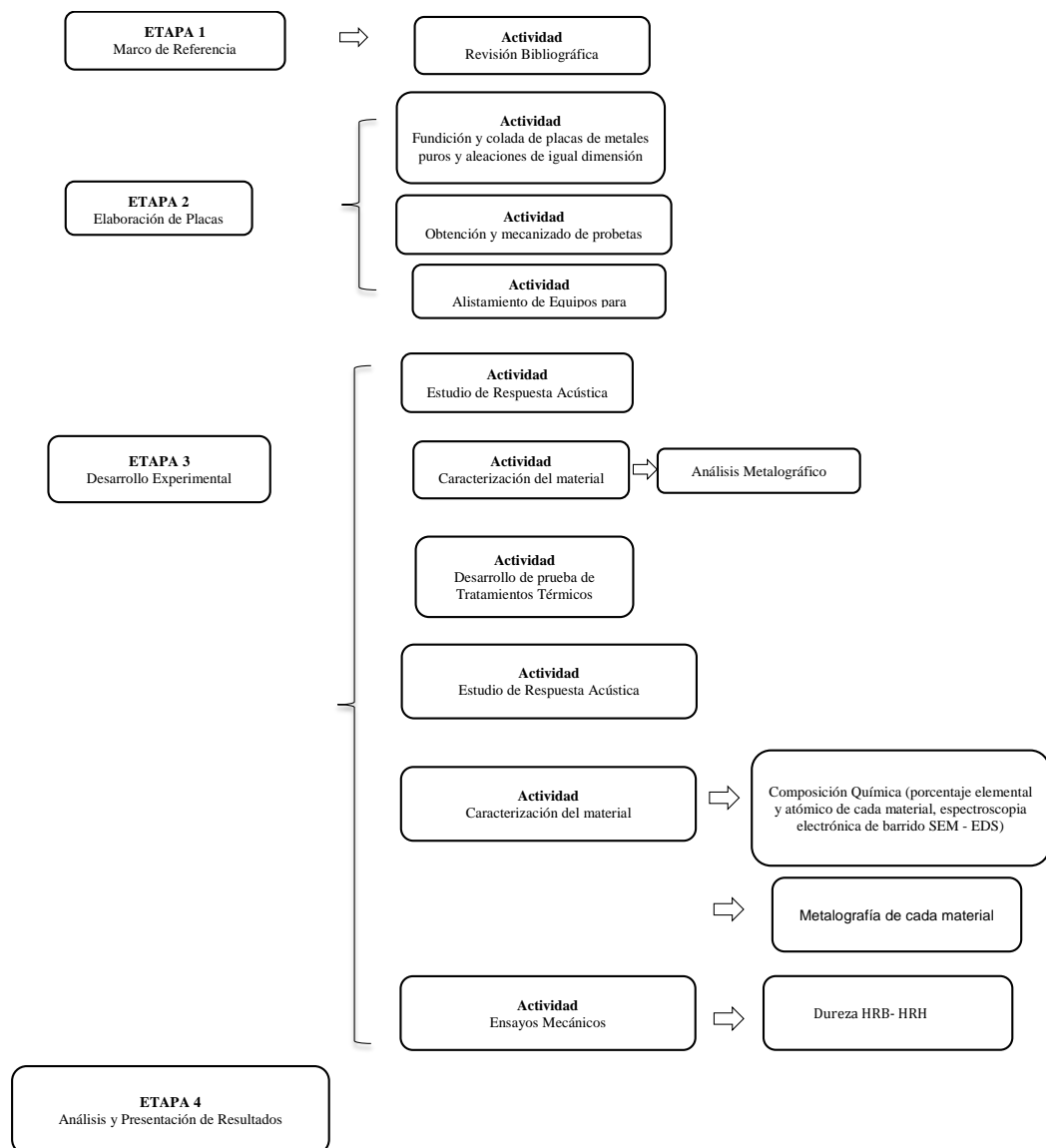
**Tabla 1. Materiales Y Equipos**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Aluminio	Horno de crisol
Cobre	Horno para tratamientos térmicos
Estaño	microscopio GX41 marca OLYMPUS
Zinc	Durómetro marca Wilson
Fundentes	Micrófono RTA 420 Rationals Acoustic
Reactivos químicos para el ataque: ( Cloruro férrico)	
(Hidróxido sódico)	

## 6. METODOLOGIA

El desarrollo de esta tesis se efectuó con base en el planteamiento metodológico expuesto en la figura 7 en el cual se especifican cada una de las etapas a realizar.

Figura 7. Diagrama de flujo



## **6.1. ETAPA 1: MARCO DE REFERENCIA**

**6.1.1. Actividad.** Revisión Bibliográfica. En esta fase se realizó una investigación previa sobre la propuesta, y validación de información mediante fuentes cualificadas, como tesis de grado, artículos del tema actuales, base de datos y revistas. Todo aporte informativo será empleado como soporte para la ejecución de ensayos análisis y conclusiones.

## **6.2. ETAPA 2: ELABORACIÓN DE PLACAS**

### **6.2.1. Actividad: Fundición y colada de placas de metales puros y aleaciones de igual dimensión**

Se prepararon arena burda y arena de contacto. Se alistaron los moldes, modelos, cajas y cargas de cada material; se preparó el horno de crisol y luego se procedió a fundir.

### **6.2.2. Actividad: Obtención de placas para prueba.**

Se desmoldó y se recogieron las placas obtenidas. En esta etapa las probetas se clasificaron en dos grupos metal puro (Aluminio) y aleación. (Cobre-Estaño, Cobre-Zinc).

### **6.2.3. Actividad: Alistamiento de equipos para ensayos.**

Se buscaron condiciones acústicas controladas y se garantizó el uso de la misma infraestructura técnica, con el fin de minimizar las posibles variaciones en los resultados de las pruebas, producto de alteraciones en el entorno físico.

### 6.3. ETAPA 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL.

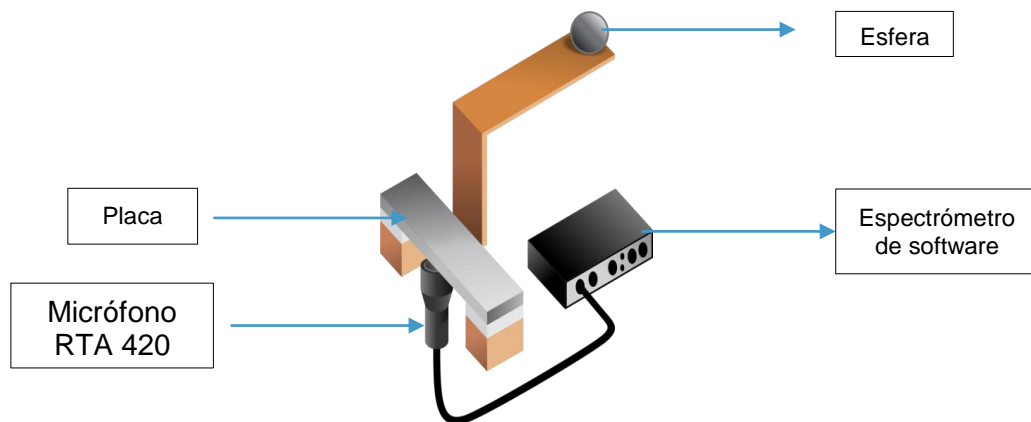
#### 6.3.1. Actividad: Estudio de Respuesta Acústica.

##### -Placas metálicas como generador de sonido percutido:

Para este ensayo se hizo rodar una esfera por un plano inclinado que estaba a una altura igual para todos los ensayos, mientras las placa estaban ubicadas sobre 2 apoyos de madera recubiertos con felpa similar a como se ubican en un xilófono.

El sonido fue capturado con un micrófono (RTA 420) Rational Acoustics del cual conocemos la respuesta en frecuencia en el rango 20hz-20khz. El sonido fue digitalizado a 96kbs a través de una interfaz de audio, luego se analizaron las muestras con un espectrómetro de software y de esta manera se concluyó la frecuencia fundamental que genera la placa y el análisis de sobre tonos que se generaron. Estos últimos son los encargados de aportar el timbre al sonido como se observa en la figura 8. Además, la onda fue analizada con el fin de generar la envolvente gráfica del sonido y con un medidor de decibeles se obtuvo la presión sonora que generó la placa.

**Figura 8. Ensayo Acustico**



**6.3.2. Actividad.** Caracterización del material. Se emplearon las probetas de volumen 8mm x 25mm x 170mm correspondientes a cada metal para la caracterización microestructural.

**6.3.2.1. Análisis Metalográfico:** Con base en la NORMA ASTM E3-01, *standard guide for preparation of metallographic specimens* se prepararon las muestras para el análisis metalográfico. Se realizó desbaste manual seguido del pulido en paños con pasta de diamante de 0,05  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , para finalmente realizar el ataque químico bajo la norma ASTM 407 con el que se busca revelar la microestructura del material.

**6.3.2.2. Actividad: Desarrollo de Prueba de Tratamientos Térmicos.** Las probetas de latón, bronce y aluminio se sometieron a tratamiento térmico, temple, teniendo en cuenta su diagrama de fase, con el fin de producir un cambio en su microestructura y en la dureza del material.

**6.3.3. Actividad: estudio de respuesta Acustica.** Los estudios se realizaron bajo los mismos parámetros aplicados en las pruebas de las placas antes del tratamiento térmico, teniendo en cuenta que el procedimiento de toma de muestras se efectuó en espacios profesionalmente acondicionados en los cuales se garantiza un ambiente controlado, con niveles de reducción de ruido adecuados para este propósito.

**6.3.4. Actividad: Caracterización del material.** Composición Química por Medio de microscopía electrónica de barrido SEM - EDS.

**6.3.4.1. Composición Química.** Se definió por el método de microscopía electrónica de barrido SEM - EDS según la norma ASTM E 415 edición 2008, que se realizó en el parque tecnológico Guatiguará.

**6.3.5. Actividad: Ensayos Mecánicos.** Los ensayos mecánicos estuvieron regidos bajo las normas ASTM E8.

Se aclaró que el único ensayo mecánico a realizar fue la toma de dureza, siendo el método más económico, rápido y que está directamente relacionado con la evaluación de las propiedades micro estructurales, pues para el desarrollo de esta tesis no era necesario tener en cuenta ensayos de tracción y compresión entre los otros existentes, ya que las placas no se debían destruir.

**6.3.5.1. Dureza.** Se trabajó en escala Rockwell B bajo la norma ASTM E-18 *standard test methods for Rockwell Hardness of metallic materials*.

#### **6.4. ETAPA 4: PRESENTACION DE RESULTADOS Y ANALISIS.**

##### **6.4.1. Actividad: Discusión y Análisis de Resultados**

**6.4.1.1. Análisis de Resultados de la fundición y obtención de placas:** Los resultados pertinentes a todas las pruebas realizadas fueron estudiados y comparados entre sí. Con el refuerzo de la bibliografía se interpretaron los datos obtenidos para realizar la comparación entre las muestras y datos adquiridos. Se brindó respuesta a todos y cada uno de los objetivos propuestos.

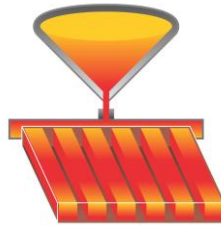
Para la elaboración de las actividades propuestas fue necesario aplicar las siguientes pruebas:

Recordamos que se hizo uso del horno de crisol para fundiciones de materiales no férreos, aluminio, cobre y sus aleaciones.

Como se observa en la figura 9, se realizó la fundición de placas de 8mm x 25mm x 170mm a temperaturas de: aluminio (660°C), cobre (1084°C), bronce (830°C-

1020°C) y latón (504°C), bajo los parámetros constantes de composición y dimensión de cada placa en todo el proceso. En el transcurso de la fundición se fue midiendo la temperatura de la colada. (Colada por gravedad en arena verde).

**Figura 9. Esquema de colada de placas**



Como algunas de estas aleaciones son propensas a porosidad por reacción, es decir, porosidad debida a la combinación del oxígeno con el hidrogeno, se emplearon desoxidantes tales como nitrógeno y pastilla de desgasificación, para eliminar o reducir a un mínimo este tipo de porosidad. El desoxidante se añadió antes de colar, para eliminar la mayor parte del oxígeno en solución y para inhibir la concentración de cualquier oxígeno remanente en el líquido residual durante la solidificación.

Se adecuaron moldes de arena en verde para la colada, se sacaron las placas a utilizar para mecanizarlas y posteriormente, se sometieron a los ensayos respectivos.

**6.2.1.2. Resultados Y Análisis De Composición Química De Cada Material,** Se presentaron los resultados obtenidos con microscopía electrónica de barrido (SEM) y microanálisis EDS, de cada una de las muestras (Aluminio, Bronce y Latón. Anexo A), en las cuales se obtuvo la composición elemental de las mismas y de acuerdo a los análisis cuantitativos de EDS, se comprobó que las composiciones de las placas fueron las propuestas inicialmente.

**Tabla 2. Porcentaje elemental de aluminio, bronce y latón como cargas para la fundición.**

Material	% Elemental
Aluminio	99,9
Bronce	80/12
Latón	60/40

**6.2.1.3. Tratamiento Térmico (Temple).** Con base en los diagramas de fase, se efectuó el tratamiento térmico, temple, a temperatura de transformación y tiempo determinados buscando que la masa de toda la probeta pueda tener un cambio significativo.

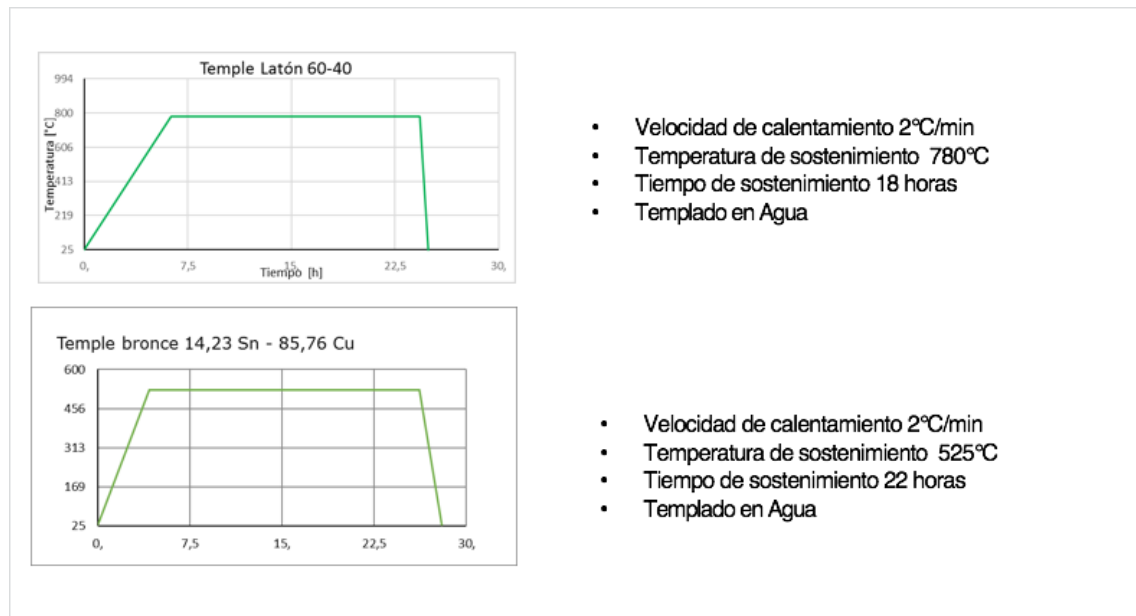
En el análisis de cada probeta templada se observa que cada material es sometido a tiempos más prolongados uno del otro. Haciendo una comparación entre el bronce y el latón se presenta un tiempo de sostenimiento mayor en el bronce debido a la dureza y resistencia del mismo mientras que el latón resulta más maleable, sin embargo los dos materiales son ideales para la construcción de instrumentos musicales debido a sus propiedades acústicas como se presentó en el análisis de los resultados de la prueba con el espectrómetro de software.

El aluminio presenta un tiempo de sostenimiento menor al del latón y bronce, ya que es un metal puro. La micrografía antes del tratamiento reveló una matriz con un constituyente correspondiente a precipitaciones de silicio y una de las características importantes es que es más blando y la transformación de la masa ocurre en menor tiempo. Sin embargo dicho material es utilizado como placas percutidas para la fabricación de vibráfonos.

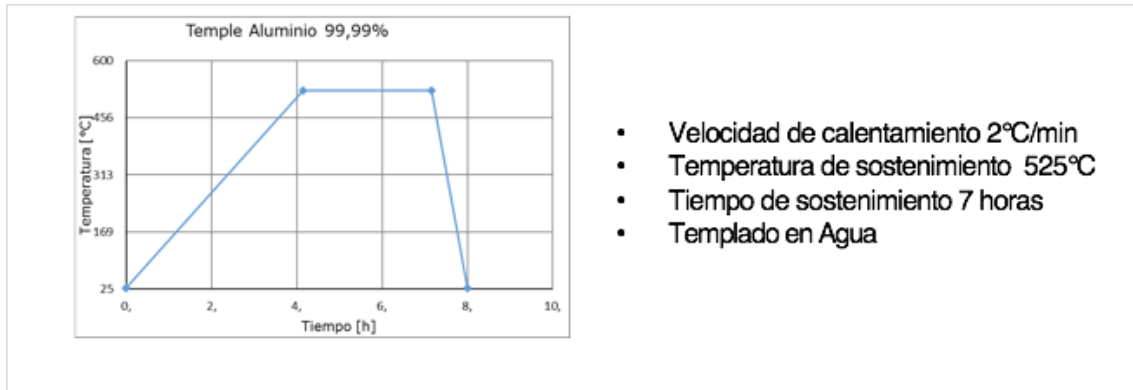
**Figura 10. Dos figuras modelo de Tratamiento Térmico Temple**

a) Latón 60Cu/ 40 Zn

b) Bronce 14,23Sn/ 85,76 Cu



**Figura 11. Modelo Tratamiento Térmico Temple Aluminio 99,99%**



**Tabla 3. Resumen de tiempo y Temperaturas utilizados en el tratamiento térmico de cada material**

	Temple			Templado en agua a 25°C
	Latón	Bronce	Aluminio	
<b>Tiempo de calentamiento</b>	6:18	4:09	4:09	
<b>Tiempo de sostenimiento</b>	18:00	22:00	3:00	
<b>Temperatura de sostenimiento</b>	780 °C	525 °C	525°C	

**6.2.1.4. Dureza.** Con base en los resultados de dureza antes y después de ser tratados térmicamente y en las micrografías se pudo observar que son múltiples las utilidades que los datos obtenidos de medición de dureza en los materiales, puede proporcionar como:

- Analizar la homogeneidad del material: Se deduce que las variaciones de composición química, distribución de las fases y tratamiento térmico recibido, pueden producir una dispersión en los valores medidos en la superficie de la placa.
- Comprobar la homogeneidad del tratamiento.

**Tabla 4. Dureza antes y después del TT**

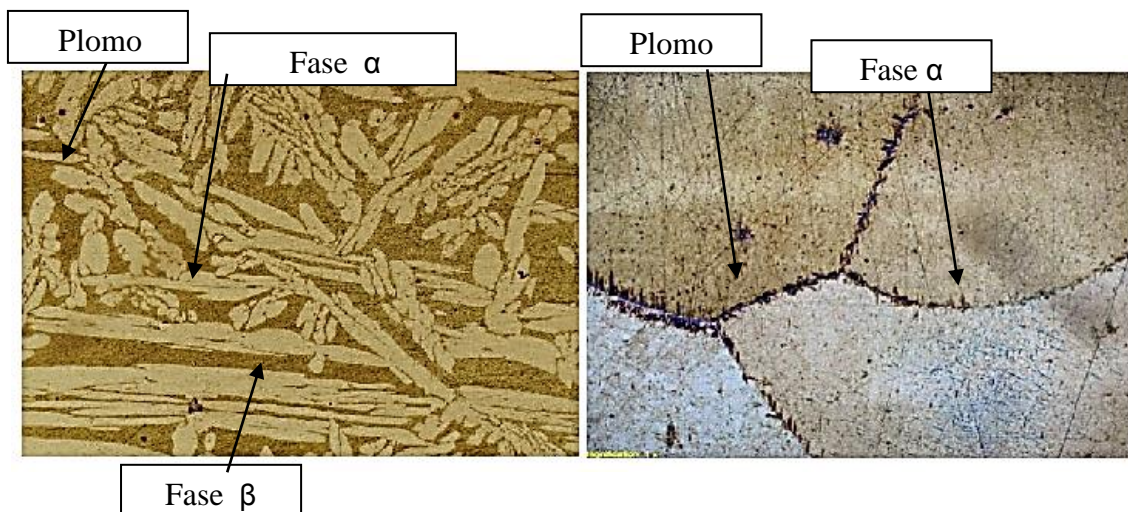
MATERIAL	Dureza antes de TT	Dureza después de TT
Aluminio	49HRH	46HRH
Latón	65HRB	70,33HRB
Bronce	86HRB	98,33HRB

En la tabla 2, se observa que las durezas tienen una variación significativa después del tratamiento térmico, debido al cambio de microestructura del material. En cuanto al aluminio, la dureza disminuye, pues la aleación no sufre cambio microestructural, sino que presenta una precipitación en el constituyente de silicio en toda la matriz de aluminio. En contraste, el latón y el bronce tienen un incremento en su dureza pues la microestructura del material cambió en su totalidad.

#### 6.2.1.5. Metalografía De Probetas Antes Y Después De Ser Tratadas Térmicamente

- Latón

**Figura 12. Microscopía después ataque a 200x, Antes del ataque 200x,**



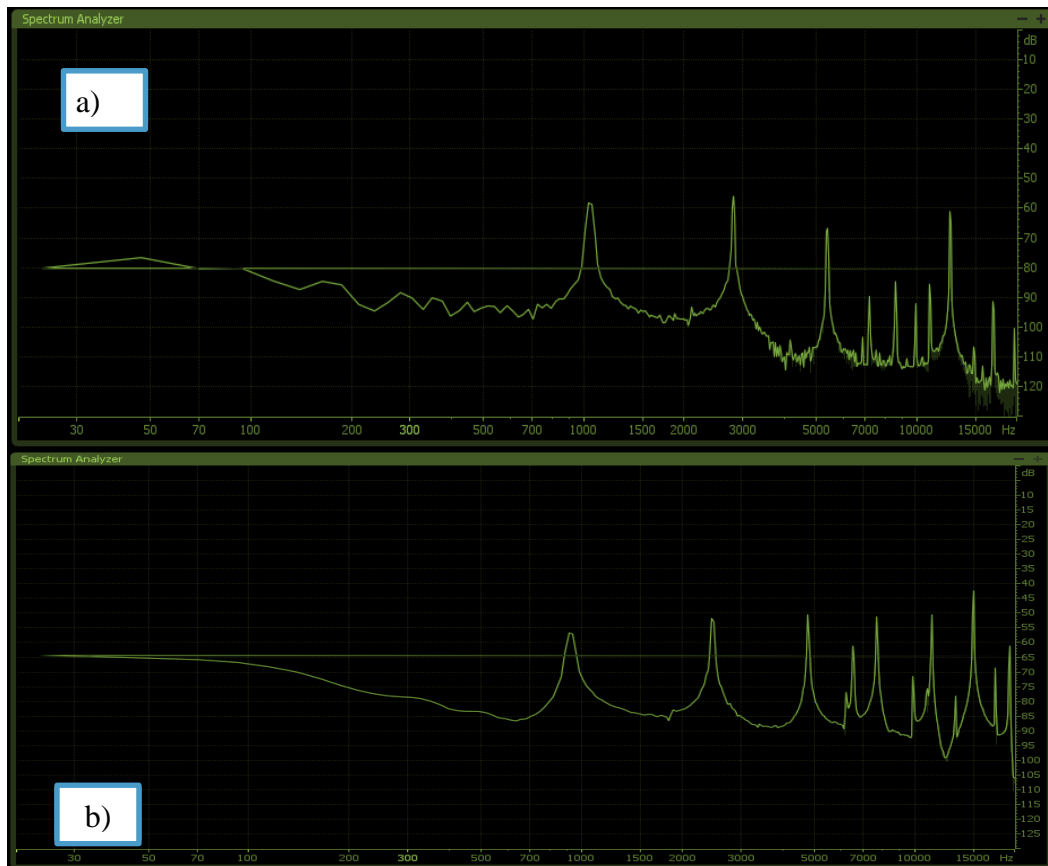
**Figura 13. Microscopía después Después de tratamiento de tratamiento**

En la figura 12 se observa la micrografía de una probeta de latón 60/40 después del ataque según la norma ASTM E 407 a 200x, antes del tratamiento. La aleación solidifica, dando un fase  $\alpha$  de coloración clara, acicular, propio de la estructura de solución sólida *widmstätten* en una fase oscura  $\beta$ . La estructura dendrítica presente en dicha micrografía, comprueba que el proceso de fabricación fue por medio de moldeo en arena en verde. Además, se obtuvo de un enfriamiento rápido, donde al bajar la temperatura aumentaba la fase  $\alpha$ .  $\beta$  se distingue de  $\alpha$  porque se ennegrece al ataque con Cloruro férrico y una de sus características, es que es más duro que  $\alpha$ .

En la figura 13, la micrografía revela que la estructura después de ser tratada por medio de temple, está formada por una sola fase y con ausencia de microsegregación. Se pueden observar granos con color uniforme, cambiando únicamente la tonalidad de un grano a otro debido a su distinta orientación cristalina. Además, los límites de grano son levemente curvos. Todo lo anterior fue consecuencia de tratamiento térmico de temple.

### 6.2.1.6. Resultados Y Analisis De La Respuesta Acustica

Figura 14. A continuación se muestran dos espectros de frecuencia correspondientes a las placas de latón antes y después de ser tratadas térmicamente.



En la figura 14 a) se presenta el espectro de frecuencias del latón obtenida mediante el análisis digital de la muestra obtenida en las condiciones anteriormente descritas, para posteriormente, hacer la comparativa después del tratamiento.

Frecuencia fundamental 1100 Hz.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las micrografías y los resultados en las pruebas acústicas a las placas tratadas (el espectro b)), se evidencia que si el material presenta una microestructura con una sola fase alfa, es decir, hay más homogeneidad en toda la placa producto de la transformación de la masa en el tratamiento, se reflejan algunas particularidades como:

- ✓ Cambios en la acentuación de algunos parciales armónicos, es decir mayor amplitud que los armónicos del espectro a). Desde el punto de vista metalográfico, el material antes del tratamiento tiene dos fases  $\alpha$  -  $\beta$  y después del tratamiento una sola fase  $\alpha$ . Podemos relacionar el aumento de la amplitud de los armónicos con la homogeneización del material después del tratamiento. A mayor homogeneidad en el material, menos oposición al flujo de la perturbación que hace resonar la placa.
  
- ✓ Desplazamiento de la frecuencia fundamental hacia una frecuencia más grave (900 Hz). Relacionando las pruebas de dureza en los materiales, se evidencia la tendencia del material a que al aumentar la dureza, la frecuencia fundamental en la que vibra la placa, se desplaza y el tono se modifica. El tratamiento térmico que modifica la microestructura, afecta el comportamiento acústico de la placa.

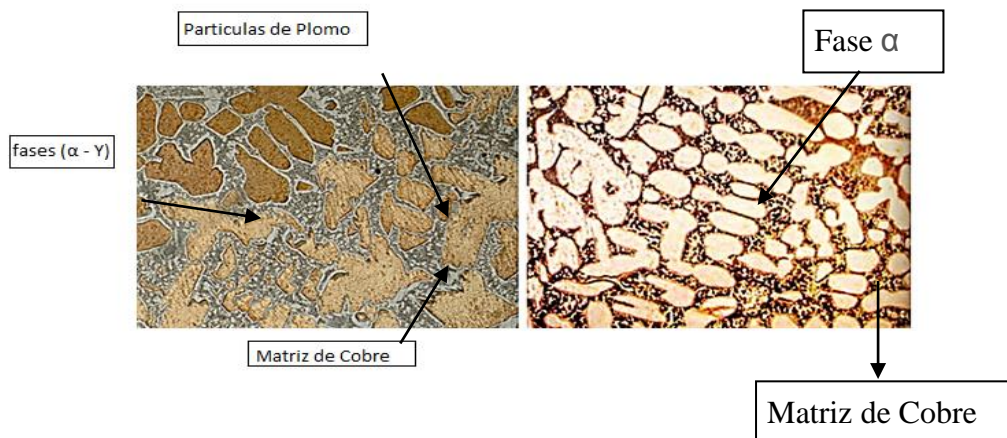
**Tabla 5. Armónicos del latón con su respectiva frecuencia y amplitud antes y después de aplicarles el TT**

<b>Armónico</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>		
Frecuencia	2800 Hz	5500 Hz	7400 Hz	8900 Hz	10000 Hz	11600 Hz	12800 Hz	16400 Hz		
Amplitud	56 dB	66 dB	90 dB	83,5 dB	92 dB	84 dB	62 dB	92 dB		
<b>Armónico</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Frecuencia	2500 Hz	4800 Hz	6800 Hz	7900 Hz	9900 Hz	11600 Hz	13400 Hz	15000 Hz	16800 Hz	18000 Hz
Amplitud	53 dB	51 dB	62 dB	52 dB	71 dB	50 dB	68 dB	43 dB	68 dB	61 dB

En la tabla 5 se pueden cuantificar los cambios significativos en la calidad sonora de la placa, luego del tratamiento térmico. Un sonido más grave, provocado por el desplazamiento de la frecuencia fundamental de 1100 Hz a 900Hz y sus primeros parciales; y por otro lado la percepción de un sonido más brillante (con mayor intensidad en frecuencia altas) debido al enriquecimiento de amplitud de los armónicos.

○ **Bronce**

**Figura 15. Microscopia después del ataque 200x, Antes de ser tratada**



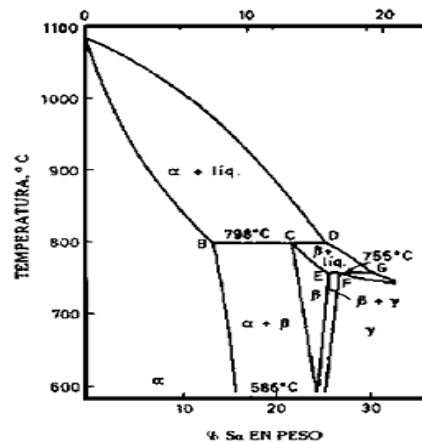
**Figura 16. Microscopia del ataque 200x, Después de ser tratada**

En la figura 15 se puede apreciar un fenómeno de segregación dendrítica, debido a la gran separación existente entre las curvas de líquidus y sólidos . Se observa la presencia de dendritas de fase  $\alpha$  con segregaciones en los espacios interdendríticos. Esta segregación corresponde a una mezcla de las fases ( $\alpha$  y  $\gamma$ ) procedente de la reacción eutectoide, ya que el último líquido en solidificar es bastante rico en estaño: Las zonas oscuras (negras) pueden ser cavidades de rechupe o partículas de plomo.

La figura 14 presenta una micrografía donde se puede observar que la segregación de las dendritas se empieza a reducir, pues la distancia en los espacios interdendríticos disminuye. Este fenómeno se debe a que la probeta es sometida durante tiempo prolongado 26 horas a elevadas temperaturas 525°C. La estructura dendrítica se empieza a disolver y existe una tendencia de las dendritas a unificarse entre sí a una fase  $\alpha$  de color claro y una matriz de cobre.

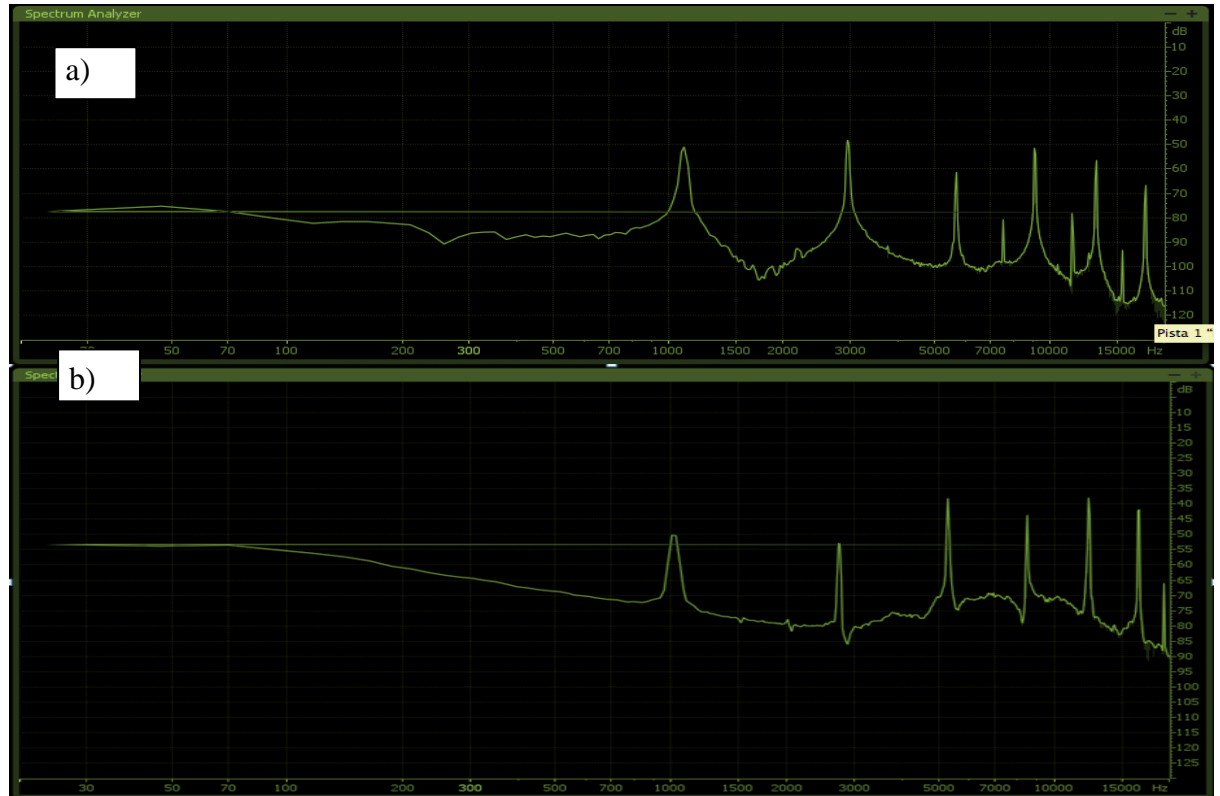
**Figura 17: Diagrama de Equilibrio Cu- Sn**

**DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Cu-Sn**



**Fuente:** SMITH, William F, HASHEM, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales Cuarta Edición.1998, Editorial Mc Graw Hill

**Figura 18. A continuación se muestran dos espectros frecuenciales correspondientes a las placas de Bronce antes y después de ser tratadas térmicamente**



En la figura 18 se observa que en el espectro a), los armónicos presentan una amplitud menor, en comparación con el espectro b), debido a la presencia de dos fases de la placa de bronce antes del tratamiento térmico. La frecuencia fundamental se encuentra aproximadamente en 1100 Hz.

El espectro b) se correlaciona con la microestructura después del tratamiento térmico. Los resultados del espectro muestran el aumento de amplitud de los armónicos, producto de la disolución y unificación de las dendritas entre sí, debido a que existe una sola fase.

La frecuencia fundamental se desplaza hacia valores más bajos de 1100 Hz a 1000 Hz junto con las frecuencias de cada uno de los primeros armónicos, lo cual, indica que la dureza del material está directamente relacionada con el cambio de frecuencia.

Este comportamiento se presentó en el latón y el bronce, como se ha venido observando en los análisis, a mayor dureza la frecuencia fundamental disminuye y al cambio de microestructura los armónicos se acentúan, es decir, la amplitud aumenta lo que implica cambios en el tono del material.

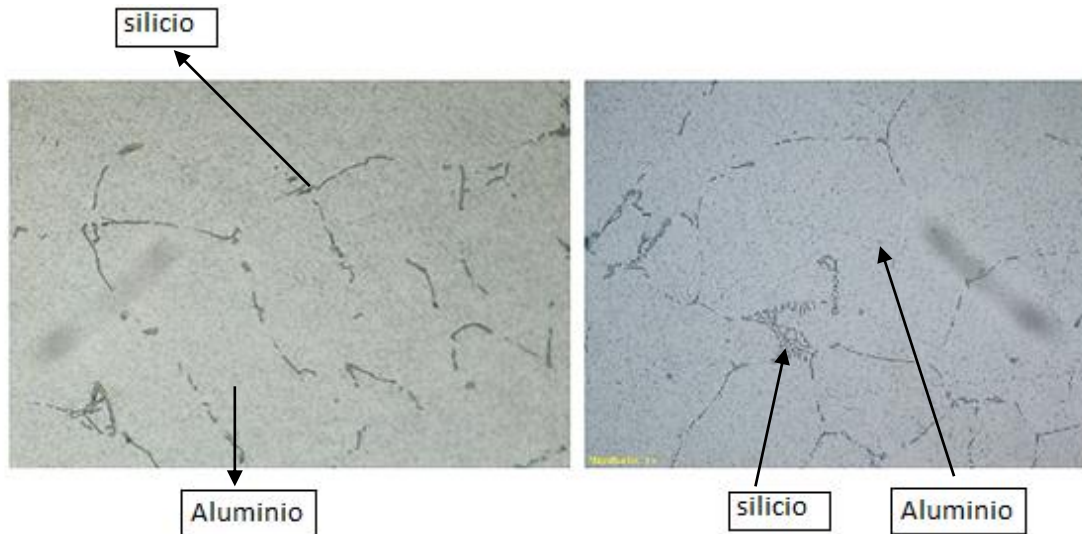
**Tabla 6. Armónicos del Bronce con su respectiva frecuencia y amplitud antes y después de aplicarles el TT**

Armónico	1	2	3	4	5	6	7	8
Frecuencia	3000 Hz	5800 Hz	7800 Hz	9000 Hz	12000 Hz	13800 Hz	15200 Hz	18000 Hz
Amplitud	48dB	61 db	81dB	52 dB	78 dB	56dB	92,5 dB	66 dB
Armónico	1	2	3	4	5	6		
Frecuencia	2800 Hz	5300 Hz	9000 Hz	3500 Hz	16000 Hz	18000 Hz		
Amplitud	53,5 dB	38 dB	43dB	38 dB	42 dB	66dB		

En la tabla 6: Se evidencia el desplazamiento de todo el espectro hacia un rango menor de frecuencias en cada armónico, implicando un cambio a un tono más grave. También ocurre un aumento en la amplitud de los armónicos generando un sonido más brillante al vibrar la placa.

- Aluminio

**Figura 19. Microscopia Aluminio a 200x después del ataque, *Antes del tratamiento térmico***

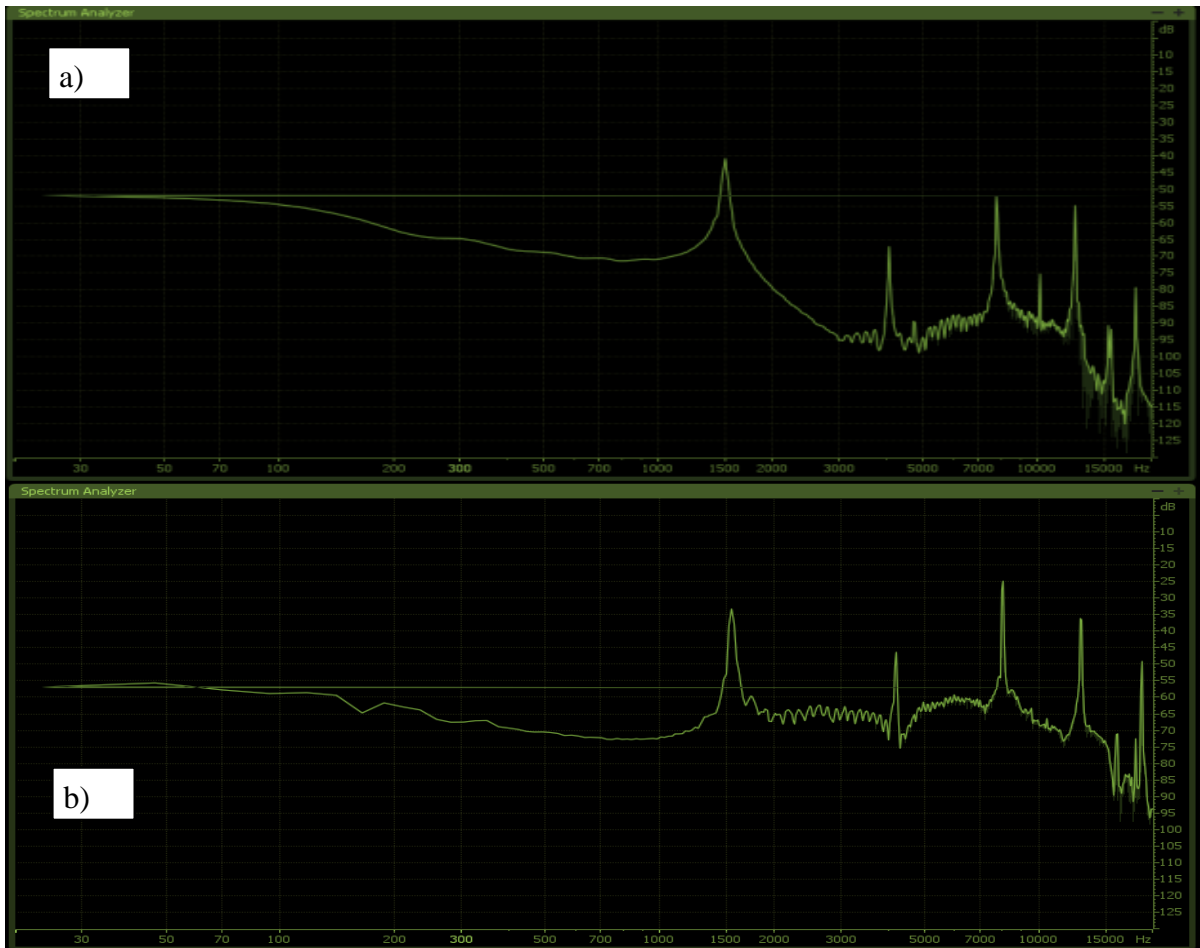


**Figura 20. Microscopia Aluminio a 200x después del ataque, *después del tratamiento térmico***

En la figura 19 se presenta una micrografía en la cual se puede apreciar una gran cantidad de diminutas partículas redondeadas correspondientes al aluminio, sobre las cuales se encuentra un constituyente de color gris oscuro en forma de finas láminas, las cuales están distribuidas uniformemente en la muestra; láminas correspondientes a precipitaciones de silicio.

La micrografía de la figura 20 presenta mayor cantidad de precipitaciones de silicio distribuidas sobre la matriz de aluminio, seguido de una agrupación de las mismas. Todo esto producto del tratamiento térmico de temple a la que fue sometida la probeta.

**Figura 21. A continuación se muestran dos espectros frecuenciales correspondientes a las placas de Aluminio antes y después de ser tratadas térmicamente**



En la figura 21 el espectro frecuencial a), corresponde a la respuesta en frecuencia de la placa de aluminio sin tratamiento. Se puede observar que la frecuencia fundamental se encuentra aproximadamente en 1500 Hz, presentándose una frecuencia mucho más alta en comparación con el latón y el bronce.

En el espectro (b, correspondiente a la respuesta en frecuencia de la placa de aluminio después de ser tratada térmicamente, la frecuencia fundamental

aumenta a 1600 Hz y en cuanto a los armónicos varían en amplitud, bajo la misma tendencia de los tres materiales. Como resultado de una mayor cantidad de precipitaciones de silicio sobre la matriz de aluminio, la dureza del material en este caso disminuye debido a que la aleación no sufre cambio microestructural al templarse.

**Tabla 7. Armónicos del Aluminio con su respectiva frecuencia y amplitud antes y después de aplicarles el TT**

<b>Armónico</b>	1	2	3	4	5	6
Frecuencia	4000 Hz	7900 Hz	10000 Hz	12500 Hz	16000Hz	17000 Hz
Amplitud	67 dB	52dB	75 dB	55dB	79dB	80dB
<b>Armónico</b>	1	2	3	4	5	6
Frecuencia	4100 Hz	8000 Hz	12500 Hz	16000 Hz	17000Hz	18000 Hz
Amplitud	52 dB	39dB	67 dB	44dB	59dB	50 dB

En la tabla 6 se puede observar el aumento de amplitud de algunos de los armónicos que vibran en la placa. Producto de esto se da una transformación de la envolvente acústica, lo que implica cambios directos en el timbre o calidad sonora del material, dando como resultado un sonido más agudo.

## 7. CONCLUSIONES

Acústicamente podemos clasificar los resultados obtenidos en dos aspectos. Por un lado la ubicación y amplitud de la frecuencia fundamental, la cual da la cualidad del tono y por el otro lado la organización y amplitud de los parciales armónicos, lo cual tiene implicaciones directas en el timbre.

Con base en los resultados obtenidos con el espectrómetro de software, observamos la tendencia después del tratamiento térmico en los tres materiales a aumentar la amplitud en sus componentes armónicas de mayor frecuencia, lo que da como resultado un sonido más brillante. Además, en las aleaciones encontramos la particularidad del desplazamiento de la frecuencia fundamental, modificando el tono de la placa.

Cada una de las placas sufrió un cambio drástico en su microestructura, y dureza: Aluminio pasó de HRB 49 a 46, Latón HRB 65 a HRB 70.33, Bronce HRB 86 a 98.33. Vemos que en las dos aleaciones la dureza aumentó después del tratamiento térmico y en contraste, el aluminio se volvió más blando producto del tratamiento (temple). Los tiempos y temperaturas propuestos fueron elevados, según el diagrama de fase de cada material y se concluye que dicho tratamiento influyó directamente en la respuesta acústica de cada placa. Como resultado de este trabajo se observó que al disminuir la dureza del aluminio, la frecuencia aumenta, registrando un comportamiento contrario al observado en el bronce y latón quienes al aumentar la dureza disminuyeron las frecuencias. Sin embargo para la totalidad de las muestras después de tratadas los armónicos aumentan la amplitud.

Con el análisis químico de microscopía electrónica de barrido (SEM.EDS), se corroboró que el porcentaje utilizado para la fundición de cada material era el indicado inicialmente. Sin embargo se tomaron varios puntos en las muestras de latón y bronce, para sacar un promedio el cual arrojará un resultado aproximado pues al fundir los materiales la composición se podía alterar por factores externos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Es importante llevar a cabo una inspección previa de los equipos utilizados para realizar la fundición y los tratamientos térmicos, con el fin de verificar su correcto funcionamiento y su adecuada calibración, esto asegura un buen desempeño de los mismos durante el proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. CARU, Castro, Andres A. Caracterización Acústica de los materiales.Chile. Universidad Austral de Chile. [En línea].[Fecha de consulta: 3 de junio de 2014]. Disponible:  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfccic329c/doc/bmfccic329c.pdf>
2. SYDNEY H, Avner.Introducción a la Metalurgia Física.Segunda Edición, 1988. P.477.
3. SMITH, William F, HASHEM, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales Cuarta Edición.1998, Editorial Mc Graw Hill [En línea][Fecha de consulta: 15 de julio de 2014]. Disponible:  
  
<http://chirinossilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/fundamentos-de-la-ciencia-e-ingenieria-de-materiales-4ta-edicion-3b3n-william-f-smith-javad-hashemi.pdf>
4. VALENCIA, Giraldo, Asdrúbal. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Editorial Universidad de Antioquia.
5. DIETER, George E. Metallurgical mechanical. Drexel institute of technology. Philadelphia. P,253
6. ASTM E 18-03 .Standard Test Methods for Rockwell Hardness
7. RECUERO López, Manuel. Ingeniería acústica 2000. Editorial Parafino .ITP. Madrid España. P51,557

8. MIYARA, Federico. Acústica y sistemas de sonido 1999.Tercera Edición. [En línea][Soporte teórico].Rosario [Fecha de consulta:22 de julio de 2014].Disponible:

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208031/ENTRENAMIENTO\\_AUDITIVO\\_-\\_AVA/DOCUMENTOS\\_DE\\_APOYO/acustica-y-sistemas-de-sonido-f-miyara.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208031/ENTRENAMIENTO_AUDITIVO_-_AVA/DOCUMENTOS_DE_APOYO/acustica-y-sistemas-de-sonido-f-miyara.pdf)

9. ALTON Everest, F.POHLMANN,Ken C.Master hadbook of acoustics. Fifth Edition.[En línea] [Fecha de consulta 28 de Julio de 2014].Disponible:

<http://andrealbino.wikispaces.com/file/view/Master+Handbook+of+Acoustics+-+5th+Edition+-+F.+Alton+Everest,+Ken+C.+Pohlmann.pdf>

## BIBLIOGRAFÍA

ALTON Everest, F. POHLMANN, Ken C. Master handbook of acoustics. Fifth Edition. [En línea] [Fecha de consulta 28 de Julio de 2014]. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208031/ENTRENAMIENTO\\_AUDITIVO\\_-\\_AVA/DOCUMENTOS\\_DE\\_APOYO/acustica-y-sistemas-de-sonido-f-miyara.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208031/ENTRENAMIENTO_AUDITIVO_-_AVA/DOCUMENTOS_DE_APOYO/acustica-y-sistemas-de-sonido-f-miyara.pdf)

ASTM E 18-03 .Standard Test Methods for Rockwell Hardness

CARU, Castro, Andres A. Caracterización Acústica de los materiales. Chile. Universidad Austral de Chile. [En línea]. [Fecha de consulta: 3 de junio de 2014]. Disponible: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcic329c/doc/bmfcic329c.pdf>

DIETER, George E. Metallurgical mechanical. Drexel institute of technology. Philadelphia. P,253

F. ALTON EVEREST Y KEN C. POHLMANN. Master Handbook of Acoustics Fifth Edition.- [en línea] [citado 10 septiembre de 2015] Disponible en: <http://andrealbino.wikispaces.com/file/view/Master+Handbook+of+Acoustics++5th+Edition++F.+Alton+Everest,+Ken+C.+Pohlmann.pdf>

WILLIAM F. Smith. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, 4th Edition. [en línea] [citado 10 septiembre de 2015] Disponible en: <http://chirinosilvero.files.wordpress.com/2012/05/fundamentos-de-la-ciencia-e-ingenieria-de-materiales-4ta-edicion-3b3n-william-f-smith-javad-hashemi.pdf>

MIYARA, Federico. Acústica y sistemas de sonido 1999.Tercera Edición. [En línea][Soporte teórico].Rosario [Fecha de consulta:22 de julio de 2014].Disponible:

RECUERO López, Manuel. Ingeniería acústica 2000. Editorial Parafino .ITP. Madrid España. P51,557

SMITH, William F, HASHEM, Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales Cuarta Edición.1998, Editorial Mc Graw Hill [En línea][Fecha de consulta: 15 de julio de 2014]. Disponible:

SYDNEY H, Avner.Introducción a la Metalurgia Física.Segunda Edición, 1988. P.477.

VALENCIA, Giraldo, Asdrúbal. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Editorial Universidad de Antioquia.

# ANEXOS

## Anexo A: Resultado pruebas de SEM-EDS

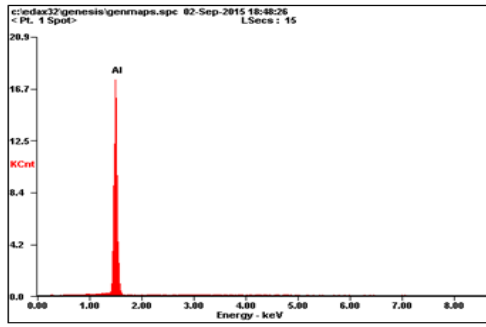
### Aluminio

#### Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

9/2/2015



Element	Wt%	At%
AlK	100.00	100.00
Matrix	Correction	ZAF

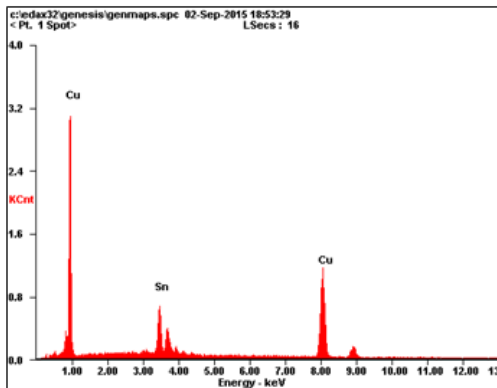
### Bronce

#### Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

9/2/2015



Element	Wt%	At%
SnL	23.31	14.00
CuK	76.69	86.00
Matrix	Correction	ZAF

# Latón

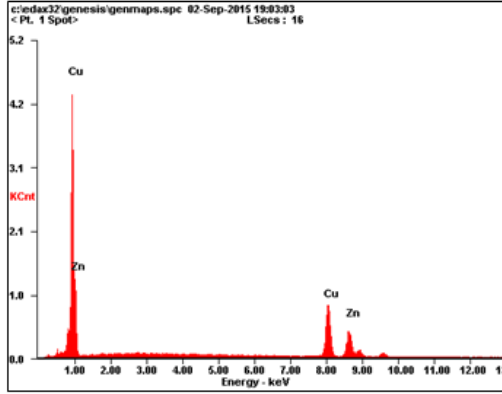
## Microanalysis Report

Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*



9/2/2015



Element	Wt%	At%
CuK	60.92	61.59
ZnK	39.08	38.41
Matrix	Correction	ZAF