


**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS".  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERIA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

Ejecutor 1

Nombre (s):	<u>Orlando</u>	
Apellido (s):	Bayona Páez	
Código:	20082275002	
E-mail:	<u>orlandobp1@hotmail.com</u>	
Teléfono fijo:	7605425	
Celular:	3105649907	

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento sobre las propiedades mecánicas de una junta soldada de aluminio 6063	
Duración (estimada):	12 semanas, 3 meses aproximadamente	
Tipo de Proyecto: (Marque con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	x
	Prestación y servicios Tecnológicos	
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:		
Línea de Investigación de la Facultad:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Materiales y procesos de manufactura	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Tribológica.Metalografía.Física.Mecanizados.	



## CONTENIDO

	Pág.
Contenido	
Lista de figuras	
Lista de formulas	
Lista de tablas	
Resumen.....	6
Introducción.....	6
Formulación del problema.....	7
Estado del arte.....	7-13
Justificación.....	14
Objetivos (General y específicos).....	14-15
Marco teórico.....	15-24
Metodología.....	24-26
Cronograma.....	27
Presupuesto.....	28
Bibliografía.....	29-31

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Fig.1:Fotografía de soldadura en probeta de aluminio.....	16

## LISTA DE FORMULAS

	pág.
Tratamiento térmico. Evolución de la microestructura, secuencia de precipitación(1).....	18

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Composición química general en % de aleación de aluminio 6063.....	19
Tabla 2: 2 Propiedades físicas de aluminio.....	19
Tabla 3: Designación de estados de entrega de aluminios.....	21
Tabla 4: Designación de combinación de estados de tratamiento para suministro o entrega de aleaciones de aluminio.....	22-23
Tabla 5: Composición química según AWSTIG 4043 clase ER – 4043.....	23
Tabla 6: Composición química según AWS MIG 5356 clase ER – 5356.....	23
Tabla 7: Cronograma de actividades.....	27
Tabla 8: Presupuesto general de proyecto.....	28
Tabla 9: Presupuesto recurso humano.....	28

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal, el análisis de una junta mecánica soldada de aleación de aluminio estructural 6063 en el que se ha realizado tratamiento de envejecimiento, la finalidad se centra en observar la influencia que el tratamiento térmico tiene sobre las propiedades mecánicas resistencia y dureza del material o mejor de la junta soldada, frente a la junta sin tratamiento. Se hará el análisis microestructural por microscopía óptica MO y microscopía electrónica de barrido MEB-EDS, esta última aportará los datos de composición química de la muestra soldada, además, se realizarán pruebas de tensión en las probetas soldadas antes y después del tratamiento de envejecimiento y barrido de durezas en zonas afectadas por el calor y cercanas a estas.

## 0. INTRODUCCIÓN

El aluminio es un material muy usado en la fabricación de elementos mecánicos gracias a las ventajas que este presenta por su poco peso y elevada resistencia mecánica, es así, que juntas fabricadas de este material se encuentran en toda industria y en diferentes sistemas y maquinaria en general, sin embargo, el interés en este caso converge específicamente en uniones soldadas con proceso TIG de aleación aluminio 6063 estructural, pues, este material es bastante usado y uno de los más comerciales en nuestro país, en lo referente al proceso de soldeo se afirma que está sustituyendo actualmente a otros más tradicionales, como el SMAW (Arco Manual), en no solo está, si no, en diferentes aleaciones de aluminio, "dado que producen soldaduras de excelente calidad con mínimas distorsiones."<sup>1</sup>

Respecto al análisis y estudios a materiales, en especial metálicos, también se clarifica que las técnicas de microscopía óptica MO y electrónica de barrido MEB son usadas y muy adecuadas para estos estudios, pues, estas aportan para un entendimiento profundo a las formas en que la microestructura de un material cambia, además, los ensayos de tensión y dureza igualmente tienen gran aceptación para caracterizar el estado e identificar la condición de un determinado material después, por ejemplo de un proceso, o dicho de otra forma, identificando el punto o momento donde determinadas condiciones se dan dentro de cierta situación.

---

<sup>1</sup>GÓMEZ DE SALAZAR, J.M. et al. Soldadura TIG y MIG de las aleaciones de aluminio 6061 y 7020. Estudios microestructurales y de propiedades mecánicas. En: Revista de Metalurgia, [en línea] Vol. 34 No Extra. 1998. p.276 Disponible en <<<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/753/765>>>

<sup>2</sup>GÓMEZ DE SALAZAR, J.M. et al. Op. cit., p.277

<sup>3</sup>Ibid., p.277

<sup>4</sup>Ibid., p.278

## **1. FORMULACION DEL PROBLEMA**

El efecto que las soldaduras causan en un material afectan la manera como estos se comportan al ser unidos, por lo que el aporte suministrado y las condiciones de soldeo son primordiales, sin embargo, después del proceso de unión se tiende siempre a “fragilizar” el material por lo que se utilizan tratamientos térmicos después de la soldadura para, por ejemplo, liberar las tensiones internas generadas responsables de agrietamientos, con ello, se observa entonces, que los tratamientos térmicos post soldaduras entran a jugar un papel como solucionador a problemas, mejorando condiciones para determinados usos, haciendo además de esta, una técnica habitual. Encontrar los tiempos adecuados de envejecimiento, tratamiento térmico post-soldadura, que además se recomienda realizar sobre aleaciones de aluminio de la serie 6xxx, es prioritario para obtener una junta óptima en cuanto propiedades mecánicas de resistencia y dureza.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

Los procesos de soldadura se llevan a cabo en diversos materiales y el objetivo es lograr la unión de dos o más elementos. Las juntas mecánicas, por tanto, se desarrollan bajo determinados requerimientos y el interés se centra en lograr juntas óptimas en cuanto propiedades mecánicas, por ejemplo, resistencia a la tensión y dureza. En este caso, un objetivo de investigación es conocer el efecto que la soldadura tiene sobre el material específicamente en la zona afectada por el calor ZAC de uniones realizadas en aluminios y los cambios sufridos en este debido a la alta temperatura generada en el proceso y por otra parte, cómo influye el tratamiento térmico de envejecimiento como proceso post-soldadura en las propiedades mecánicas de resistencia y dureza. Por lo cual la investigación se divide en tres aspectos; soldaduras en aluminios y cambios micro estructurales sufridos en este proceso, tratamientos térmicos de envejecimiento y la manera en que este influye en los materiales, esto último apoyado especialmente sobre estudios realizados en la universidad Distrital Francisco José de Caldas; Facultad Tecnológica y por último, estudios sobre tratamientos térmicos post-soldaduras realizados fuera de la facultad. Identificando en toda la literatura consultada, las tecnologías y/o técnicas adecuadas y de mayor uso para estas investigaciones.

Respecto a lo anterior se encuentra diversa investigación y aparecen afirmaciones, como por ejemplo la siguiente:

“El efecto térmico de la soldadura sobre las aleaciones de aluminio provoca una disminución de las propiedades mecánicas en la ZAC: disminución de dureza, resistencia, y pérdida de propiedades por recocido, debido a un crecimiento de grano excesivo en el límite de la ZAC y el baño fundido.”<sup>2</sup>

“En lo que respecta a las aleaciones Al-Zn-Mg de la serie 7XXX, la relación Zn: Mg, que debe ser igual a 3, puede disminuir por pérdida de aleantes, lo que conlleva un aumento en la susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.”<sup>3</sup> Con lo cual se identifica que el cambio microestructura sufrido en el proceso de soldadura es significativo y lleva a tener que observar fenómenos no tenidos en cuenta a simple vista. Estos estudios, realizados sobre aluminios 6061 y 7020 usan diversa técnicas entre ellas las de microscopias, y resaltan en clarificar, por ejemplo, si existe pérdida de elementos aleantes en procesos de unión TIG y MIG. La cita siguiente clarifica y complementa esta afirmación.

”Se han realizado estudios metalográficos mediante MO y MEB-EDS, con el fin de estudiar las variaciones microestructurales provocadas por los ciclos de soldadura. Igualmente, se realizaron estudios micro-analíticos, mediante micro-sonda electrónica (ME), para comprobar si, debido al efecto del ciclo térmico, pudieran existir procesos de volatilización de los elementos de aleación.”<sup>4</sup>

Por otra parte, las dos siguientes citas, detallan las condiciones de experimentación y del proceso de soldeo para lograr las afirmaciones anteriores.

“Con el fin de determinar el efecto del ciclo térmico de soldadura sobre las aleaciones AA6061 y AA7020 se realizaron previamente cuatro cordones de soldadura mediante el procedimiento TIG con corriente alterna, con una frecuencia de 150 Hz y un balance de penetración del 70 %, utilizando argón como gas de protección. El equipo de soldadura empleado fue un AristoTIG-250.”<sup>5</sup>

“empleando un aporte de aleación de aluminio de composición Al-5Mg, cuya denominación es AWS A5.10-92 (AA5356).”<sup>6</sup>

---

<sup>2</sup>GÓMEZ DE SALAZAR, J.M. *et al.* .Op. cit.,p.277

<sup>3</sup>Ibid.,p.277

<sup>4</sup>Ibid., p.278

<sup>5</sup>Ibid.,p.277

<sup>6</sup>Ibid.,p.276



Del estudio anterior se logra concluir, por ejemplo, que para el caso de la aleación AA6061 existen “zonas en donde aparecen eutécticos ternarios, que se originan durante el calentamiento de la matriz.”<sup>7</sup> y que “Los estudios mediante MEB muestran el carácter dendrítico, tanto en el baño fundido de la aleación AA6061 como de la AA7020, con precipitados en el espaciado interdendrítico del tipo AlFeSiCu en la aleación AA6061 (Fig. 2 a). Los precipitados, en el caso de la aleación AA7020, son de AlMg- SiZn y no aparece el eutéctico.”<sup>8</sup> Además de que; “Las condiciones de soldadura empleadas no originan la pérdida de elementos aleantes ni en la ZAC ni en el BF en estos materiales, permaneciendo constantes las relación Zn/Mg = 3 en la aleación 7020.”<sup>9</sup>

Por otro lado, respecto a los tratamientos térmicos en aluminios se apoya esta investigación, como ya se dijo, especialmente en estudios experimentales realizados en la universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica. En una de estas investigaciones, por ejemplo, el tratamiento térmico que se aplicó fue el envejecimiento artificial a 170° C, durante diferentes tiempos específicamente 8, 12, 24, 48, 72, 96, y 120 horas. En donde se llega a interesantes conclusiones, como lo muestra las tres siguientes citas:

“La dureza medida para el aluminio 6061-T6 fue de 48 HV, y la del aluminio envejecido a 48 horas es de 51.15 HV, por tanto vemos un aumento de la dureza debido a la precipitación de las fases de endurecimiento procedentes de la solución sólida.”<sup>10</sup>

“No se ve afectada la deformación del material en las diferentes horas de envejecimiento excepto en los dos últimos tiempos que son los de 96 y 120 horas.”<sup>11</sup>

“Como se puede apreciar el tratamiento que presento mejores propiedades mecánicas fue el de 48 horas, superando incluso las propiedades del material original.”<sup>12</sup>

---

<sup>7</sup> Ibid., p.278

<sup>8</sup> Ibid. p.278

<sup>9</sup> Ibid. p.279

<sup>10</sup> MONRROY CÁRDENAS, Camilo Enrique Y ROJAS GONZALES Ricardo Andrés. OBTENCION DEL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION EN BASE A UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL ALUMINIO 6061-T6 ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE A 170°C. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica. p-7

<sup>11</sup> Ibid. p.7

<sup>12</sup> Ibid. p.6

Otros estudios de la facultad encuentran que “la disminución de la solubilidad con la temperatura produce la expulsión del magnesio para formar el intermetálico  $Mg_2Al_3$  que forma una compleja red cubica centrada en las caras. El rango óptimo de temperaturas para los tratamientos de precipitación del  $Mg_2Al_3$  oscila entre 200 y 300° C.”<sup>13</sup> Además, dice Ortiz,<sup>14</sup>

utiliza técnicas de medición fotográficas por computador para identificar el tamaño del grano y afirman que con una hora de tratamiento e envejecimiento encuentran dispersión de precipitados de  $Mg_2Si$  con tamaño de grano numero 8 según plantilla usada (la base del tamaño del grano es numero 5). Con envejecimiento de 2 horas también evidencian tamaño de grano mayor numero 7 y presencia de precipitados de  $Mg_2Si$  con tamaños de 10 a 20 nm y recalca que estos no superan este tamaño en las demás muestras.

También aclara, en cuanto al técnica de microscopia, que para esta aleación de aluminio (6061-T6), “se presenta una complejidad para tomar las fotos, porque este pertenece a la serie 6xxx, y para las aleaciones de esta series es difícil mostrar el tamaño del grano, necesitando un tratamiento especial en la pulida y en el ataque químico.”<sup>15</sup>

Siguiendo con esta línea de investigaciones realizadas en la Facultad Tecnológica de la UDFC, para aleaciones de aluminio 6061-T6 y los tiempos de tratamiento, que es de especial interés en este caso, los siguientes autores encuentran que “en el tratamiento de 8 horas se perdió resistencia pero no se aumentó la deformación considerablemente.”<sup>16</sup> Haciendo referencia a tratamiento térmico de envejecido artificialmente a 120°C usado y haciendo una la relación con pruebas de tensión, igualmente encuanto a la estructura Penagos y Moreno<sup>17</sup>

Observan que lo que sucede con el tratamiento térmico es que la fase  $Mg_2Si$  se precipito y el grano aumento de tamaño con una disminución de resistencia y aumento de ductilidad, con la disminución de los límites de grano se presenta un posibilidad de mayor rotura, lo contrario con la fase  $Fe_3SiAl_{12}$  que se solubilizo para mejorar la ductilidad del material.

---

<sup>13</sup> VERGARA ORTIZ Jhon Alexander. ESTUDIO METALOGRAFICO DEL ALUMINIO 6061-T6 ENVEJECIDO ARTIFICILMENTE A UNA TEMPERATURA DE 180 GRADOS Y TIEMPOS 1,2,3,4,5,6,7,8,12,18 Y 24 HORAS. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.p.5

<sup>14</sup>Ibid.,p.10,11

<sup>15</sup>Ibid.p-8

<sup>16</sup>PENAGOS CÁRDENAS, Jhon Freddy; MORENO MANRIQUE, Luis Fernando. Establecer el diagrama esfuerzo deformación basado en un estudio experimental del aluminio 6061-T6 envejecido artificialmente a 120°C.p-12

<sup>17</sup>Ibid.,p.12

También “se observa que la resistencia disminuye cuando el material se somete a prolongados tiempos de este tratamiento.”<sup>18</sup> Se pudo deducir igualmente “que la probeta que mejor se comporto fue la de tratamiento térmico de 48 horas esta aumenta considerablemente la elongación pero reduce la dureza y la resistencia con respecto al material sin tratar.”<sup>19</sup>

Otros autores señalan que: “El aluminio que mejores propiedades mostro después del tratamiento térmico es el del aluminio 6061-T6 envejecido a 220°C durante 24 horas, claramente se ve que el esfuerzo ultimo a la tensión y su deformación es mayor al que mostraron los otro tiempos.”<sup>20</sup>

Apartándonos de la aleación 6061-T6, estudios realizados con tratamiento térmico de temple –envejecimiento, igualmente hechos en la Facultad Tecnológica UDFC, sobre otras aleaciones similares a la 6061-T6 como son la 6063-T5 y la 7005-T6, señalan que, específicamente para la esta última. “Debido al que el temple es un proceso que se hizo a una temperatura de 485+/- 5°C con un enfriamiento en agua, y posteriormente se le hizo un envejecimiento por precipitación a una temperatura DE 200+/- 5°C con un enfriamiento en horno ; equivale a un tratamiento térmico de T-6 lo cual muestra un parecido en la foto-microestructural de las aleaciones AA 7005 y AA 6061 que tienen un tratamiento térmico de entrega T-6 con las de temple y posterior envejecimiento, que consiste de la formación de granos finos equiaxiales que son muestra de recristianización y la disolución de los precipitados endurecedores de la aleación”<sup>21</sup>. Y que “el tratamiento térmico comprueba el estado de entrega T-6 de las aleaciones 6061 y 7075, que efectivamente era una disolución seguida de envejecimiento. En los cuales se observa un espectro de composición química similar entre sus distintos tratamientos. Mostrando así que contienen elementos de aleación que se pueden encontrar en la matriz como solución sólida y dentro de los precipitados”<sup>22</sup>. Además de recomendar según. “La caída de dureza que se hace visible en temple-envejecimiento de las aleaciones no lleva a concluir, que no es recomendado un endurecimiento posterior por tratamiento térmico si su estado de entrega ya tiene disolución y envejecimiento (T-6).”<sup>23</sup>

---

<sup>18</sup> Ibid.p.13

<sup>19</sup> Ibid.p.13

<sup>20</sup> BUSTOS IGUA, John Edison y MAECHA LEON, Carlos Eduardo. ESTABLECER EL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION BASADO EN UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL ALUMINIO 6061-T6 ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE A 220°C. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.p.9

<sup>21</sup> HOYOS MATEUS, Andrés Iván. EVALUACION MICROESTRUCTURAL DE LOS ALUMINIOS AA 7005 T-6, AA 6061 T-6, AA6063 T-5. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.p.5

<sup>22</sup> Ibid.p.10

<sup>23</sup> Ibid.p.10

Respecto a la aleación 6063 se encuentra, según Hernández Silva y Romero Ariza que realizaron tratamiento térmico de envejecido a temperatura de 180°C durante tiempos de 1,2,3,4,5,6,7 y 8 horas y pruebas de tensión y dureza, “qué latencia es al aumento de las propiedades mecánicas de resistencia, en especial del esfuerzo de fluencia el cual alcanza un cambio significativo en el envejecimiento a 3h, hasta lograr su máximo incremento a un tiempo de envejecimiento de 8h,”<sup>24</sup> concluyendo además, Hernández y Romero,<sup>25</sup> que:

Sin importar el tiempo, el módulo de elasticidad no cambia de manera significativa con excepción del estado de entrega, este se mantiene constante sin importar el tratamiento.

Y con referencia a la Dureza esta “tiende a aumentar luego de haber sido tratada térmicamente por envejecimiento durante 3 horas,”<sup>26</sup> finalmente, Romero y Hernández<sup>27</sup> afirman también, que:

En comparación con el material estado de entrega se observa en la solubilización un crecimiento de los precipitados y su agrupamiento en ciertas zonas y, por otro lado, se observa que no se visualiza con facilidad los límites de grano, por tanto no es posible distinguir con claridad las fases presentes de la muestra.

Para concluir lo consultado sobre estudios realizados en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; facultad Tecnológica, Tierradentro Cruz y Rodríguez Gómez, nos indican que en su estudio, realizado sobre una aleación 6063-T5 “Antes del ensayo de tensión se realizó una homogenización al material sometiendo las probetas a 500°C durante un tiempo de 2 horas y se enfriaron en agua, luego se envejecieron a 170°C a intervalos de tiempos de 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas,”<sup>28</sup> y observan que. “Se presenta un cambio mínimo en el módulo de elasticidad, el mayor esfuerzo de fluencia se presenta a las 12 horas de tratamiento y a medida que aumenta el tiempo de envejecimiento el esfuerzo disminuye, con esto se podría concluir que el material se ablanda debido al cambio en la forma y distribución de precipitados causados por el tratamiento térmico”<sup>29</sup> y que “el mejor comportamiento se presenta a 12 y 18 horas a 170 grados mostrando que

---

<sup>24</sup>SILVA HERNÁNDEZ, Joan Sebastián y ARIZA ROMERO, Carlos Andrés. Análisis de la resistencia a la tensión del aluminio 6063-T6 a una temperatura de 180°C durante tiempos de 1, 2, 3, 4, 5, 6,7 y 8 horas. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica .p.4

<sup>25</sup>Ibid.,p.4

<sup>26</sup>Ibid.p-4

<sup>27</sup>Ibid.,p.7

<sup>28</sup>TIERRADENTRO CRUZ, Jorge Esau y RODRÍGUEZ GÓMEZ, Diego Fernando. ANALISIS DE LA RESISTENCIA AL A TENSIÓN DEL ALUMINIO 6063-T5 ENVEJECIDO A UNA TEMPERATURA DE 170°C DURANTE TIEMPOS DE 12, 18, 24, 48 y 96 HORAS. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica. p.3

<sup>29</sup>Ibid.p.3

tratado con tiempos mayores a 24 horas no se ve un cambio favorable en esfuerzo de fluencia lo contrario tendera a disminuir respecto a material base si se necesita un material dúctil se debe hacer un tratamiento a 170 grados durante 72 horas, en ensayo de dureza no se observa cambios grandes y ni relación directa, el mejor comportamiento es a 12 horas con unaumento máx. de 2.5% respecto al material de entrega.”<sup>30</sup> Recomiendan si es posible “análisis a 170 grados con tiempos menores a 12 horas.”<sup>31</sup>

Para finalizar, respecto a los tratamientos post-soldaduras, se encuentra que:

“La finalidad del tratamiento térmico posterior a la soldadura es la de conseguir que la aleación recupere sus propiedades mecánicas máximas y evaluar el efecto del material de aporte (que no responde al tratamiento térmico).”<sup>32</sup>

Y se encuentran conclusiones importantísimas de estudios realizados sobre la aleación 6061-T6 relacionados con pruebas de sus propiedades mecánicas, donde se indica que:

“Las propiedades mecánicas para las condiciones de 160°C y 20 horas de envejecimiento, correspondiente al pico de máxima microdureza (mejores propiedades mecánicas) fueron de 286.1 MPa y 293.0 MPa para los esfuerzos de fluencia y máximo respectivamente, con un porcentaje de elongación de 1.80%, la zona de falla se presentó en la zona de la soldadura y es importante destacar que la resistencia máxima del material de aporte es de 190 MPa (antes de la soldadura), lo que permite determinar que se ha presentado un refinamiento de grano en la zona fundida después de la aplicación de la soldadura, no obstante el uso de precalentamiento.”<sup>33</sup>

Después de esta investigación se concluye que existe la necesidad de realizar más estudios de tratamientos térmicos post-soldaduras, pero utilizando procesos de soldeo TIG en aluminios como el 6061-T6 y complementar lo ya encontrado en diversa literatura.

---

<sup>30</sup>Ibid.p.5

<sup>31</sup>Ibid.,p.5

<sup>32</sup>R. AMBRIZ,Ricardo; BARRERA, Gerardo y GARCÍA Rafael. EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN 6061-T6.En Instituto de Investigaciones Metalúrgicas.[en línea] Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales. VOL. 2 (2005).p.222. Disponible en<<[http://www.iim.umich.mx/foro\\_materiales2011/2%20Foro/33.pdf](http://www.iim.umich.mx/foro_materiales2011/2%20Foro/33.pdf)>>

<sup>33</sup>Ibid.p.22

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El análisis, en juntas soldadas, de las propiedades mecánicas evaluadas con ensayos de tensión y durometría después y antes de tratamientos térmicos en la unión, apoyado de microscopía óptica MO y de barrido, esta última acoplada con espectrometría de energía dispersa MEB-EDS, es una metodología adecuada para observar los cambios ocurridos en los procesos de soldeo y en el tratamiento térmico, sin embargo, se hace necesario encontrar los rangos de temperatura y tiempo en el tratamiento de envejecimiento, para lograr una junta óptima en cuanto a propiedades mecánicas, pues, los procesos de soldadura tienden a disminuir valores de dureza y resistencia<sup>34</sup>, lo cual es determinante para una junta, además, no afectar de manera significativa o no requerida, en dicho proceso de unión, estas propiedades, no es fácil de lograr en todos los aluminios, por lo que el estudio de experimentación propuesto a una junta soldada de aluminio 6063 antes y después de un tratamiento de envejecimiento, aportará datos para definir la influencia que diferentes valores de tiempos y temperaturas del tratamiento térmico tiene en la unión y con los cuales se pretende que la junta obtenga adecuados valores de resistencia a la tensión y dureza.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo General:**

Analizar la influencia que el tratamiento térmico de envejecimiento tiene en las propiedades mecánicas, resistencia a la tensión y dureza, de una junta soldada de aluminio estructural 6063.

#### **4.2 Objetivos específicos:**

- Aplicar un análisis experimental y obtener la cantidad de probetas adecuadas para el estudio.
- Determinar la composición química de la aleación de aluminio 6063, material base.

---

<sup>34</sup> Ibid., p.277

- Realizar tratamiento térmico de envejecimiento en probetas soldadas de aluminio 6063 para el análisis, a 180° C y tiempos de 12, 18, 24, 48 y 96, apoyado de estudios previos, y así determinar el efecto que variables como tiempo y temperatura del tratamiento, tienen sobre las propiedades mecánicas de resistencia a la tensión y dureza en las juntas soldadas.
- Realizar barrido de durezas en las juntas soldadas con tratamiento térmico y sin este, en diferentes zonas acercándose hacia el centro del cordón, para identificar cambios gracias al tratamiento térmico.
- Realizar pruebas de tensión en las juntas soldadas antes y después del tratamiento térmico, para identificar cambios generados por el tratamiento térmico.
- Realizar estudios metalográficos con microscopía óptica MO y de electrónica de barrido, acoplada con análisis espectral, MEB-EDS, para identificar cambios en la microestructura del material y/o en la junta, morfología de esta y maneras como posiblemente comienza la ruptura de la unión en las pruebas de tensión.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Soldaduras, proceso TIG

La soldadura es un proceso de unión de metales realizados por fusión localizada en los elementos a unir logrado por calor o presión, puede ser con y sin aporte de material a las piezas unidas, donde el material de aporte es de igual o diferente tipo a las partes a unir<sup>35</sup>.

El proceso TIG específicamente es un proceso por arco eléctrico. La sigla TIG corresponde a las iniciales de las palabras inglesas "Tungsten Inert Gas", lo cual indica una soldadura en una atmósfera con gas inerte y electrodo de tungsteno. El procedimiento TIG puede ser utilizado en uniones que requieran alta calidad de soldadura y en soldaduras de metales altamente sensibles a la oxidación tales como el titanio y el aluminio. Sin embargo, su uso más frecuente está dado en aceros resistentes al calor, aceros inoxidable y aluminio. Este es un método limpio, resaltando que la soldadura TIG puede ser utilizada con o sin material de aporte. "Las mayores ventajas del proceso TIG provienen de la estabilidad y la concentración del arco; además del hecho de que sea factible de utilizar en todas

---

<sup>35</sup>SOLDADURA PROTOCOLO. Curso de Procesos de Manufactura. FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL. LABORATORIO DE PRODUCCION. Escuela Colombiana de Ingeniería. "Julio Garavito". EDICION 2009-1. p-9

las posiciones y tipos de juntas y del buen aspecto del cordón con terminaciones suaves y lisas”<sup>36</sup>.

## 5.2 Zona afectada por el calor ZAC y zona de baño fundido BF

Como no lo muestra Sindo Kou.<sup>37</sup>

La zona afectada por el calor, conocida como ZAC y/o en algunos casos, como ZAT, zona afectada térmicamente, se identifica cercana al cordón de soldadura, en donde el material presenta cambios microestructurales debidos a las altas temperaturas o el alto calor generado propio del proceso de soldadura, sin ser o estar necesariamente inmersa en el baño fundido BF de soldadura, en donde si se tiene en cuenta el material de aporte suministrado para la unión. Los procesos de soldeo, que generan el tamaño de cordón, como la velocidad de soldeo, frecuencia de corriente y amperaje, determinan el tamaño de estas zonas.

fig. 1 Fotografía de soldadura en probeta de aluminio<sup>38</sup>



## 5.3 Dureza (Endurecimiento)

Existe afectación de la propiedad mecánica de dureza, en metales, por el proceso de soldeo y se logra por lo general mejorar por tratamientos post-soldadura, pero también, se logra afectar con otros métodos en diversos materiales el endurecimiento, por ejemplo, por trabajo sobre el material se logra endurecer este, es así, que encontramos que dependiendo del proceso de

<sup>36</sup> Ibid.p-13

<sup>37</sup> KOU, Sindo. Weldingmetallurgy. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.2da edition.p.343 Copyright © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.Canada.2003. ISBN: 0-471-43491-4.

<sup>38</sup> CURIE,F. F; GARCÍA, I, R y LÓPEZ, V. H. EFECTO DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE ENVEJECIDO PARCIAL EN LA RESISTENCIA MECANICA DE LA ALEACION DE ALUMINIO 6061-T6 SOLDADA CON EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW.En sin dato. p.114. Disponible en <<http://www.iim.umich.mx/foro\_materiales2011/4%20Foro/peliculas/19.pdf >>



fabricación de productos que se encuentran diferentes valores de dureza, verbigracia, el proceso de extrusión en frío de aluminios muestra una diferencia en la dureza del material con respecto a la extrusión en caliente, la teoría nos indica como dice Sindo Kou.<sup>39</sup>

Que este fenómeno está relacionado con la manera que el material desplaza sus planos basales y como la temperatura incide en esto, igualmente y además las dislocaciones que el material logra depende del ordenamiento de sus átomos, por tanto, a grandes rasgos, pues, existe muchas más razones de explicación, se indica la relación de trabajo con el fenómeno de endurecimiento.

Por otro lado, existe normalización para las pruebas de dureza, por ejemplo, la ASTM-E384 actualización 2010, es recomendada para medir durezas después de tratamiento térmico.

#### **5.4 Tratamiento térmico**

Los tratamientos térmicos son procesos en donde se someten a cambios de calor o a diferentes temperaturas diversos materiales, para de esta forma tratar de obtener mejoras en las propiedades de estos, los tiempos y los valores de temperaturas son de inminente importancia en estos procesos, para nuestro caso el interés se centra en materiales metálicos, específicamente aluminios, encontramos en diversa literatura recomendaciones de los atributos que debe poseer el material para poder hacer un determinado tratamiento térmico en el:

“El atributo esencial de un sistema de aleación tratable térmicamente por precipitación es la dependencia de la solubilidad con la temperatura. Por lo que, su requerimiento básico, es el decremento en la solubilidad en el estado sólido de uno a más de los elementos aleantes al descender la temperatura, (aleaciones parcialmente solubles en estado sólido)”<sup>40</sup>

Igualmente existen recomendaciones en cuanto a la clase de material y saber de manera confiable cuales son los elementos de aleación que componen el material, la temperatura y los pasos a seguir para efectuar el tratamiento térmico. Por lo cual, se debe saber con exactitud cuál es el material a tratar y el tipo de

---

<sup>39</sup>KOU.Op.,cit.p.343

<sup>40</sup>CAVAZOS GARCÍA, José Luis, Tratamiento Térmico de una Aleación de Aluminio 6063.Tesis Doctor en Ingeniería de Materiales. Universidad Autónoma de Nuevo León, facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, División de Estudios de Posgrado.En Repositorio Institucional UANL .[en línea] junio , 1998., p.15.disponible en <<<http://eprints.uanl.mx/1325/1/1020146066.PDF>>>

tratamiento, pues, según Cavazos,<sup>41</sup> el único tratamiento que se puede hacer a algunos aluminios es el envejecido.

Por lo tanto, “los tres estados en que se debe poner atención en un tratamiento térmico en aleaciones de aluminio son: solubilización, enfriamiento rápido y envejecido, que sirven para aumentar la resistencia mecánica en la aleación por medio de un endurecimiento por precipitación.”<sup>42</sup>

La etapa de solubilización, consiste en llevar a la aleación a una temperatura para producir una solución sólida homogénea  $\alpha$ , esta temperatura debe mantenerse por un determinado tiempo. Después de solubilizada, la aleación que ahora solamente contiene una sola fase  $\alpha$  se temple. Posterior al temple, la fase  $\alpha$  sobresaturada se calienta a una temperatura por debajo de la línea de solvus para hacer difundir a los átomos de soluto  $\beta$ , a distancias cortas, es decir a sitios potenciales de nucleación para dar origen a precipitados finos y dispersos. Finalmente, al mantener a la aleación durante un tiempo suficiente a esta temperatura de envejecimiento, se establece un equilibrio entre la fase  $\alpha$  y  $\beta$ . La secuencia de precipitación de las aleaciones de Al-Si-Mg, ha sido explicada en diferente literatura de acuerdo con el siguiente proceso:



Donde:

SSS= Solución Sólida Sobresaturada.

GP y Betas las fases de evolución.

El principal mecanismo de endurecimiento en las aleaciones de Al-Si-Mg, es por precipitación (envejecimiento artificial o natural).

Concluimos entonces, que 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.

---

<sup>41</sup>Ibid.,p.15

<sup>42</sup>Ibid.p.15

## 5.5 Aluminio

El aluminio se extrae de la bauxita, un mineral que contiene alrededor del 40 al 60% de alúmina hidratada junto con impurezas tales como óxido de hierro. Lapalabra bauxita proviene de la provincia de Les Baux, Francia, donde fue encontrada por primera vez.

Tabla 1 Composición química general en % de aleación de aluminio 6063<sup>43</sup>

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min	0.20				0.45					
Max	0.60	0.35	0.10	0.10	0.90	0.10	0.10	0.10	0.15	Resto

Tabla 2 Propiedades físicas del aluminio<sup>44</sup>

Símbolo	Al.
Número, atómico.	13.0
Peso atómico	26.98154
Red espacial	Cúbica de caras centradas.
Diámetro atómico (A)	2.8
Parámetro de red (A)	4.04
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2.7
Punto de fusión (°C)	660.0
Modulo de elasticidad (MPa)	70.0
Calor específico prom, 0-100 °C (J.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	917.0
Conductividad térmica 20-100 °C (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	238.0
Coef. de exp. térmica 0-100 °C (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	23.5
Resistividad eléctrica a 20 °C (j <sub>i</sub> ohm cm <sup>-1</sup> )	2.67

## 5.6 Aleaciones de aluminio

Existen diferentes instituciones que clasifican el aluminio sin embargo una de las más importantes y reconocidas es la American National Standards Institute ANSI

<sup>43</sup>DEL METAL.METALES NO FERROSOS. <http://www.delmetal.com.ar/productos/aluminio/6061.pdf>

<sup>44</sup>CAVAZOS.Op.,cit.p.9

esta dispone para aleación trabajada de un número de cuatro dígitos en el cual el primero se refiere al primer elemento de aleación, por tanto, encontramos por ejemplo, los de la serie 1xxx que es aluminio casi puro en un 99% también serie 2xxx con Cu (cobre) como principal elemento de aleación. 3xxx con manganeso. 4xxx silicio. 5xxx magnesio. 6xxx magnesio y silicio 7xxx zinc y algunas veces magnesio 8xxx otros elementos últimamente litio y 9xxx aleaciones especiales e inusuales. Para 1xxx el tercer y cuarto dígito señala impurezas, en la serie del 2xxx al 8xxx estas posiciones tienen poca relevancia, sin embargo, muestran el número consecutivo de aleación que indica que son aleaciones diferentes por ejemplo 3004 y 3005 que son diferentes al igual 6061 y 6063 el segundo dígito indican modificaciones a la aleación si es cero esta se modifica si se encuentra entre 1 y 9 indican modificaciones pequeñas con respecto a la original.

También se encuentra la clasificación para aleaciones de aluminios vaciadas, que difiere de la anterior, por ejemplo, entre los cuatro dígitos se interpone un punto decimal antes del último, que indica si fue vaciado directo o en lingote, por otro lado, el primer dígito dice el grupo de aleación, para las series 2xx.x hasta 9xx.x el primer dígito informa el elemento aleante en mayor porcentaje, el 1xx.x pertenece al grupo sin alear, el 2xx.x al igual que en aleaciones trabajadas el cobre es el elemento principal, en la 3xx.x están el silicio con cobre o magnesio, en la 4xx.x el silicio, 5xx.x el magnesio, la 6xx.x no se usa, en la 7xx.x el zinc, la 8xx.x titanio y 9xx.x otros elementos. El segundo y tercer dígitos indican en 1xx.x el porcentaje mínimo de impurezas mayor a 99 %, en las series de 2xx.x a 9xx.x no tiene especial significado, solo da una posición de la aleación en el grupo. Para terminar, el último dígito dice la forma del producto, por ejemplo, xxx.0 directamente vaciada en molde, xxx.1 vaciada en lingote, por otro lado, si la aleación fue modificada o tiene un cierto grado de impureza, se indica con un serial de letras precediendo a la designación de la aleación estas letras están en forma alfabética y no se usan las letras I, O, Q y X esta última se reserva para aleaciones experimentales.

## **5.7 Tratamientos del aluminio (temple)**

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de estado de suministro de los aluminios o el sistema de designación para los tratamientos del aluminio y sus aleaciones usado en los Estados Unidos. Para toda aleación vaciado y trabajado, sin incluir el vaciado de lingote, y para tratamientos mecánicos y

térmicos y/o ambos, la clasificación mostrada antes (ANSI) es seguida por esta nueva y separada por un guion, por ejemplo, 6063-T6.

Tabla 3 Designación de estados de entrega de aluminios<sup>45</sup>

T	Tratamiento térmico (esto es, para aleaciones endurecidas por envejecimiento) la “T” estará siempre seguida por uno o más dígitos
F	Fabricado
T1	Enfriado desde una alta temperatura durante el proceso de conformación y envejecido naturalmente.
T2	Enfriado desde una alta temperatura durante el proceso de conformación, trabajado en frío y envejecido naturalmente
T3	Tratamiento térmico de solución, trabajado en frío y envejecido naturalmente.
T4	Tratamiento térmico de solución y envejecido naturalmente
T5	Enfriado desde una alta temperatura durante el proceso de conformación y envejecido artificialmente.
T6	Tratamiento térmico de solución y luego envejecido artificialmente.
T7	Tratamiento térmico de solución y luego envejecido artificialmente
T8	Tratamiento térmico de solución, trabajado en frío y envejecido artificialmente.
T9	Tratamiento térmico de solución, envejecido artificialmente y trabajado en frío.
T10	Enfriado directamente de un proceso de formado a alta temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente.

<sup>45</sup> AMBRAIZ VILLA GOMEZ, Alberto. EFECTO DE TRATAMIENTOS TERMICOS EN LA SOLDABILIDAD DE LA ALEACION DE ALUMINIO 7075. En biblioteca virtual. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. México. Dic2010. [en línea] p. 26,27 . Disponible en <<<http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/3610/1/EFECTODETRATAMIENTOSTERMICOS ENLASOLDABILIDADDELALEACIONDEALUMINIO7075.pdf>>>

Al igual se puede encontrar, en variedad de literatura, la información donde se dice que, se pueden añadir uno o más dígitos para indicar variaciones que designan una combinación de tratamientos. La siguiente tabla muestra esta clasificación, importante como ayuda, soporte o guía, para seguir como recomendaciones en el momento de necesitar escoger o seleccionar un material para determinado diseño o determinado uso.

Tabla 4 Designación de combinación de estados de tratamiento para suministro o entrega<sup>46</sup>

T351	Tratamiento térmico de solución, estirado controlado para aliviar tensiones. El aluminio no recibe ningún enderezamiento adicional tras el estirado. Se aplica a chapas, varillas y barras laminadas o terminadas en frío, forjados a estampa o en prensa de productos anulares y anillos laminados sin soldadura.
T3510	Tratamiento térmico de solución, estirado controlado para aliviar tensiones y envejecido naturalmente. El aluminio no recibe ningún enderezamiento adicional tras el estirado. Se aplica a varillas, barras, perfiles y tubos extruidos y tubos estirados.
T3511	Como el T3510, pero también se refiere a productos que podrían recibir un leve enderezamiento tras el estirado para cumplir con las tolerancias estándar.
T352	Se aplica a productos tratados por compresión para aliviar tensiones después del tratamiento térmico de solución o después de ser enfriados desde un proceso de trabajo en caliente para producir una deformación remanente del 1 al 5%.
T651	Tratamiento térmico de solución, estirado controlado para aliviar tensiones y luego envejecido artificialmente. El aluminio no recibe ningún enderezamiento adicional tras el estirado.
T6510	Tratamiento térmico de solución, estirado controlado para aliviar tensiones y luego envejecido artificialmente. El aluminio no recibe ningún enderezamiento adicional tras el estirado.
T6511	Como el T6510, salvo que se permite un leve enderezamiento tras el estirado para cumplir con las tolerancias estándar

<sup>46</sup>Capalex. Capital Aluminium Extrusions Ltd. Tratamientos Termicos.Disponible en <<[http://www.capalex.co.uk/spanish/heat\\_treatment\\_sp.html](http://www.capalex.co.uk/spanish/heat_treatment_sp.html)>>

T73	Tratamiento térmico de solución y luego sobre envejecido artificialmente para obtener la mejor resistencia a la corrosión por tensiones
T732	Artificialmente para obtener la mejor resistencia a la corrosión por tensiones.
T7651	Tratamiento térmico de solución, estirado controlado para aliviar tensiones y luego sobre envejecido artificialmente para obtener una buena resistencia a la corrosión por exfoliación. El aluminio no recibe ningún enderezamiento adicional tras el estirado.
T76510	Tratamiento térmico de solución, estirado controlado para aliviar tensiones y luego sobre envejecido artificialmente para obtener una buena resistencia a la corrosión por exfoliación. El aluminio no recibe ningún enderezamiento adicional tras el estirado.
T76511	Como el T76510, salvo que se permite un leve enderezamiento tras el estirado para cumplir con las tolerancias estándar.

Tabla 4 Designación de combinación de estados de tratamiento para suministro o entrega...continuación.

## 5.8 Materiales aportes, para soldaduras de aluminios

### NORMA A.W.S. A 5-10 AWS

Tabla 5 Composición química según AWSTIG 4043 clase ER - 4043<sup>47</sup>

Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Ni	Zn	Ti	Mg	Al
4,5-6,0	8.0	0.30	0.05	-	-	0.10	0.20	0.05	Remanente

Se encuentra igualmente otro tipo de aporte, tabla 6, usado para aleaciones de aluminio 6061 pero recomendado para utilizar con proceso MIG.

Tabla 6 Composición química según AWS MIG 5356 clase ER - 5356<sup>48</sup>

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0.25	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	-	0.10	0.20-0.20	Remanente

<sup>47</sup> Electrodo sinfra. Aluminio y aleaciones. [http://www.infra.com.mx/servicio\\_atencion/libreria/eisa/documentos/manual\\_electrodos/aluminio\\_aleaciones.pdf](http://www.infra.com.mx/servicio_atencion/libreria/eisa/documentos/manual_electrodos/aluminio_aleaciones.pdf). P-116

<sup>48</sup> Ibid. p-119

## **5.9 Normas recomendadas para la consecución del presente proyecto**

Ensayo de dureza Vickers: ASTM E384

Mecanizado y ensayo de tensión: Probetas normas ASTM B557, equivalente NTC 2 o diseño para las dimensiones de dichas probetas, según artículo Influencia de la deformación plástica en probetas soldadas de la aleación de aluminio 6061-T6 sobre las características de dureza.

## **6. METODOLOGÍA**

Teniendo en cuenta que el calor generado en los procesos de soldadura, es responsable de factores tales como transformaciones de microestructura de los materiales metálicos, afectando así de distintas formas las propiedades mecánicas de estos y que se recomienda, generalmente, hacer tratamientos térmicos en juntas soldadas y así conseguir determinados estados que decaigan en condiciones adecuadas del producto y/o material para distintos usos, como por ejemplo, valores en determinados rangos de límites de fluencia y durezas, se hace necesario un estudio de experimentación para identificar la influencia que un tratamiento térmico de envejecimiento tiene en una junta soldada de aluminio 6063 por tanto:

Se propone, como primera medida, hacer un primer registro metalográfico al material base, o sea, al que representa al aluminio que no se afecta por el calor en el proceso de soldadura o que no se encuentra cerca de la zona afectada por el calor ZAC en dicho proceso, utilizando microscopía óptica MO para identificar los microconstituyentes en el material, al igual que toma de datos de dureza de este como caracterización mecánica y/o como registro de datos de comparación para el análisis con el material soldado, la composición química general de esta aleación se muestra en la tabla 1 del marco teórico al igual que el aporte usado, con procesos de soldadura TIG, característico para este material.

Igualmente se propone hacer microscopía electrónica de barrido acoplada con espectrometría de energía dispersa MEB-EDS, en la zona soldada para registrar los cambios microestructurales sufridos en el proceso de soldadura.



Segundo, hacer pruebas de tensión en probetas soldadas de muestra, que identifiquen los valores de resistencia de la junta **sin tratamiento térmico** y barrido de durezas de las zonas afectadas por el calor en el proceso de soldeo. Tercero, realizar tratamientos térmicos de envejecimiento a una muestra de probetas y realizar nuevamente pruebas de tensión y durezas, estas últimas en las zonas del baño del fluido de la soldadura y/o en zonas afectadas por el calor.

Como cuarta medida, se propone nuevamente hacer microscopía electrónica de barrido acoplada con espectrometría de energía dispersa MEB-EDS, en la zona soldada para registrar los cambios microestructurales sufridos con el proceso de tratamiento térmico y como comparación y apoyo con los datos registrados con la microscopía óptica al material base, también para identificar la composición química del aluminio soldado, pues, pueden existir cambios por factores como el aporte suministrado, además, de registrar la morfología que ayuda a identificarla forma en que el material cambia con el calor y como también agrieta en las zonas de ruptura después de pruebas de tensión en las probetas con tratamiento térmico. Por último, se propone analizar con ayuda de los datos registrados los fenómenos observados, sacar conclusiones de las causas que afectan al material y al producto, en cuanto a la calidad de sus propiedades mecánicas, y por tanto la influencia que el tratamiento térmico de envejecimiento tiene en los cordones de las soldaduras y/o en las juntas soldadas.

A continuación se muestra el orden lógico de la metodología propuesta para este proyecto aclarando que las actividades a realizar para la consecución de esta, se muestra en el diagrama de Gantt del cronograma de actividades.

- **Fase uno:** Diseño de experimentación para el número adecuado de probetas muestras para el estudio.
- **Fase dos:** Consecución de juntas soldadas cumpliendo AWS D1.2/D1.2M: proceso APWS y/o protocolo para soldadura, mecanizando probetas norma ASTM B557, equivalente NTC 2, o diseño apoyado en artículo según pruebas requeridas<sup>49</sup> todo realizado por personal idóneo.
- **Fase tres:** Registro metalográfico por microscopía óptica MO y registro de toma de dureza a una muestra del material base.

---

<sup>49</sup>TORRES SALCEDO, Jaime y LASCANO FARAK, Sheila. Influencia de la deformación plástica en probetas soldadas de la aleación de aluminio 6061-T6 sobre las características de dureza. En Redalyc.Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.[en línea] No. 24 julio 2008.Clombia.p-25,26.Disponible en <<<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=85212334003>>>

- **Fase cuatro:** Sometimiento de las muestras, juntas soldadas sin tratamiento térmico, a pruebas de tensión y barrido de durezas.
- **Fase cinco:** Registró metalográfico con microscopia electrónica de barrido acoplada con espectrometría de energía dispersa MEB-EDS en las zonas soldadas del material.
- **Fase seis:** Tratamiento térmico de envejecimiento, realizado con apoyo de recomendaciones de estudios realizados en la Universidad Distrital, facultad Tecnológica.
- **Fase siete:** Sometimiento de las muestras, con tratamiento térmico de envejecimiento, a pruebas de tensión y barrido de durezas.
- **Fase ocho:** Estudio y registro metalográfico y morfológico por microscopia electrónica de barrido MEB-EDS, en las zonas soldadas del material y en zonas de ruptura por tensión, después, del tratamiento de envejecimiento.

## 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 7 Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES													
Fases	Actividades	Duración (en semanas)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Diseño de experimento y soldaduras de juntas aluminio.	■											
2	Mecanizado de probetas. Norma ASTM B577 equivalencia NTC 2		■										
3	Toma de micrografías de la estructura con la previa preparación estándar del metal base, registro de micrografías usando cámara digital del equipo MO y medición de dureza de este. Pruebas de tensión a un grupo de probetas sin tratamiento térmico y Barrido de durezas. . Recolección de datos.		■	■									
4	Tratamiento de envejecimiento.				■	■							
5	Barrido de durezas a probetas con tratamiento, sin fracturar y registro de la Microestructura, uso de SEM-EDS y MO.						■	■					
6	SEM-EDS y MO al grupo que en la fase 2 se sometió a tensión y no recibió tratamiento térmico.								■	■			
7	Medición de durezas y metalografía SEM-EDS y MO a probetas después de pruebas de tensión y TT, barrido de durezas en estas. Registro de datos Recolección de datos										■	■	
8	Conclusiones recomendaciones, redacción y conjunción del documento final.												■
<b>DURACION TOTAL</b>		<b>12 SEMANAS (3 meses aprox)</b>											

## 8. PRESUPUESTO

Tabla 8 Presupuesto general de proyecto

Presupuesto General Proyecto			
Duración estimada en meses		3 aprox	
Semanas		12	
	Descripción	Costo asociado	Fuentes de financiación
22	Recurso Humano Asociado	\$ 3.120.000	
4	Equipo de cómputo (y Software)	\$ 1.500.000	Personal
4	Equipo microscópico y de apoyo	\$ 690.200	Personal
22	Gastos Generales(incluyen material, aluminio)	\$ 201.000	Personal
4	Fabricación de Elementos mecánicos probetas	\$ 175.000	Personal
Subtotal		\$	
5%	Imprevistos	\$ 300.000	
Total presupuestado		\$ 5.986.200	Personal

Tabla 9 Presupuesto recurso humano

RECURSO HUMANO				
Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Pesos	Pesos
Autor del proyecto	1	10	\$ 20.000	\$ 2.400.000
Director o tutor (interno)	1	2	\$30.000	\$ 720.000
Director o tutor (externo)			\$ 0	
Profesor (responsable interno)			\$ 0	
Apoyo técnico			\$ 0	\$ 0
Apoyo administrativo			\$ 0	\$ 0
Asesor	1		\$ 0	\$ 0
				\$ 3.120.000
Carga Prestacional				\$ 0
				\$ 3.120.000

## 9. BIBLIOGRAFÍA

AMBRIZ VILLAGOMEZ, Roberto. EFECTO DE TRATAMIENTOS TERMICOS EN LA SOLDABILIDAD DE LA ALEACION DE ALUMINIO 7075. En biblioteca virtual. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. México .Dic2010 [en línea] .Disponible en <<<http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/123456789/3610/1/EFFECTODETRATAMIENTOSTERMICOSENLASOLDABILIDADDELALEACIONDEALUMINIO7075.pdf>>>

Capalex. Capital Aluminium Extrusions Ltd. Tratamientos Térmicos. Disponible en <<[http://www.capalex.co.uk/spanish/heat\\_treatment\\_sp.html](http://www.capalex.co.uk/spanish/heat_treatment_sp.html)>>

CAVAZOS GARCÍA, José Luis, Tratamiento Térmico de una Aleación de Aluminio 6063. Tesis Doctor en Ingeniería de Materiales. Universidad Autónoma de Nuevo León, facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, División de Estudios de Posgrado. En Repositorio Institucional UANL [en línea] junio , 1998. Disponible en <<<http://eprints.uanl.mx/1325/1/1020146066.PDF>>>

CURIE, F. F; GARCÍA, I, R y LÓPEZ, V. H. EFECTO DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE ENVEJECIDO PARCIAL EN LA RESISTENCIA MECANICA DE LA ALEACION DE ALUMINIO 6061-T6 SOLDADA CON EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW. En sin dato. Disponible en <<<[http://www.iim.umich.mx/foro\\_materiales2011/4%20Foro/peliculas/19.pdf](http://www.iim.umich.mx/foro_materiales2011/4%20Foro/peliculas/19.pdf)>>

DEL METAL. METALES NO FERROSOS.

<http://www.delmetal.com.ar/productos/aluminio/6061.pdf>

Electrodosinfra. Aluminio y aleaciones. [http://www.infra.com.mx/servicio\\_atencion/libreria/eisa/documentos/manual\\_electrodos/aluminio\\_aleaciones.pdf](http://www.infra.com.mx/servicio_atencion/libreria/eisa/documentos/manual_electrodos/aluminio_aleaciones.pdf).

GÓMEZ DE SALAZAR, J.M. et al. Soldadura TIG y MIG de las aleaciones de aluminio 6061 y 7020. Estudios microestructurales y de propiedades mecánicas. En: Revista de Metalurgia, [en línea] Vol. 34 No Extra. 1998. Disponible en <<<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/753/765>>>

HOYOS MATEUS, Andrés Iván. EVALUACION MICROESTRUCTURAL DE LOS ALUMINIOS AA 7005 T-6, AA 6061 T-6, AA6063 T-5. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.

KOU, Sindo. Welding metallurgy. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2da edition. Copyright © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. Canada. 2003. ISBN: 0-471-43491-4.

MONRROY CÁRDENAS, Camilo Enrique Y ROJAS GONZALES Ricardo Andrés. OBTENCION DEL DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION EN BASE A UN ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL ALUMINIO 6061-T6 ENVEJECIDO ARTIFICIALMENTE A 170°C. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.

PENAGOS CÁRDENAS, Jhon Freddy; Moreno Manrique Luis Fernando. Establecer el diagrama esfuerzo deformación basado en un estudio experimental del aluminio 6061-T6 envejecido artificialmente a 120°C.

R. AMBRIZ, Ricardo; BARRERA, Gerardo y GARCÍA Rafael. EFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SOBRE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN 6061-T6. En Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. [en línea] Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales. VOL. 2 (2005). Disponible en <<[http://www.iim.umich.mx/foro\\_materiales2011/2%20Foro/33.pdf](http://www.iim.umich.mx/foro_materiales2011/2%20Foro/33.pdf)>>

SILVA HERNÁNDEZ, Joan Sebastián y ARIZA ROMERO, Carlos Andrés. Análisis de la resistencia a la tensión del aluminio 6063-T6 a una temperatura de 180°C durante tiempos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 horas. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.

SOLDADURA PROTOCOLO. Curso de Procesos de Manufactura. FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL. LABORATORIO DE PRODUCCION. Escuela Colombiana de Ingeniería. "Julio Garavito". EDICION 2009-1.

TIERRADENTRO CRUZ, Jorge Esau y RODRÍGUEZ GÓMEZ, Diego Fernando. ANALISIS DE LA RESISTENCIA AL A TENSION DEL ALUMINIO 6063-T5 ENVEJECIDO A UNA TEMPERATURA DE 170°C DURANTE TIEMPOS DE 12, 18, 24, 48 y 96 HORAS. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.

TORRES SALCEDO, Jaime y LASCANO FARAK, Sheila. Influencia de la deformación plástica en probetas soldadas de la aleación de aluminio 6061-T6 sobre las características de dureza. En Redalyc. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.[en línea] No. 24 julio 2008.Clombia.Disponible en  
<< <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=85212334003>>>

VERGARA ORTIZ Jhon Alexander. ESTUDIO METALOGRAFICO DEL ALUMINIO 6061-T6 ENVEJECIDO ARTIFICILMENTE A UNA TEMPERATURA DE 180 GRADOS Y TIEMPOS 1,2,3,4,5,6,7,8,12,18 Y 24 HORAS. En Universidad Distrital Francisco José de caldas; Biblioteca Facultad Tecnológica.