

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA|  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	Helber Yecid
Apellido (s):	Martínez Mahecha
Código:	20101275020
E-mail:	helyemar@hotmail.com
Teléfono fijo:	825 40 04
Celular:	311 893 51 32



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	Yoan Andrés
Apellido (s):	Rodríguez Basto
Código:	20062275023
E-mail:	joanrodriguez4@gmail.com
Teléfono fijo:	806 08 59
Celular:	312 422 65 47



**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	INFLUENCIA DEL CAMBIO DE LA MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA OCASIONADO POR EL TRATAMIENTO TERMICO DE ENVEJECIDO ARTIFICIAL EN LA VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO EN UN ALUMINIO 6061 T6	
Duración (estimada):	9 Meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyectos Científicos y Comunitarios	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Desarrollo Tecnológico Local e Institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Materiales y Procesos	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	CIENCIA DE LOS MATERIALES	

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	

## CONTENIDO

	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	8
1.2 PROYECTO DE GRADO	9
2. ESTADO DEL ARTE	10
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 OBJETIVO GENERAL	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5. MARCO TEÓRICO	17
5.1 TRATAMIENTO TERMICO	17
5.1.1 Tratamiento de Solubilización	18
5.1.2 Enfriamiento Rápido	20
5.1.3 Tratamiento de Envejecido Artificial	21
5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO	22
5.3 DUREZA ROCKWELL	22
5.4 ENSAYO DE IMPACTO	23
5.5 ENSAYO DE ULTRASONIDO	24
6. METODOLOGÍA	25
6.1 FASE DOCUMENTAL	25
6.2.1 DOCUMENTACIÓN TECNICA	25

6.2.2 Documentación de Equipos	25
6.3 FASE TEÓRICO PRÁCTICA	25
6.3.1 Análisis de la Información	25
6.3.2 Fabricación de Probetas	26
6.4 FASE DE LOS ENSAYOS	26
6.4.1 Alistamiento de los Equipos	26
6.4.2 Desarrollo de Ensayos	26
6.4.2.2. Ensayo de Detector de Fallas por Ultrasonido	26
6.4.2.3. Ensayo de Impacto	27
6.4.2.4. Microscopia Óptica	27
6.4.2.5. Microscopia Óptica de Barrido	28
6.5 FASE DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO	28
6.5.2 Análisis de Datos	28
7. CRONOGRAMA	29
8. COSTOS	30
9. BIBLIOGRAFÍA	32

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fases del tratamiento térmico de envejecido.	21
Figura 2. Posición de la probeta de impacto.	24
Figura 3. Detector de fallas por ultrasonido USM 35.	27
Figura 4. Péndulo de impacto 5A-10700 Satec.	27

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Composición química de la aleación 6061 en %.	22
Cuadro 2. Propiedades mecánicas aleación 6061 T6.	22
Cuadro 3. Cronograma de actividades.	29
Cuadro 4. Presupuesto global.	30
Cuadro 5. Costos recurso humano.	30
Cuadro 6. Costos materiales.	31
Cuadro 7. Costo ensayos.	31
Cuadro 8. Costo documentación.	31

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción mundial de aluminio según la Oficina Mundial de Estadísticas del Metal en año 2.008 fue de 39.425.000 toneladas, en comparación con el año 2.005 tuvo un incremento del 23,2%, de igual manera el consumo de aluminio para el mismo periodo tuvo un incremento del 19,16%, destacándose China como el mayor productor y consumidor para el 2008, con 13.177.000 toneladas, equivalente a un 33,4% de la producción para dicho año y su consumo de aluminio fue de 32,8%.

En América del Sur, en particular para el caso de Brasil, según el periódico Business News Américas en su artículo Consumo nacional de aluminio crecerá 8,9% anual en periodo 2012-2025, pronostica ABAL, de fecha 27 de Diciembre del 2011, "El mercado nacional del aluminio se expandiría en más de 9% el 2012 y mantendría ese ritmo promedio en los próximos 15 años"<sup>1</sup>, manifestó la ABAL, por otro lado Colombia aunque no produce grandes cantidades de aluminio si importa y procesa este metal para exportar elementos terminados. Lo anterior, evidencia una fuerte tendencia al aumento en la producción y consumo de aluminio en el mundo.

Coherentemente con esta información en los últimos años, el aluminio ha ganado terreno en aplicaciones que tradicionalmente eran de otros metales, según artículo El aluminio gana terreno sobre el acero y el cobre, Aluminium INDIA 2013, Bombay Exhibition centre "La demanda de aluminio es el punto fuerte; está creciendo más rápido que otros grandes metales," dijo Colin Pratt<sup>2</sup>, consultor de estrategias de gestión de CRU. "Esto es debido a la reducción de peso de coches y aviones y al rápido crecimiento de los mercados emergentes. El aluminio se utiliza en ruedas, radiadores, motores, incluso de coches de lujo, y reemplaza al acero en los paneles de la carrocería." El uso del aluminio está en auge en automóviles y aviones, debido a las nuevas normas legislativas de reducir las emisiones e incrementar la eficiencia del combustible, dice Philippe Meyer, vicepresidente y Director de Tecnología de Aleris Rolled Products Germany GmbH, productor de aluminio laminado y de productos extruidos<sup>3</sup>.

Las aleaciones de aluminio en Colombia son utilizadas en partes de aeronaves, de vehículos (bloque del motor de autos y camiones; tapas de cilindros, intercambiadores de calor, cajas de transmisión, partes de motor y ruedas de

---

<sup>1</sup>Consumo nacional de aluminio crecerá 8,9% anual en periodo 2012-2025, pronostica ABAL Business News Américas. EN: Business News Américas. (27, diciembre, 2011). Internet: (<http://www.bnamericas.com/news/metales/consumo-nacional-de-aluminio-crecera-89-anual-en-periodo-2012-2025-pronostica-abal>)

<sup>2</sup> El aluminio gana terreno sobre el acero y el cobre. EN. Bombay Exhibition centre, Mumbai, India. Internet: (<http://www.ersi.es/PDF/Nota%20de%20prensa%20AAI%20ALU%20INDIA%202013.pdf>)

<sup>3</sup>Ibid., p.2.

automóviles), carros de ferrocarril, buques de altura, entre otras, gracias a su resistencia mecánica, que en comparación con otros metales es muy similar y una de sus ventajas radica en que las aleaciones del aluminio poseen una densidad mucho menor, lo que permite que los elementos fabricados sean ligeros, pero las propiedades mecánicas del aluminio puro, no son tan buenas como la de sus aleaciones, es por ello, que no es conveniente usarlo en aplicaciones industriales antes de mejorar sus propiedades mecánicas y esto únicamente se consigue realizando aleaciones con otros elementos, ya que el aluminio puro no es tratable térmicamente.

El aluminio se puede alear con el cobre, manganeso, silicio, magnesio, zinc, entre otros, mejorando su resistencia a la tracción, sin reducir demasiado otras propiedades favorables, tales como la ductilidad y el peso, además dependiendo del material con el que se realice la aleación, se pueden mejorar aun más sus propiedades mecánicas con tratamientos térmicos.

Para lograrlo se debe realizar la aleación con alguno de estos elementos; Cobre, Magnesio y Silicio o con Zinc, estas aleaciones del aluminio según la norma ASTM B275, emitida por EEUU, se designan 2xxx, 6xxx y 7xxx, respectivamente.

Los elementos aleantes anteriormente mencionados, son solubles en estado sólido con el aluminio, lo que les permite ser tratables térmicamente, uno de los tratamientos térmicos más utilizado en estas aleaciones es el envejecimiento artificial, ya que permite mejorar la resistencia a la tracción hasta su máximo posible, para esto primero se realiza un temple elevando la temperatura a un rango de 430 a 550°C, manteniéndola para diluir los elementos aleantes en el aluminio, luego se debe enfriar súbitamente hasta temperatura ambiente para mantener en un estado metaestable los elementos aleantes en la matriz de aluminio, posteriormente se procede a realizar el envejecimiento artificial elevando la temperatura entre los 110 y 200°C, manteniendo esta condición por un tiempo determinado, con esto se consigue mejor aun más las propiedades de la aleación, ya que consigue precipitaciones de partículas del material aleado endureciéndolo, este endurecimiento esta en función del tamaño, forma, cantidad y distribución de las precipitaciones. Los precipitados se conocen como coherentes o semi-coherentes y son compuestos intermetálicos metaestables que poseen una red cristalina y composición química diferente a la del compuesto intermetálico en equilibrio, la aparición de nuevo de este último solo se logra con un sobre-envejecimiento realizándolo a una temperatura bastante alta, durante un tiempo superior al requerido para llegar al máximo endurecimiento.

En las aleaciones de serie 6xxx, compuestas por Silicio y Magnesio, particularmente la 6061 bastante utilizada en la aeronáutica, a la cual normalmente se realiza tratamiento térmico de solución con envejecimiento artificial T6 (descrito arriba),

llama la atención para ser estudiada por parte de la academia, ya que con apenas 160 años aproximadamente en el mercado, todavía tiene mucho por descubrir y mejorar por ser un metal relativamente joven y así como las demás aleaciones del aluminio están destinadas a protagonizar el campo aeronáutico en los siguientes años.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, está llamada a realizar investigaciones en el campo de los materiales en pro del desarrollo del país, es en esta área donde se evidencia una excelente oportunidad para aportarle a la sociedad colombiana y en particular a la comunidad universitaria de la Facultad Tecnológica, investigaciones y estudios alrededor de los tratamientos térmicos en las aleaciones de aluminio, específicamente uno que analice el efecto que produce el envejecimiento artificial en una aleación de aluminio 6061 T6 en la velocidad de propagación del sonido, este tipo de trabajo no se ha realizado en la Universidad y a nivel nacional no se consigue mucha información acerca de este tema y es oportuno ampliar las referencias y antecedentes, para que a futuro sirvan de base para el desarrollo de nuevos procesos de tratamientos para estas aleaciones.

## 1.1 DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

Debido a la penetración en el mercado mundial y nacional, que ha tenido las aleaciones de aluminio en los últimos años, por ser una excelente alternativa para remplazar materiales tradicionales, como el acero en aplicaciones aeronáuticas y automotrices, en busca de optimizar diseños para reducir todo tipo de consumo esto de la mano con las actuales políticas ambientales, el tratamiento térmico de envejecimiento artificial, empieza a tener mayor relevancia toda vez que es uno de las técnicas más utilizadas para mejorar las propiedades mecánicas, pero la selección de la temperatura y el tiempo adecuado para obtener las propiedades deseadas, dependen de las características buscadas<sup>4</sup>, ya que al mejorar una propiedad, otra se deteriora.

Los métodos y tipos de ensayos para calcular la dureza y resistencia de un material a las cargas de impacto, así como el análisis de micrografías para determinar la estructura cristalina, dislocaciones y las fases presentes en el material ya están bastante documentadas, pero con ayuda de un equipo de ultrasonido en 2d, se puede llegar a encontrar la relación entre las propiedades mecánicas mencionadas y las fases presentes, dislocaciones y estructura cristalina del material, para un

---

<sup>4</sup>Bohórquez Carlos, Sierra Mauricio y Lemus Javier. Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento en las propiedades mecánicas de los aluminios 6061 T6 y 6063 T5. Bogotá: Colciencias, 2011.



tratamiento de envejecido artificial ha realizado a una temperatura constante y a un tiempo de exposición variable.

## 1.2 PROYECTO DE GRADO

El problema que asume el presente proyecto de grado, es realizar un estudio que determine como el cambio de microestructura ocasionado por el envejecimiento artificial, modifica la velocidad de propagación del sonido en un aleación de aluminio 6061 T6.

## 2. ESTADO DEL ARTE

El presente estado del arte, permite identificar como se ha venido investigando en algunas universidades, la influencia del envejecido en las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio.

La búsqueda de las fuentes documentales, se realizó en bases de datos de bibliotecas de diferentes países, el resultado obtenido de dicha consulta arroja 17 documentos entre artículos científicos, libros entre otros, de los cuales 3 artículos son del contexto nacional entre ellos 1 de la Universidad Distrital, 10 de origen Iberoamericano y 4 de otros países.

En el siglo XIX el aluminio era excesivamente costoso producirlo y sus propiedades mecánicas dejaban mucho que desear, es a partir de la primera guerra mundial donde surge la necesidad de remplazar el acero con un material menos pesado y con resistencia similar, desde ese momento empieza su implementación en la aviación, conforme avanzan las investigaciones en este campo sus propiedades se han ido mejorando, una de las técnicas más usadas para ello, es el envejecimiento artificial, uno de estos estudios es la Tesis para obtención del grado de Doctor en ingeniería de materiales TRATAMIENTO TÉRMICO DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO 6063, donde el autor busca determinar el efecto del envejecido artificial sobre la dureza de la aleación, realizando una serie de tratamientos térmicos, elevando la temperatura del material hasta el punto de solubilización a 520°C y posterior descenso a temperatura ambiente, variando la velocidad de enfriamiento, luego realiza envejecido a 130, 180 y 230 °C, a las diferentes muestras les aplica ensayos de microdureza, difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión, obteniendo las siguientes conclusiones; a mayor temperatura de envejecimiento se requiere un menor tiempo para alcanzar la dureza máxima, pero esta resulta ser menor, se puede encontrar la dureza máxima después del envejecido en función del intervalo de precipitación durante el enfriamiento continuo<sup>5</sup>, en la anterior tesis el autor logra determinar las condiciones para encontrar la máxima dureza de la aleación en particular, siguiendo por esta línea de investigación A. Forn, M.T. Baile y E. Rupérez. En el VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, Gandía 2002, presentaron su artículo OPTIMIZACION DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENVEJECIMIENTO EN MATERIALES COMPUESTOS BASE DE ALUMINIO. Este estudio así como el anterior busca determinar las condiciones óptimas de tratamiento térmico para obtener los mejores resultados posibles en un envejecimiento, presentando la gran diferencia que la aleación tratada es 6061, aparte de esto los autores realizan la caracterización

---

<sup>5</sup> Cavazos García José Luis. tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063., Tesis (Doctorado en ingeniería de materiales). México.: Universidad Autónoma de nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y eléctrica, División de Estudios de Postgrado. 1998. 1, 86p.

microestructural obtenida con el envejecido bajo condiciones óptimas del tratamiento analizando la evolución microestructural de la aleación. El procedimiento fue el siguiente: elevación de la temperatura hasta los 560 °C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min, esta temperatura se mantuvo durante 2 horas, seguido del envejecido artificial a 175°C durante 1,3,6,10,12,24,48h, luego de analizar los datos obtenidos por ensayos de dureza, microdureza y microscopia electrónica de barrido, finalmente los autores concluyen que el máximo endurecimiento en la aleación 6061 se alcanza entre 6 y 10 horas, para una puesta en solución de 560°C, y una temperatura de envejecimiento de 175°C.<sup>6</sup>, estos resultados obtenidos ratifican la teoría que suministran diferentes textos académicos sobre este tema.

En el año 2005 Teresa Baile Puig presenta su memoria de Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias-Especialidad Química de la Universidad Politécnica de Catalunya, ESTUDIO DE LA CONFORMACION DE COMPONENTES ALUMINIO-SILICIO EN ESTADO SEMISOLIDO, donde realiza el estudio del efecto de los tratamientos térmicos en la microestructura, propiedades mecánicas y mecanismos de fractura y uno de sus principales objetivos es la relación entre la estructura y las propiedades mecánicas, en materiales obtenidos en diferentes condiciones de procesamiento y tratamiento térmico; el estudio cinético de la evolución del silicio, esta tesis abarca desde el procesamiento hasta los tratamientos térmicos de envejecido, por la naturaleza de la presente propuesta se pone especial atención a los resultados obtenidos de los tratamientos térmicos, así como a los factores que interviene en efecto de esferoidización, está influenciado por una serie de factores, como son la temperatura a la cual se efectúa el ensayo, el tiempo de tratamiento, la estructura de partida(modificada o no modificada) y la composición de la aleación.<sup>7</sup>, los resultados obtenidos experimentalmente llevan al autor a las siguientes conclusiones:

- Los tratamientos isotérmicos prolongados entre 450 y 550 ° C, y los tratamientos T6 favorecen la coalescencia de la fase  $\alpha$  y de crecimiento de los cristales de silicio.
- La dureza HB disminuye al aumentar la temperatura y el tiempo de tratamiento isotérmico, debido a la esferoidización del silicio con esto el grano crece, en la fase  $\alpha$  la microdureza aumenta de 500 a 550°C y disminuye a 450°C, debido a que el magnesio no se redisuelve y precipita los compuestos intermetálicos.

---

<sup>6</sup> A. Forn, M.T. Baile y E. Rupé. OPTIMIZACION DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ENVEJECIMIENTO EN MATERIALES COMPUESTOS BASE DE ALUMINIO. Catalunya, 2002.865p.

<sup>7</sup> Teresa Baile Puig. ESTUDIO DE LA CONFORMACION DE COMPONENTES ALUMINIO-SILICIO EN ESTADO SEMISOLIDO.Tesis (Doctorado en Ciencias). Catalunya.: Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, 2005.III.8p

Hasta acá las tesis, artículos y documentos relacionados abordan el estudio del efecto del tratamiento térmico de envejecimiento artificial, en las propiedades mecánicas de diferentes aleaciones, determinando las condiciones necesarias para llegar al máximo de endurecimiento y la relación que se tiene entre las propiedades obtenidas y la microestructura encontrada, así como las dislocaciones y zonas de Guinier Preston presentes a diferentes periodos de envejecimiento, para llegar a estas conclusiones los autores aplican ensayos destructivos, que implican un mecanizado del material de acuerdo al tipo de ensayo que se vaya a realizar para determinar las propiedades mecánicas y compararlas con micrografías tomadas a las aleaciones expuestas al tratamiento térmico.

En el contexto latinoamericano, se encontró un trabajo de suma relevancia e importancia como antecedente ya que en dicho estudio como en los mencionados arriba, también se buscaba determinar las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio, expuesta a un tratamiento térmico, pero con la gran diferencia que las propiedades mecánicas los autores las determinan basado en un ensayo no destructivo, esta investigación titulada ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS SEÑALES OBTENIDAS DE UN ENSAYO ULTRASÓNICO DE CONTACTO EN LA ALEACIÓN DE ALUMINIO AA5052 HOMOGENIZADA, realizado por César E. Flores, Freddy Fraudita, Carlos González, Demian Pereira, de la Universidad Central de Venezuela, presentado en la quinta conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos, en México. En este estudio, los autores mencionan el ensayo de ultrasonido como una de las técnicas más usadas, junto con el análisis espectral para la caracterización de las propiedades de los materiales, ya que el ultrasonido que se desplaza por el material se ve afectado por los cambios en la microestructura de este. Cuando un pulso ultrasónico se propaga a través de un material, interactúa con sus componentes microestructurales (granos, inclusiones, grietas, etc.), esta interacción puede ser cuantitativa relacionada con sus tamaños y geometrías, así como con la longitud de onda incidente, esta interacción puede ser evaluada como un cambio en la distribución de frecuencia del eco transmitido (análisis espectral de eco) o de la señal del ruido (análisis espectral del ruido)<sup>8 9 10</sup>, la aleación de aluminio utilizada fue una AA 5052, y se le realizó un tratamiento de homogenización a 560°C, realizándose este tratamiento a 0, 16 y 32 horas, para determinar las propiedades mecánicas tales como: el Módulo de Young(E), el módulo de Corte y la relación de Poisson( $\nu$ ), midieron el  $\Delta T$  existente entre los ecos de reflexión con los

---

<sup>8</sup> E. Rodríguez, F. Fraudita, L. Amorer. "Effect of Surface Roughness in Ultrasonic Testing (Pulse-echo by Direct contact) in AISI/SAE 4340 Steel Samples. NDT & E International. Vol. 8 N° 11. 2003, citado por César E. Flores, Freddy Fraudita, Carlos González, Demian Pereira.

<sup>9</sup> Nondestructive Testing Handbook, "Ultrasonic Testing", 2nd edition, Volume 7, ASNDT, USA, 1992, citado por César E. Flores, Freddy Fraudita, Carlos González, Demian Pereira.

<sup>10</sup> J. Gómez. "Estudio de las Transformaciones Ocurridas Durante el Tratamiento Térmico de Homogenización en la Aleación de Aluminio 5052 producida por C.V.G. ALCASA". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. 1998, citado por César E. Flores, Freddy Fraudita, Carlos González, Demian Pereira.

palpadores longitudinales y transversales de 2,25 y 5 MHz, para obtener la Velocidad del sonido longitudinal y transversal (VL y VT).<sup>11</sup> Para luego aplicar las siguientes ecuaciones:

$$\text{Modulo de Young } E = \frac{\rho * VT^2 * (3VL^2 - 4VT^2)}{VL^2 - VT^2} \quad (1)$$

$$\text{Modulo de Corte } G = \rho * VT^2 \quad (2)$$

$$\text{Relacion de Poisson } \nu = \frac{VL^2 - 2VT^2}{2VL^2 - 2VT^2} \quad (3)^{12}$$

El con los resultados obtenidos del ultrasonido y la micrografía concluyeron lo siguiente:

- Mediante la aplicación del análisis espectral al ensayo ultrasónico de pulso-eco de contacto directo, se puede diferenciar el grado de homogenización de la aleación de aluminio AA 5052.
- La obtención de las velocidades longitudinales y transversales típicas de cada condición de tratamiento por medio del ensayo de pulso eco por contacto directo, permiten obtener un valor preciso de: el Módulo Young, el módulo de corte, el módulo volumétrico y el radio de poisson de la aleación AA 5052 sin necesidad de aplicar las técnicas convencionales de ensayos mecánicos.

En el anterior estudio, los autores logran demostrar como las técnicas de ultrasonido, pueden aportar a la caracterización de materiales según los cambios estructurales generados por el tratamiento térmico.

A nivel nacional, se citan artículos científicos como el de la Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento, en las propiedades mecánicas de los aluminios 6061 T6 y 6063 T5. El tratamiento térmico se realizo en un rango de temperaturas de 150 y 210°C y los tiempos de exposición de 12 a 72 horas, basados en las gráficas de envejecimiento del *ASM metals handbook*. Volumen 4. En este estudio los autores identifican las condiciones óptimas para obtener los mejores resultados posibles en las propiedades de los materiales utilizados. Por último tenemos el ANALISIS DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DEL ALUMINIO 6061-T6 A UNA TEMPERATURA DE 170°C DURANTE TIEMPOS DE 12, 18, 24, 48, 72 Y 96 HORAS, el objetivo principal de este análisis fue la determinación de la influencia de la temperatura y el tiempo

---

<sup>11</sup>César E. Flores, Freddy Fraudita, Carlos González, Demian Pereira. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS SEÑALES OBTENIDAS DE UN ENSAYO ULTRASÓNICO DE CONTACTO EN LA ALEACIÓN DE ALUMINIO AA5052 HOMOGENIZADA. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. 2011.

<sup>12</sup>ASM Handbook. "Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials". ASM International. Vol 2. 1993. pp 351-355.

para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la aleación en particular, los resultados obtenidos fueron coherentes con la teoría de la bibliografía de textos guía, ya que como se menciona anteriormente con el tratamiento de envejecimiento al mejor una propiedad, se puede sacrificar otra y después de llegar al punto máximo de endurecimiento, si se mantiene la temperatura comienza a presentarse un sobre-envejecimiento, lo que produce que la dureza del material se reduzca.

Como se ha evidenciado en los estudios y análisis mencionados anteriormente, el común denominador es determinar las características de temperatura y tiempo, a las cuales las aleaciones utilizadas optimizan sus propiedades mecánicas y así mismo encontrar la relación con la estructura cristalina presente.

Es de interés particular de los servidores que presentan esta propuesta, realizar una investigación que complemente los resultados obtenidos en estudios anteriores, con el fin de documentar y ampliar las bases de datos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, para así contribuir con la formación de futuros profesionales que impulsen el desarrollo tecnológico del país.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Debido a la relevancia que ha tomado en los últimos años las aleaciones de aluminio a nivel mundial, es importante realizar investigaciones que contribuyan a identificar cómo mejorar sus propiedades mecánicas, en el país se han desarrollado estudios de investigación, que sirven de base para identificar las variables a tener en cuenta en tratamientos térmicos de envejecido en aluminios 6061, para mejorar sus propiedades mecánicas, es necesario complementar esta línea de investigación con el apoyo de ensayos no destructivos, en particular con el de ultrasonido que sirve de técnica alternativa para determinar las propiedades mecánicas de un material expuesto a un tratamiento térmico, ya que la velocidad de propagación del sonido del elemento, es susceptible a los cambios estructurales que sufre por la exposición a las temperaturas.

Es por esto, que se justifica el desarrollo de esta investigación, que busca relacionar las propiedades mecánicas, como son la resistencia a la tracción y la dureza del aluminio 6061, obtenidas por envejecimiento artificial junto con las dislocaciones puntuales y defectos en su microestructura, que se pueden identificar con ayuda del ultrasonido, estudio que no se ha realizado en la Universidad y es una excelente oportunidad para contribuir con la implementación de ensayos no destructivos, ya que al contrario de sus opuestos, no se requiere una preparación exhaustiva del material para su aplicación.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar como el cambio de microestructura ocasionado por el envejecimiento artificial, modifica la velocidad de propagación del sonido en una aleación de aluminio 6061 T6.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar tratamiento térmico de envejecimiento artificial al aluminio 6061 T6, variando el tiempo de exposición en 2, 4, 6, 8, 12 y 18 horas, a una temperatura constante de 180°C.
- Hacer ensayo de detección de defectos de la estructura con el detector de fallas por ultrasonido a una frecuencia de 15 MHz, para verificar incidencias del envejecimiento artificial en la velocidad de propagación del sonido.
- Relacionar las propiedades mecánicas de tensión, impacto y dureza con las estructuras metalográficas.
- Realizar los ensayos de Microscopia de barrido electrónico.



## 5. MARCO TEÓRICO

El aluminio es el metal más abundante sobre la corteza terrestre y ocupa el tercer lugar de los elementos más abundantes después del oxígeno y el silicio, es un metal muy apetecido en distintas áreas de la industria porque tiene una apariencia muy agradable para la vista, es un buen conductor del calor y la electricidad, es resistente a la oxidación, es liviano, no tóxico, puede tomar casi cualquier color y textura; pero a su vez, en su estado puro es poco usado por tener sus propiedades mecánicas bajas.

Para aumentar las propiedades mecánicas, el aluminio se tiene que alejar con otros elementos como el cobre, manganeso, magnesio, silicio y zinc entre otros. Una vez aleado el aluminio, aumenta su resistencia mecánica por medio de deformación o por medio de un tratamiento térmico.

### 5.1 TRATAMIENTO TÉRMICO

Para hacer el tratamiento térmico, los elementos de aleación deben ser parcialmente solubles en estado sólido con el aluminio, con esto se puede llevar a cabo el tratamiento térmico conocido como envejecido, llamándose natural si se efectúa a temperatura ambiente o artificial si éste se realiza a una temperatura superior.

Los pasos a seguir para llevar a cabo el tratamiento térmico son los siguientes:

- Se debe elevar la temperatura hasta un punto en el cual los elementos de aleación se disuelvan (solubilización) ( *solution treatment* ).
- La temperatura debe ser reducida rápidamente para mantener en un estado metaestable a los elementos de aleación en solución dentro de la matriz a temperatura ambiente (enfriamiento rápido) ( *quenching* ).
- Propiciar la formación de precipitados que endurezcan la aleación (envejecido). Este endurecimiento está en función del tamaño, forma, cantidad y distribución de los precipitados.

Un paso muy importante del tratamiento térmico es el de enfriamiento rápido, puesto que su función es la de mantener a los elementos de aleación en solución a temperatura ambiente, si el enfriamiento se hace con una velocidad baja, puede ser que se obtenga precipitación prematura y debido a esto la resistencia mecánica, se

vea afectada durante el envejecido al alterarse la forma, cantidad y distribución de los precipitados.

La temperatura a la cual se debe efectuar la secuencia del tratamiento térmico y el tiempo requerido en aleaciones de la serie 6XXX para alambros o barras extruídas está estipulado en la norma ASTM 597 (8);

Solubilización 521 °C (970 °F) (El tiempo de solubilización, Tabla 3.1)  
 Enfriamiento rápido Temperatura del agua a 37.7 °C (100 °F).  
 Envejecido 182 °C (360 °F). Durante 6 horas.

### 5.1.1 Tratamiento de Solubilización

El principal propósito de la solubilización, es el de disolver por completo a los elementos de aleación, esto se puede lograr elevando la temperatura hasta tener una fase simple. Sin embargo es importante que la aleación no sea calentada por encima de la línea de solidus, porque podría haber sobrecalentamiento, es decir fusión de componentes, preferencialmente sobre fronteras de grano, con un resultado no deseado en ductilidad y otras propiedades mecánicas. Otra consideración adicional, es la de no elevar la temperatura más allá de la línea del eutéctico. Las temperaturas de solubilización de algunas aleaciones se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Temperaturas típicas para la solubilización de diferentes aleaciones

Tratamiento térmico de solubilización						
Temperatura del metal						
Aleación	Forma del Producto		°C	°F	designación	
<b>Aleaciones Al-Cu sin magnesio aleado</b>						
2011	Alambros y barras laminado en frío		525	975		T3
2219	Alambre, alambros y barras laminado en frío.	535	995		T351	
	Alambros y barras extruídos.		535	995		T31
2036	Láminas			500	930	T4
<b>Aleaciones Al-Cu-Mg-Si</b>						
2008	Láminas			510	950	T4
2017	Alambros, alambros y barras laminado en frío	500		935		T4
<b>Aleaciones Al-Cu-Li</b>						
2090	Láminas			540	1000	T3
<b>Aleaciones Al-Mg-Si</b>						
6010	Láminas			565	1050	T4
6063	Alambros, barras, formas y tubos extruídos	520	970		T1	
6262	Alambros, alambros y barras rolado en frío.		540	1000		T4
<b>Aleaciones Al-Zn</b>						
7050	Placa			475	890	W51
7475	Lámina			515	950	W

Fuente. Tesis de grado, tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063, Jose Luis Cavazos, Junio. 1998.

El tiempo a una temperatura nominal para que se lleve a cabo completamente el tratamiento de solubilización (*soak time*), es una función de la microestructura antes del tratamiento y de las dimensiones de la pieza. Esta temperatura puede variar desde menos de un minuto para láminas delgadas hasta 20 horas para masas grandes. Una guía de información del tiempo requerido para la solubilización, para productos forjados en función del espesor se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Tiempo para el tratamiento de solubilidad de aleaciones de aluminio trabajadas.

Espesor, in	Tiempo de empape, minutos			
	Horno al aire		baño de sal	
	min	max	min	max
0.016 y menor	20	25	10	15
0.017 a 0.020	20	30	10	20
0.021 a 0.032	25	35	15	25
0.033 a 0.063	30	40	20	30
0.064 a 0.090	35	45	25	35
0.091 a 0.124	40	50	30	40
0.125 a 0.250	50	60	35	45
0.251 a 0.500	60	70	45	55
0.501 a 1.000	90	100	60	70
1.001 a 1.500	120	130	90	100
1.501 a 2.000	150	160	105	115
2.001 a 2.500	180	190	120	130
2.501 a 3.000	210	220	150	160
.001 a 3.500	240	250	165	175
3.501 a 4.000	270	280	180	190

Fuente. Tesis de grado, tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063, Jose Luis Cavazos, Junio, 1998.

La disolución depende de:

- El tamaño y distribución de los precipitados existentes.
- La temperatura y el tiempo de permanencia arriba de la temperatura de solubilidad.
- Grado de deformación.

La cinética de disolución en ausencia de deformación, es relativamente más lenta y puede requerir muchos minutos, si los precipitados están relativamente grandes y si

la temperatura está sólo un poco arriba de la de solubilidad. Al deformar el material los precipitados, se quiebran acercándose más y se producen un mayor número de defectos en la microestructura que incrementan la velocidad de difusión.

El dejar la aleación por mucho tiempo a la temperatura de solubilización, hace que el grano crezca, haciendo que ésta pierda propiedades mecánicas debido al aumento en tamaño de los granos, por lo que se debe tener mucho cuidado con la permanencia de la aleación a la temperatura de este tratamiento.

### 5.1.2 Enfriamiento Rápido

El enfriamiento rápido se relaciona con la rapidez con la que el metal pierde temperatura desde el tratamiento de solución (típicamente entre 465 - 565°C, para aleaciones de aluminio), hasta la temperatura ambiente y se aplica después del tratamiento de solubilización. El objetivo principal es el de mantener la estructura de solubilidad completa, pero a temperatura ambiente estará en un estado metaestable llamándole en ese momento una solución sólida sobresaturada (SSSS). El agua fría es muy útil sobre todo porque se pueden obtener velocidades de enfriamiento muy grandes o adecuadas para elementos no muy delgados. Sin embargo, el enfriamiento rápido distorsiona la forma de elementos muy delgados como la lámina y genera esfuerzos internos de compresión en la superficie y de tensión en el corazón de la lámina. Los esfuerzos internos pueden causar inestabilidad dimensional, particularmente en piezas que tienen una forma irregular o que tienen que ser maquinadas.

Los esfuerzos internos producidos por un enfriamiento rápido, pueden ser reducidos si éste se desarrolla en forma más lenta, esta alternativa es particularmente importante en el caso de las aleaciones forjadas. Algunas aleaciones pueden ser enfriadas con agua caliente o con aire frío, lo que afecta al envejecimiento posterior.

Si la velocidad de enfriamiento es muy rápida, se puede generar inestabilidad elástica, por el contrario si ésta se reduce pueden precipitar elementos de aleación sobre las fronteras de grano los cuales son indeseables. Se debe mantener un balance entre una rapidez de enfriamiento suficientemente alta (para retener la mayoría de los elementos y compuestos en solución) y minimizar los esfuerzos residuales y la distorsión en las partes a ser enfriadas. Enfriamientos muy lentos, resultan en una precipitación durante el enfriamiento, sobre-envejecido localizado, pérdida de resistencia a la corrosión en las fronteras de grano y en casos extremos, una inadecuada respuesta al tratamiento de envejecido. Enfriamientos muy rápidos, crean altos gradientes térmicos y esfuerzos térmicos, que causan distorsión.

Las aleaciones de aluminio, tienen conductividades térmicas relativamente altas, típicamente entre 1.4 y 2.4  $W / cm^2 \cdot K$  (975 a 1650  $Btu.in / hr ft^2 F$ ) dependiendo de su composición, en comparación con las de austenita de 0.15 a 0.29  $W / cm^2 \cdot K$

(100 a 200  $Btu.in /hr ft^2 F$  ) en acero al carbono y de baja aleación. La alta conductividad térmica del aluminio puede ser un beneficio o un problema. Si el calor está siendo extraído rápidamente a la parte de la superficie por el elemento enfriador, la alta conductividad resulta en una rápida pérdida de temperatura en secciones delgadas y una gran diferencia en temperatura entre secciones delgadas y gruesas. Grandes diferencias de temperaturas crean esfuerzos térmicos causando deformación plástica y distorsión.

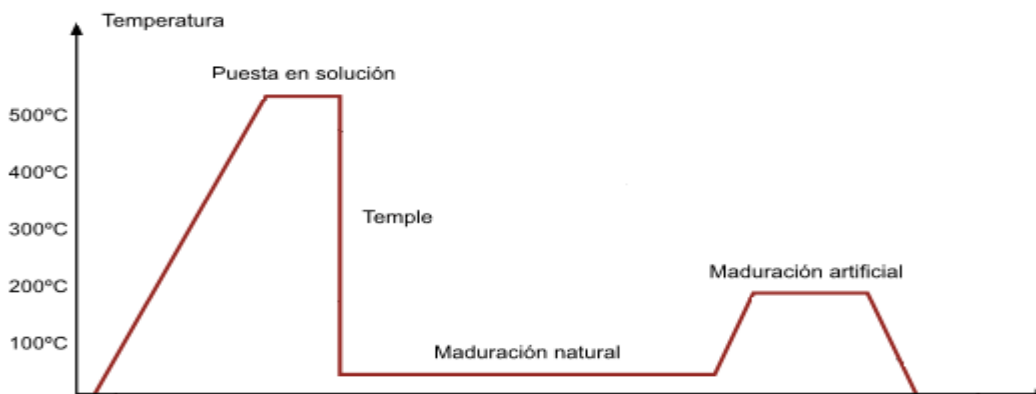
### 5.1.3 Tratamiento de Envejecido Artificial

El tratamiento de envejecido (*age hardening*), es el último paso en el tratamiento térmico de la aleaciones de aluminio. Consiste en mantener la muestra a cierta temperatura durante un tiempo para que precipiten los elementos de aleación. Algunas aleaciones sufrirán envejecimiento a temperatura ambiente (envejecido natural), pero la mayoría requiere elevar la temperatura durante un cierto tiempo, (envejecido artificial), que está usualmente en el intervalo de 100 a 190 °C. Las temperaturas y tiempos de envejecimiento, son menos críticos que los de solubilización y dependen de cada aleación en particular.<sup>13</sup>

En la fig. 1 la gráfica muestra las fases que maneja un tratamiento térmico, este tratamiento comporta las secuencias siguientes:

- Puesta en solución
- Temple
- Maduración natural (a temperatura ambiente)
- Revenido o maduración artificial

Figura 1. Fases del tratamiento térmico de envejecido.



Fuente. <http://www.alu-stock.es/tecnica/tratamientos.htm>

<sup>13</sup>Cavazos Jose Luis. Tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063, Tesis de grado. Junio 1998.

## 5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Una de las entidades encargadas de la clasificación de las aleaciones del aluminio es la *American National Standards Institute* (ANSI), y dentro de su clasificación está la serie 6XXX los elementos aleantes son magnesio (Mg) y silicio (Si), que en proporción adecuada forman  $Mg_2Si$  este tipo de aleación le da al aluminio características como formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión, pero no son tan resistentes como el resto de las aleaciones.<sup>14</sup>

Su composición química, esta especificada a través de especificaciones de fabricación necesarias, para asegurar la máxima eficiencia partiendo de esto los principales componentes para el aluminio 6061 T6 son los siguientes:

Cuadro 1. Composición química de la aleación 6061 en %.

	% Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min	0.40			0.15	0.8	0.04				
Max	0.80	0.7	0.10	0.40	1.2	0.35	0.25	0.015		Resto

Fuente. <http://www.tecniaceros.com/pdfs/aluminio.pdf>

En cuanto a las propiedades mecánicas, su comportamiento es el siguiente:

Cuadro 2. Propiedades mecánicas aleación 6061 T6.

Resistencia a la tracción (psi) mínimo	Límite de elasticidad (psi) mínimo	elongación en 2 in mínimo
45000	10000	12

Fuente. <http://www.tecniaceros.com/pdfs/aluminio.pdf>

## 5.3 DUREZA ROCKWELL

La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwell, es un método para determinar la dureza, es decir, la resistencia de un material a ser penetrado. El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más usado para medir la dureza, debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar prácticamente cualquier metal o aleación. Hay dos tipos de penetradores, unas bolas esféricas de acero endurecido (templado y pulido) de  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  pulgada, y un penetrador cónico de diamante con

<sup>14</sup> Internet: (<http://soldaduraymas.wordpress.com/2011/05/14/caracteristicas-aluminio-2/>)

un ángulo de  $120^{\circ} \pm 30'$  y vértice redondeado formando un casquete esférico de radio 0,20 mm (Brale), el cual se utiliza para los materiales más duros.

El ensayo consiste en disponer un material con una superficie plana en la base de la máquina. Se le aplica una precarga menor de 10 kg, básicamente para eliminar la deformación elástica y obtener un resultado mucho más preciso. Luego se le aplica durante unos 15 segundos un esfuerzo que varía desde 60 a 150 kgf a compresión. Se desaplica la carga y mediante un durómetro Rockwell, se obtiene el valor de la dureza directamente en la pantalla, el cual varía de forma proporcional con el tipo de material que se utilice. También se puede encontrar la profundidad de la penetración con los valores obtenidos del durómetro si se conoce el material.

Para no cometer errores muy grandes el espesor de la probeta del material en cuestión, debe ser al menos diez veces la profundidad de la huella. También decir que los valores por debajo de 20 y por encima de 100 normalmente son muy imprecisos y debería hacerse un cambio de escala.<sup>15</sup>

#### 5.4 ENSAYO DE IMPACTO

Los ensayos de choque determinan, pues, la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas, por el trabajo necesario para introducir la fractura de la probeta de un solo choque, el que se refiere a la unidad de área, para obtener lo que se denomina resiliencia. Este nuevo concepto, tampoco nos ofrece una propiedad definida del material, sino que constituye un índice comparativo de su plasticidad, con respecto a las obtenidas en otros ensayos realizados en idénticas condiciones, por lo que se debe tener muy en cuenta los distintos factores que inciden sobre ella. Resumiendo diremos que el objeto del ensayo de impacto, es el de comprobar si una maquina o estructura fallará por fragilidad bajo las condiciones que le impone su empleo, muy especialmente cuando las piezas experimentan concentración de tensiones, por cambios bruscos de sección, maquinados incorrectos, fileteados, etcétera, o bien verificar el correcto tratamiento térmico del material ensayado.

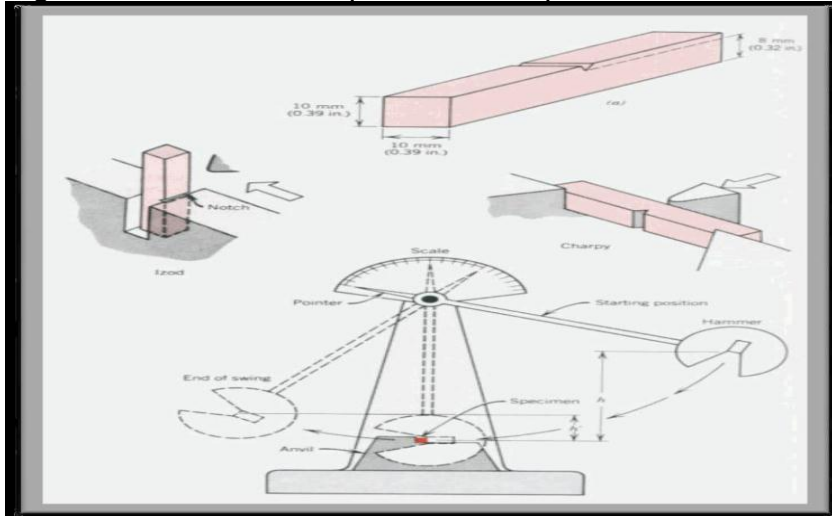
Los ensayos dinámicos de choque, se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillo pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada, realizándose la experiencia en la mayoría de los casos, de dos maneras distintas: el método Izod y el método Charpy. En ambos casos la rotura se produce por flexionamiento de la probeta, la diferencia

---

<sup>15</sup> Internet: ([http://es.wikipedia.org/wiki/Dureza\\_Rockwell](http://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Rockwell))

radica en la posición de la probeta entallada, como se muestra en la figura, por lo que se los denomina flexión por choque.<sup>16</sup>

Figura 2. Posición de la probeta de impacto.



Fuente. Ensayo de impacto (Guía Laboratorio Mecánica de Materiales) U. Distrital

## 5.5 ENSAYO DE ULTRASONIDO

La técnica de ultrasonidos nos permite encontrar defectos que se encuentran dentro del material. Esta técnica es la más compleja.

Las otras técnicas, son técnicas que nos permiten encontrar defectos superficiales y también nos permite cuantificar estos defectos.

Los ultrasonidos son ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas sónicas (campo por encima zona audible: 20 KHz-100 MHz).

Son ondas mecánicas, no ondas electromagnéticas. Entre 1-10 MHz.

Por los fenómenos que provocan en su propagación en los sonidos, líquidos y sólidos, han dado lugar a multitud de aplicaciones técnicas y científicas como:

- Control de calidad de los materiales estructurales (END)
- Detección de heterogeneidades
- Determinación de propiedades (caracterización)
- Medida de espesores (metodología)

<sup>16</sup>Internet:(<http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+IMPACTO.pdf?version=1.0>)



## 6. METODOLOGIA

### 6.1 ADQUISICIÓN DEL MATERIAL

El aluminio 6061 T6 se compró en un almacén especializado en suministros aeronáuticos.

### 6.2 FASE DOCUMENTAL

#### 6.2.1 Documentación Técnica

Este paso tiene como fin la búsqueda, clasificación y sistematización de la información, desarrollado a través de la consulta de normas técnicas, artículos, trabajos de grado, libros. La información se clasificará comparando las fuentes encontradas de acuerdo con: tipo de recursos (informáticos o físicos), herramienta de búsqueda (bases de datos, catálogos de bibliotecas, etc.), temáticas (tratamientos térmicos, medios de enfriamiento, tratamiento de envejecido, análisis metalográficos, ensayos de dureza, ensayos de ultrasonido, ensayo de impacto, análisis comparativos, etc.).

#### 6.2.2 Documentación de Equipos

Consiste en la documentación de manuales de operación, normas de seguridad, fichas técnicas de equipos, lubricantes medios abrasivos y toda la documentación referente a para la realización de las pruebas. (Equipos para ensayos de ultrasonido, dureza e impacto, pulidores metalográficos, rectificadora, tornos, hornos mufla, microdurómetros HMV Shimadza, microscopio PME 3 Olympus, etc.).

### 6.3 FASE TEÓRICO PRÁCTICA

#### 6.3.1 Análisis de la Información

Se basa en el análisis de la información recopilada en la fase anterior, se procede a la formulación metódica de los ensayos y la creación de formatos de registro para las actividades. En esta fase también es necesario establecer y evaluar el método más adecuado para realizar el análisis comparativo entre los ensayos, basados en la proyección de los resultados que se obtendrán en las pruebas.

### 6.3.2 Fabricación de Probetas

Se realizará el cálculo de la cantidad de ensayos necesarios, para obtener datos reales y estadísticamente correctos para análisis de la información. Se realizará la fabricación de probetas de acuerdo con las dimensiones de la normas ASTM para cada uno de los ensayos.

## 6.4 FASE DE LOS ENSAYOS

### 6.4.1 Alistamiento de Equipos

Basados en la norma para cada uno de los ensayos, la documentación, análisis de los manuales de manejo y seguridad de los equipos involucrados, se inspeccionarán, pondrán a punto y se darán inicio a los ensayos.

### 6.4.2 Desarrollo de Ensayos

La toma de datos se realizará conforme a los formatos establecidos en la fase Teórica-Práctica de análisis de la información y se llevará a cabo a lo largo de todos los ensayos.

#### 6.4.2.1. Tratamiento Térmico

El tratamiento térmico se realizara a una temperatura de 500 °C y se dejara hasta alcanzar la sublimación del material, después de alcanzada la sublimación de las probetas se procederá el enfriamiento rápido.

#### 6.4.2.2. Tratamiento de Envejecido Artificial

Una vez realizado en tratamiento térmico se procede a hacer el tratamiento envejecimiento, el cual se realizara a 180 °C y se sacaran las probetas a diferentes periodos de tiempo; con el fin de evaluar la dureza en función del tiempo

#### 6.4.2.3. Ensayo de Dureza

La medición de la dureza como fase del ensayo se realizará en las probetas templadas siguiendo la norma ASTM E 18-05 y utilizaremos el Durómetro Swiss Rock, Rockwell en 10 A B C.

#### 6.4.2.4. Ensayo de Detector de Fallas por Ultrasonido

Luego de finalizado el ensayo de dureza, se tomaran las probetas para trabajar los ensayos de detección de defectos de la estructura con el detector de fallas por ultrasonido USM 35 a 15 MHz siguiendo la norma ASTM E-112.

Figura 3. Detector de fallas por ultrasonido USM 35.



Fuente. [http://www.udistrital.edu.co:8080/image/image\\_gallery?img\\_id](http://www.udistrital.edu.co:8080/image/image_gallery?img_id)

#### 6.4.2.5. Ensayo de Impacto

Se analizará el comportamiento del material siguiendo el procedimiento de la Guía del Laboratorio Mecánica de Materiales de la Universidad Distrital F.J.C. y se realizará en las probetas templadas siguiendo la norma ASTM E23.

Figura 4. Péndulo de impacto 5A-10700 Satec.



Fuente. [http://www.udistrital.edu.co:8080/image/image\\_gallery?uuid](http://www.udistrital.edu.co:8080/image/image_gallery?uuid)

#### 6.4.2.6. Microscopía Óptica

Hace parte del ensayo para la determinación de la estructura cristalina formada, que se establecerá por medio de micrografías tomadas siguiendo los parámetros de uso del instrumento y la norma.

#### 6.4.2.7. Microscopia Electrónica de Barrido

Esta técnica se realizara para analizar la morfología del aluminio, la cual se llevara acabó en las instalaciones del tecno parque del SENA ubicado en el Municipio de Soacha.

### 6.5. FASE DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 6.5.1 Digitalización de Información

Se compilarán, organizarán y tabularán los datos de la fase de ensayos para su posterior análisis.

#### 6.5.2 Análisis de Datos

Se buscara la posible relación que exista en la velocidad de propagación y los cambios de las propiedades por efectos del envejecimiento artificial, y se compararan los resultados obtenidos de los diferentes ensayos.

## 7. CRONOGRAMA

Cuadro 3. Cronograma de actividades.

FASE		ACTIVIDAD		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																																								
				TIEMPO PARA LA REALIZAR LAS ACTIVIDADES (SEMANAS)																																								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36					
1. ADQUISICIÓN DE MATERIAL	Información de almacenes especializados																																											
	Cotización del material																																											
2. DOCUMENTAL	Documentación técnica																																											
	Documentación de equipos																																											
3. TEÓRICO PRÁCTICA	Análisis de la información																																											
	Fabricación de probetas																																											
4. ENSAYOS	Alistamiento de equipos																																											
	Tratamiento termico y Envejecido																																											
	Ensayo de Dureza																																											
	Ensayo de Impacto																																											
	Ensayo de Ultrasonido																																											
	Microscopía Óptica																																											
	Microscopía Electrónica de Barrido																																											
5. ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	Digitalización de la información																																											
	Análisis de los datos																																											
6. ELABORACION DE DOCUMENTO	Construcción final de documento de grado																																											

Fuente. Los autores

## 8. PRESUPUESTO Y FINANCIACIÓN

Cuadro 4. Presupuesto global.

<b>PRESUPUESTO GLOBAL</b>		
Duración estimada		36 semanas
Descripción	Costo	Financiación
Ejecutores	5.400.000	Ejecutores
Tutor	900.000	Universidad
Servicios ocasionales**	86.400	Ejecutores
Asesorías	108.000	Ejecutores
Total Recurso Humano + prestaciones	9.839.016	
Material y proceso manufactura	610.000	Ejecutores
Costo Ensayos	6.342.800	Universidad
Costos Documentación	352.500	
Gastos varios	1.980.000	Ejecutores
Subtotal	19.124.316	Universidad+Ejecutores
Imprevistos*	573.729	Ejecutores
<b>Total estimado</b>	<b>19.698.045</b>	<b>Universidad+Ejecutores</b>

Fuente. Los autores

Cuadro 5. Costos recurso humano.

<b>RECURSO HUMANO</b>					
Descripción	Cantidad Personal	Horas(semana)*	Valor hora	Subtotal	TOTAL
Ejecutores	2	12	12.500,00	150.000,00	5.400.000,00
Tutor	1	1	25.000,00	25.000,00	900.000,00
Servicios ocasionales**	Na	0,3	8.000,00	2.400,00	86.400,00
Asesorías	3	0,2	15.000,00	3.000,00	108.000,00
Subtotal		13,5	NA	180.400,00	6.494.400,00
Prestaciones (51,2%)				92.906,00	3.344.616,00
Total/semana				273.306,00	
<b>TOTAL TIEMPO PREVISTO</b>				<b>9.839.016,00</b>	<b>9.839.016,00</b>
*promedio horas en una semana					
**torno,corte,etc.					

Fuente. Los autores

Cuadro 6. Costos materiales.

COSTO DE MATERIALES Y MANUFACTURA					
Item	Materiales y Procesos	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
1	Barra de aluminio diámetro 1/2 in	AA 6061 T6	8	20.000	160.000,00
2	Probeta ASTM B-557-10	AA 6061 T6	18	15.000	270.000,00
3	Probeta ASTM E-23	AA 6061 T6	18	10.000	180.000,00
4	<b>TOTAL</b>				<b>610.000,00</b>

Fuente. Los autores

Cuadro 7. Costo ensayos.

COSTOS DE ENSAYOS				
Ensayos	Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Total
Jominy	ASTM B-557-10	18	50.000	900.000,00
Dureza	Rockwell	18	45.000	810.000,00
Charpy	ASTM-23	18	40.000	720.000,00
Ultrasonido		12(Horas)	150.000(Hora)	1.800.000,00
EDS	Scan B	10(horas)	211.280(Hora)	2.112.800,00
<b>TOTAL</b>				<b>6.342.800,00</b>

Fuente. Los autores

Cuadro 8. Costo documentación.

COSTOS DOCUMENTACIÓN					
Descripción	Detalle	Medida	Cantidad	Valor/unidad	Total
Norma ASTM B-557	Ensayo Jominy	Unidad	1,00	110.000,00	110.000,00
Norma ASTM E-18	Dureza Rockwell	Unidad	1,00	110.000,00	110.000,00
Norma ASTM E-23	Ensayo Charpy	Unidad	1,00	110.000,00	110.000,00
Impresiones	Necesario	Unidad	200,00	100,00	20.000,00
Fotocopias	Documentación técnica	Unidad	50,00	50,00	2.500,00
<b>Total</b>					<b>352.500,00</b>

Fuente. Los autores

## 9. BIBLIOGRAFIA

STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL E18-05, Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials, E 18-05

STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL E 112 – 96, Métodos de Prueba Para Determinar el Tamaño de Grano Promedio, E 112-96

STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL E23, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, E 23-82

STANDARD TEST METHODS FOR NOTCHED BAR IMPACT TESTING OF METALLIC MATERIALS (ASTM) INTERNATIONAL B-557-10, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought And Cast Aluminum- And Magnesium-Alloy Products, B-557-10

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110P.

Bohórquez A. Carlos Arturo, Lemus Javier, Sierra C. Mauricio. Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento en las propiedades mecánicas de los aluminios 6061 T6 y 6063 T5, Avance de investigación en Ingeniería, Universidad Libre, Ingeniería Mecánica, Bogotá, Colombia, 2011.

Bautista Jacobo Juana Lilia, Estudio de la resistencia a la fatiga ultrasónica de la aleación de aluminio AISI-SAE 6063 t-5, Tesis de grado ingeniero, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 2012.

Cavazos José Luis. (1998). tratamiento térmico de una aleación de aluminio 6063. Tesis de grado doctor, Universidad Autónoma de Nuevo Leon Jun. de 1998



Laughlin David E., Rioja Roberto, Ciencia, La secuencia de precipitación en aleaciones de aluminio y cobre, Universidad Carnegie-Mellon, EUA, 1981

Espinoza B. Henry, Torres R. Yraima A., Torrealba Zurilma, Aplicación de la microscopia electrónica de barrido a la caracterización de fallas en cojinete con recubrimientos antifricción, Universidad de Oriente, Venezuela, 2008.

VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, (Gandía 2002), Optimización del tratamiento térmico de envejecimiento en materiales compuestos base aluminio, Universidad Politécnica de Catalunya, España. 2002.

Fases de un tratamiento térmico  
<http://www.alu-stock.es/tecnica/tratamientos.htm>

Soldadura, químicos, herramientas...especiales. Just another WordPress.com site  
<http://soldaduraymas.wordpress.com/2011/05/14/caracteristicas-aluminio-2/>

[http://www.ndte-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc\\_ut\\_index.htm](http://www.ndte-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/cc_ut_index.htm)

Ultrasonic Non Destructive Testing - Advanced Concepts and Applications (National Instruments). (Tutoría).

Aluminium India, El Aluminio gana terreno sobre el acero y el cobre, (2013 12 -14 september Bombay Exhibition centre Mumbai, India

