

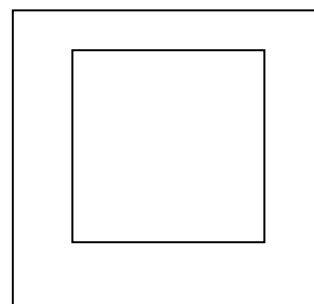
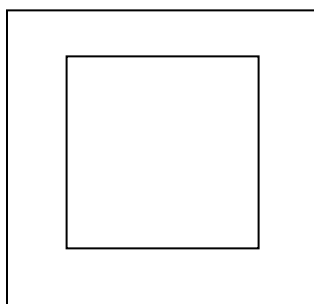


**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

Título del trabajo de grado: **Influencia del tratamiento térmico de homogenizado y re envejecido en las propiedades mecánicas del aluminio 2024 T3 a diferentes temperaturas.**

Proponentes:



Nombre (s):	Andrés Gilberto	Nombre (s):	Julián David
Apellido (s):	Farfán Bonelo	Apellido (s):	Rubiano Buitrago
Código:	20102275009	Código:	20102275032
e-mail:	Andresfarfan18@hotmail.com	e-mail:	jr david_89@hotmail.com
Teléfono:	7513396	Teléfono:	4539237
Celular:	320 845 34 77	Celular:	312 507 27 06
<b>Modalidad del Trabajo de Grado<sup>1</sup>:</b> (marque con una X)	Pasantía		
	Formación Avanzada		
	Asistencia Académica		
	Monografía		<b>X</b>
	Investigación		
<b>Línea de Investigación de Facultad:</b> (marque con una X)	Creación o emprendimiento		
	Apoyo Tecnológico Empresarial		
	Optimización de Procesos		
<b>Línea de Investigación Proyecto Curricular:</b> (marque con una X)	Desarrollo Tecnológico Local e Institucional		<b>X</b>
	Termofluidos		
	Materiales y Procesos		<b>X</b>
	Diseño Mecánico		

<sup>1</sup> Acuerdo N°15 de 2010 (Consejo Académico), artículo 2.

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

	Automatización Industrial	
	Educación Tecnológica	
	Otra (¿cuál?):	
<b>Grupo de investigación:</b> (marque con una X)	Diseño de ingeniería DISING	<b>X</b>
	Energías alternativas GIEAUD	
	Otro (¿cuál?):	
<b>Semillero de Investigación:</b> (marque con una X)	Progreso en Materiales de Ingeniería PEMI	<b>X</b>
	Energías alternativas SEA	
	Mecánica Computacional SIMEC	
	Otro (¿Cuál?):	

**Resumen:** El presente documento presenta de manera inicial las investigaciones realizadas por expertos en la materia de los tratamientos térmicos, especialmente en aluminos aeronáuticos, (en su totalidad de nacionalidad extranjera), en las cuales es apreciable sus aplicaciones para diferentes piezas y estructuras de las aeronaves, y de los tratamientos térmicos a los cuales las someten para mejorar su durabilidad, lo cual se convierte en un soporte para la definición de la metodología de la presente propuesta de grado.

No solo enfocados en los estudios del aluminio 2024 si no también de otras aleaciones de tipo aeronáutico, como lo son la 7075 y la 7049, en donde se halla un común denominador, en todos existe una necesidad de mejora de propiedades ya sea químicas físicas o mecánicas, mediante uso de tratamientos térmicos, en especial de las propiedades anticorrosivas de los aluminos, buscando siempre afectar lo menos posible las propiedades de resistencia.

También se realiza una recopilación de información teórico-práctica enfocada directamente al uso de los tratamientos de homogenizado y re envejecido como métodos para mejorar las propiedades de resistencia a la corrosión y tenacidad de fractura, con diferentes parámetros de exposición en cuanto a temperaturas y tiempos se refiere.

Se presenta un procedimiento a realizar para el proyecto de investigación el cual se plasma en un cronograma de actividades en el que se identifican el tipo y lugar de la actividad a realizar con su respectiva duración, adjuntando también los costos estimados que conllevara la realización del mismo, en donde se tienen en cuenta la gran mayoría de actividades humanas que intervendrán en el desarrollo del proyecto

Básicamente en función de las investigaciones hechas por otras universidades y la información hallada en la bibliografía, es muy prometedora la investigación que se quiere llevar a cabo, teniendo en cuenta que en Colombia no se halló gran cantidad de información desarrollada al respecto, a pesar de la gran aplicación que tiene este tipo de proceso.

**Estado del arte:** Para la búsqueda de los antecedentes teórico-prácticos indispensables para la realización de nuestro proyecto, se recurrió a diferentes medios de información masiva, como los son bases de datos de publicaciones virtuales, fabricantes de partes aeronáuticas, revistas militares y

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

bibliografía en general, analizando principalmente las investigaciones más recientes pero sin dejar atrás, los primeros avances de tipo procedimental tales como los realizados por Cina y Gan<sup>2</sup>.

Entre las investigaciones más recientes se tiene la realizada por Raizenne, Wu, Sjoblom, Rondeau, Kuhlman, (2011)<sup>3</sup> enfocada en el control de la corrosión de estructuras fabricadas de aluminio 7075 T6 usando retrogresión (homogenizado), y re envejecido, utilizadas en aviones; ha demostrado que se puede mejorar en gran medida la resistencia de estos materiales con una mínima descompensación en términos de resistencia.

Así mismo la investigación de Raizene. Y otros (2011), ultima que el proceso es aplicado con éxito en componentes de aeronaves con espesores de hasta 20 mm, y con la aplicación de temperaturas de 180 y 200 °C, debido a la dureza y el limite elástico al caer rápidamente de su primer fase, a medida que la solución solida se ha enriquecido con los elementos de refuerzo, la etapa dos es un periodo transitorio de recuperación de la dureza.

Finalmente la investigación anteriormente citada, concluye que el proceso de RRA, (Retrogression and Re Aging), en el aluminio 7075T6, mejora significativamente la resistencia a la corrosión, sin comprometer las propiedades de la resistencia estática, además los datos de resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación en el límite elástico, fueron consistentes con los permisibles. Los resultados de las pruebas de exfoliación indicaron que el proceso RRA aumenta la resistencia a la corrosión por exfoliación de AD (Exfoliación Severa), EA (Exfoliación Superficial), P (Picaduras).

Las pruebas de resistencia a la corrosión no mostraron evidencia de agrietamiento intergranular después de 20 días de exposición de inmersión alternativa. Esta resistencia a la corrosión es equivalente al carácter T73, con la diferencia de que este último posee una diferencia negativa en su límite de fluencia comprendida entre el 10 y 15 %, con respecto al T6.

Resulta bastante interesante ver como un proceso de tratamiento tan sencillo, puede influir tan drásticamente en la vida de una pieza de aluminio, en lo que a corrosión se refiere, pero existen otros factores no menos importantes, como lo son las propiedades de resistencia a la fatiga, ya que se trata de aluminios de tipo aeroespacial, el comportamiento del material ante cargas de tipo cíclico son un tema que no se debe eludir.

Dicho tema fue abordado por May, Belouchrani Taharboucht y Boudras (2010)<sup>4</sup> en donde se analiza la Influencia del tratamiento térmico de RRA sobre el comportamiento a fatiga de Aleaciones de aluminio 2024 y 2024 chapado, los cuales son ampliamente utilizados en la industria aeronáutica y serán el tema de estudio del proyecto que se quiere desarrollar con esta propuesta de grado.

---

<sup>2</sup> Baruch M. Cina, Ramat Gan, United States Patent, Reducing the susceptibility of alloys, particularly aluminium alloys, to stress corrosion cracking, 1974, p 1-3

<sup>3</sup> Raizenne, Wu, Sjoblom, Rondeau, Kuhlman, Corrosion Fatigue and Environmentally Assisted Cracking in Aging Military Vehicles, CORROSION CONTROL USING RETROGRESSION AND RE-AGING (RRA), marzo 2011, p 359-369.

<sup>4</sup> May, Belouchrani Taharboucht y Boudras, Procedia Engineering, Influence of heat treatment on the fatigue behaviour of two aluminium alloys 2024 and 2024 plated, Marzo 2010, P 1795-1804.

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

May. Y otros (2010) demostraron que la precipitación de Al<sub>2</sub>Cu tiene una gran influencia en el comportamiento de la fatiga en estos dos tipos de aleaciones, y la difusión de cobre desde el centro hacia la superficie en el 2024 chapado. El efecto de la temperatura muestra donde se obtienen los mejores resultados para mantener el máximo valor de vida útil para evitar el agrietamiento, como también se puede presenciar la pérdida de la dureza cuando se somete el material a temperaturas de 230°C, en general el aumento de la resistencia de la fatiga también se debe al endurecimiento o reblandamiento del material, y más aun con la aplicación del tratamiento térmico que lleva a la formación de fases involucradas.

La idea de utilizar tratamientos de calor se basa en su papel para cambiar la precipitación y la dirección de difusión de las aleaciones. La evolución microscópica contribuye en el cambio macroscópico de la aleación tales como la resistencia a la fatiga, y dureza por ello un factor importante en el desarrollo de las investigaciones se basa en el seguimiento del tiempo para el tratamiento térmico para ver el crecimiento en el tamaño del grano, las interfaces, para establecer los puntos donde se hace la iniciación de la grieta.

Finalmente May. Y otros (2010), concluyeron que la aplicación del proceso de RRA aumenta la resistencia a la fatiga. Por otro lado, la difusión del cobre a partir de mediados de la aleación 2024 a la superficie (del aluminio chapado), afectan a la materia y la hace más débil en términos de vida de fatiga.

Resulta bastante complejo la fundamentación del estado del arte enfocada directamente en las investigaciones realizadas del aluminio 2024, teniendo en cuenta que son muy pocas, por tal motivo son consideradas investigaciones de tipo similar a la nuestra pero enfocadas igualmente en aluminios aeronáuticos como el 7075 o el 7049, que igualmente aportan información de tipo procedimental a nuestro proyecto.

Estudios realizados por Ranganatha, Rao, Bhat y Muralidhara (2011)<sup>5</sup>, utilizaron la aleación AA 7049 como materia prima, en donde los tratamientos térmicos se llevaron a cabo por medio de tres rangos de temperaturas diferentes para T6, T73, T77 (RRA). El procedimiento para el temple T6 informo envejecimiento durante 24 horas durante la regresión y la repetición del tratamiento, además estos se homogenizaron en cuatro diferentes temperaturas (180°C, 200°C, 220°C, y 240°C) para tiempos de exposición de 2 a 60 minutos.

Las pruebas y evaluación de las muestras tratadas por Ranganatha Y otros (2011), tuvieron en cuenta la dureza, y conductividad que son muy tenidas en cuenta a la hora de diseñar. INDENTEC la maquina universal de ensayos que se utilizó para este estudio con la escala de dureza dio un valor muy por encima del T6 en todos los tiempos empleados en esta investigación.

Las muestras tratadas por Ranganatha y otros (2011), sometidas a retrogresión (homogenizado) en 180C para las duraciones contempladas anteriormente y la retrogresión de 200C hasta 30 minutos dieron lugar a propiedades óptimas. Del mismo modo las muestras de retrogresión de 220C y 240 muestran mejores resultados en tiempo empleado para el retroceso que es más corto en tiempo en rangos de 10 minutos, lo que demuestra que el RRA es un tratamiento prometedor para aumentar la resistencia a la corrosión

---

<sup>5</sup> Ranganatha, Rao, Bhat y Muralidhara, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), RETROGRESSION AND RE-AGING TREATMENT OF AA 7049 ALUMINIUM ALLOY, Vol. 3 No. 7, 2011, P 1-6

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

por exfoliación.

En relación con el comportamiento de la propiedad de tenacidad de fractura de los aluminios aeroespaciales luego de ser sometidos a los tratamientos RRA, resulta interesante analizar la investigación realizada por J. S. Robinson (2003)<sup>6</sup>, quienes determinaron la influencia de la aplicación de los tratamientos de retrogresión y re envejecido, de la aleación de aluminio 7010, sobre la anteriormente mencionada tenacidad de fractura.

Robinson (2003), observo que la tenacidad de fractura varía de forma inversa con respecto a las propiedades de tensión del material por ellos para unos valores altos en las propiedades de tensión, se tendrán los menores valores de tenacidad de fractura. Por ello resulta prometedor el hecho de estudiar el comportamiento de dicha tenacidad, para compararla con la de otro material cuyo valor sea alto, sin que las propiedades de tensión del aluminio sean inferiores, refiriéndose obviamente al seguido de haber pasado por un tratamiento térmico RRA.

En el estudio de Robinson (2003), también es apreciable como dos procesos de retrogresión a diferentes temperaturas y tiempos de exposición, pueden producir en un tipo de material, condiciones equivalentes por lo cual se llega a una optimización de un proceso, teniendo en cuenta que se escogerá el que menos consumo energético y/o de tiempo tenga.

El estudio del crecimiento de una grieta ya existente tratado por Halliday, Cooper, Poole, Bowen, (2003)<sup>7</sup>, recopila una gran cantidad de datos de la propagación de pequeñas grietas por fatiga, para generar una predicción del crecimiento de la grieta y la vida de fatiga, usando programas estadísticos. Realizando comparaciones entre sus datos predictivos obtenidos y los datos obtenidos por otros autores.

El estudio desarrollado por Halliday y otros (2003), parte de una suposición estadística la cual formula que independiente de si el crecimiento de las grietas de un material es aleatorio, es posible tabular muchos datos de crecimiento de un mismo material, para finalmente llegar a obtener una predicción del crecimiento y el estado de una grieta solo con un muestreo inicial de su estado y sabiendo las condiciones de fatiga bajo las cuales estará sometida.

Finalmente Halliday y otros (2003), compararon los datos de fatiga experimental de la misma aleación estudiada por otros investigadores, encontrando que existían sus resultados fueron positivos, y que su procedimiento utilizado podría generar una estandarización en términos de diagnóstico de estado de fatiga para las aleaciones de aluminio sometidas a fatiga.

**Formulación del problema:** Es claro que las estructuras aeronáuticas en su mayoría han sido

---

<sup>6</sup> J.S Robinson, Materials Science and Technology, Influence of retrogression and reaging on fracture toughness of 7010 aluminium alloy, *Maney for the Institute of Materials, Minerals and Mining*, 2003, P 1-10

<sup>7</sup> M.D. Halliday a, C. Cooper a, P. Poole b, P. Bowen, *International Journal of Fatigue* 25, On predicting small fatigue crack growth and fatigue life from long crack data in 2024 aluminium alloy, 2003, P 1-10

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

fabricadas a partir de aleaciones de aluminio, las cuales por el pasar de los años, sufren graves problemas de corrosión como el conocido fenómeno de SCC (Stress Corrosion Cracking)<sup>8</sup>, o el fenómeno de corrosión intergranular, entre otros.

Debido a los procesos de manufactura de las estructuras aeronáuticas fabricadas décadas atrás, estas poseen (porque aún existen), gran peso aumentando el consumo de combustible, y requieren mantenimientos en lapsos de tiempo más cortos en relación con las aeronaves de fabricación reciente, elevando los costos de operación de forma significativa<sup>9</sup>, con un valor agregado adicional ya que las piezas de reemplazo, son compradas a proveedores extranjeros.

En estos términos, surge la necesidad de investigar procesos que como resultado puedan generar una mejora en las propiedades de corrosión y fractura de los aluminios aeronáuticos, en nuestro caso del aluminio 2024 T3<sup>10</sup>, sin afectar de manera considerable las propiedades de resistencia del mismo, mediante los cuales se pueda generar una industrialización local de dicho contenido.

Dado que es necesario garantizar la seguridad en aplicaciones de alta resistencia, es necesario conocer el comportamiento de las grietas cuando ellas son bastante pequeñas, y estudiar su evolución en un entorno de fatiga, para saber en qué circunstancias se generan grandes tasas de crecimiento de grietas diminutas, o de gran tamaño.

El proceso de tratamiento térmico de homogenizado y re envejecido se puede mejorar la resistencia a la corrosión y la tenacidad de fractura, sin embargo afecta de forma directa la resistencia a la tensión, todo como función de las temperaturas a las cuales se aplican los tratamientos y los tiempos de exposición de los mismos. Por tal motivo es necesario experimentar con diferentes temperaturas y tiempos de exposición, y analizar las variables independientes de este proceso como lo son la resistencia a la tensión, resistencia a la corrosión, tenacidad de fractura y dureza.

**Justificación:** La necesidad de optimizar las propiedades físicas químicas y principalmente las mecánicas de los materiales de manufactura aeronáutica ya es un problema local, teniendo en cuenta que día tras día se depende de forma mayoritaria de tecnología extranjera, para la fabricación, instalación, optimización y mantenimiento de todo tipo de artefacto de tipo aeronáutico.

El desarrollo tecnológico de un país, está muy ligado a las investigaciones, desarrollos, innovaciones y pruebas de laboratorio, que los entes académicos de nivel superior realizan año tras año, cargando estos con la enorme responsabilidad de generar ese impulso y sustento intelectual necesario para la creación de cualquier ente económico-tecnológico, ya que el Tratamiento Térmico de las aleaciones de aluminio está experimentando un aumento significativo de la demanda debido a la creciente aplicación en el sector aeroespacial y de automóviles.<sup>11</sup>

<sup>8</sup> ASM Metals Handbook, Heat Treating, Volume 4, 2002, P 1861-1960.

<sup>9</sup> Tomassetti de Piacentini, Los Costos Marginales en el Transporte Aéreo, Aspectos Teóricos y Prácticos, [www.revistakairos.com](http://www.revistakairos.com), 2010, P 7-15

<sup>10</sup> Utilizado ampliamente para la fabricación de estructuras Aeronáuticas.

<sup>11</sup> D. SCOTT MACKENZIE, Handbook of Aluminum, Physical Metallurgy and Processes, Volume 1, 2003 P.886

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

Cuando se habla de fabricación de componentes de tipo aeronáutico no es un secreto que Colombia se encuentra en un nivel primitivo en términos de desarrollo tecnológico, ahora bien, aunque existen reconocidos avances impulsados principalmente por la fuerza aérea colombiana<sup>12</sup>, existe una dependencia tecnológica hacia los países extranjeros.

Resulta indispensable desarrollar procesos que mejoren las propiedades mecánicas de las aleaciones de Aluminio involucradas en la fabricación de los componentes de las aeronaves, ya sea para mejorar la durabilidad de algunos materiales ya utilizados o para sustituirlos por algunos de menor precio pero con mejores propiedades, conseguidas a través de dicho proceso.

Es de Gran importancia realizar pruebas de laboratorio enfocadas en mejorar los parámetros críticos de los elementos aeronáuticos, para el caso del aluminio 2024, el cual es un aluminio “tratable térmicamente” (usualmente referido de esa manera para distinguirlo de otras aleaciones que no tienen un fortalecimiento significativo por calentamiento y enfriamiento<sup>13</sup>) no se halló avance alguno en el área de los tratamientos térmicos.

Por tal motivo es que el estudio de los efectos del tratamiento de homogenizado y envejecido en el aluminio de tipo aeronáutico 2024 puede llegar a tener grandes aportes para la creciente manufactura colombiana, sobre todo la relacionada con el área aeronáutica, que depende principalmente de sus proveedores extranjeros, lo que representa una oferta nacional presente y latente.

**Objetivo General.**

Analizar la influencia del tratamiento térmico de homogenizado y re envejecido en las propiedades mecánicas del aluminio 2024 T3.

**Objetivos Específicos.**

- Revisar el estado del Arte.
- Utilizar un diseño experimental para determinar el número de probetas necesarias para dar validez estadística.
- Homogenizar el material objeto de estudio a una temperatura de 200°C, y Re envejecerlo a temperaturas de 180°C y 210°C, con exposiciones de 1, 2, 4, 8, 12, 18 horas.
- Realizar ensayos de tensión, dureza, metalografía y corrosión.
- Hallar el coeficiente de tenacidad de fractura para una grieta generada bajo los estándares de prueba consignados en la norma ASTM 399.

---

<sup>12</sup> Como la fabricación del Calima T-90, “Primer avión militar fabricado en Colombia”, <http://www.revistaaeronautica.mil.co/?idcategoria=69867>

<sup>13</sup> ASM, Metals Handbook Heat Treating, Volume 4,2002, P 1861.

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

**Metodología:** Para llevar a cabo este proyecto de investigación se requiere tener en cuenta cierto procedimiento y parámetros, basándonos en investigaciones realizadas por otros autores se llegó a la conclusión de que la siguiente es la mejor metodología, puesta a consideración de los docentes tutores del proyecto:

- **Materiales:** Sabemos que la industria aeronáutica los diseñadores tienen en cuenta factores importantes como, dureza, maleabilidad, peso, resistencia a la fatiga, entre otros, para fabricar el dispositivo más seguro, confiable, y económico.  
Siendo el Aluminio 2024 T3 uno de los más tenidos en cuenta para la fabricación de las estructuras de tipo aeronáutico, aun mas cuando estos fueron sometidos a algún tipo de tratamiento térmico para la mejora de sus propiedades.
- **Pruebas y Ensayos:** Luego de tener la aprobación pertinente por la coordinación académica, se procederá a realizar la importación del material, ya que en Colombia es realmente inexistente. Luego de realizada dicha importación se mecanizaran y cortaran las probetas y piezas en función de la normatividad ASTM y de las capacidades técnicas de los equipos en los cuales se realizara la prueba.
- Un punto crítico para la realización de las diferentes pruebas de laboratorio es precisamente la disponibilidad académica de dichas aulas, por tal motivo se deberán gestionar los permisos pertinentes con bastante anterioridad.
- **Recopilación de Datos:** Se realizara una recopilación de datos intermedia a la investigación en la cual se decidirá cuáles fueron los tiempos de exposición óptimos para cada temperatura de re envejecido, para dichos parámetros se repetirá la prueba con unas probetas de diferente morfología, necesaria para la realización de las pruebas de tenacidad de fractura<sup>14</sup>.
- Finalmente se realizara todo un análisis en el cual se tendrán en cuenta todas las variables que se sometieron a cambios durante el experimento con las ambiciosa finalidad de obtener analizar cuáles fueron las condiciones más favorables para la fabricación de componentes aeronáuticos.

**Marco teórico:** El aluminio es el metal no ferroso más consumido en gran medida en el mundo, con un consumo anual actual de 24 millones de toneladas, Las principales adiciones de aleación de aluminio son el cobre, manganeso, silicio, magnesio y zinc. Otros elementos también se agregan en pequeñas cantidades para el refinamiento del grano y el desarrollo de propiedades especiales. Dado que existe una gran variedad de aleaciones de aluminio, sistemas especiales de designación fueron desarrollados por la Asociación del Aluminio para distinguir las aleaciones de manera significativa y, además, para indicar en qué condición metalúrgica, o moderar como se esparció por la aleación.<sup>15</sup>

El cobre es una de las novedades más importantes para el aluminio. Que tiene una solubilidad apreciable y un efecto importante refuerzo a través de las características

<sup>14</sup> ASTM 399 Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness  $K_{Ic}$  of Metallic Materials<sup>1</sup>

<sup>15</sup> D. SCOTT MACKENZIE, Handbook of Aluminum, Physical Metallurgy and Processes, Volume 1, 2003 P.882



**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

de endurecimiento por envejecimiento que imparte el aluminio. Muchas aleaciones contienen cobre, ya sea como la adición más importante (o una serie 2XXX 2xx.x), o como elemento de aleación adicional, en las concentraciones de 1 A 10%. El manganeso ha limitado solubilidad sólida de aluminio, pero en las concentraciones de alrededor del 1% constituye una importante serie de no ser tratado térmicamente aleaciones de aluminio forjado.

Tratamientos térmicos del Aluminio.

Entre los diferentes tipos de tratamiento térmico existentes para los aluminios se puede clasificar a los siguientes como los más importantes:

- Homogeneización
- Recocido
- Solución de tratamiento térmico
- Enfriamiento
- El envejecimiento natural
- Endurecimiento por precipitación (envejecimiento)

La Homogeneización implica el calentamiento de palanquilla en los registros de lanzamiento a una temperatura elevada en la que las aleaciones deben formar una solución homogénea dentro de la de aluminio. Homogeneización requiere un largo periodo de inmersión térmica, por lo general el rango de 15 a 20 horas, a fin de que las aleaciones para homogeneizar con eficacia.

La Homogeneización cambia las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción, dureza, y la fluencia, todos los valores de esfuerzos fuerzas disminuyen lentamente, mientras que el alargamiento a la rotura y el estrechamiento aumenta hasta el doble del valor inicial.

El tratamiento térmico de precipitación (envejecimiento artificial) consiste en calentar la aleación de aluminio en un rango de temperatura de 200 a 450 °F. A esta temperatura, la solución sobresaturada sólida creada por el enfriamiento de la solución de tratamiento de calor y la temperatura, comienza a descomponerse. Inicialmente hay una agrupación de átomos de soluto cerca de algunas dislocaciones. Una vez que los átomos se han difundido a estos grupos de dislocaciones iniciales, coherentes, se forman precipitados. Debido a que los grupos de átomos de soluto tienen un desajuste de la matriz de aluminio, un campo de tensión rodea a los grupos de soluto.

Finalmente, después de que el precipitado semi-coherente, crece a un tamaño lo suficientemente grande, la matriz ya no puede soportar la falta de correspondencia cristalográfica, y forma el equilibrio de precipitado. Lo que sigue es una breve descripción de los precipitados y la secuencia de precipitación más común de endurecimiento de aleaciones de aluminio. El endurecimiento por precipitación es el mecanismo por el cual la dureza, límite elástico, resistencia a la rotura aumentan dramáticamente con el tiempo a una temperatura constante (la temperatura de envejecimiento), después de un enfriamiento rápido a partir de una temperatura mucho más alta. Este enfriamiento rápido o los resultados de enfriamiento en una solución sólida sobresaturada, proporcionan la fuerza motriz para la precipitación.

El concepto de endurecimiento por precipitación abrió un nuevo campo de la física metalurgia, y fue el foco principal de la investigación en los años 1920 y 1930. Este concepto fue muy difícil de validar,

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

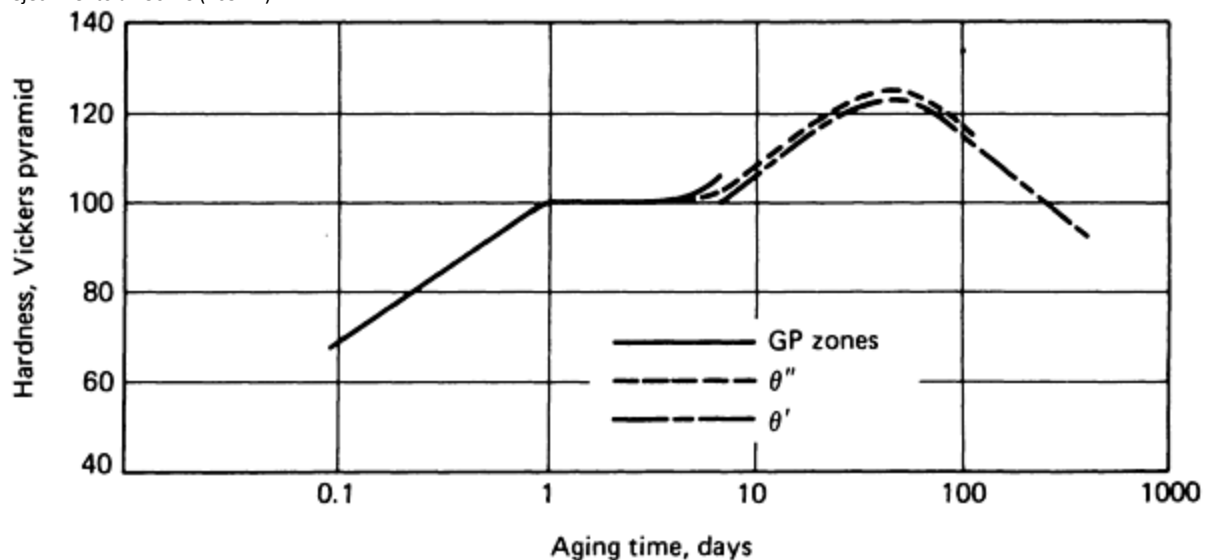
**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

porque los precipitados durante las etapas iniciales e intermedias del envejecimiento eran demasiado pequeños para ser observados con los instrumentos de la época. Mehl y Jelten<sup>16</sup> describe la historia y la evolución del pensamiento de la década de 1930 sobre los mecanismos de endurecimiento por precipitación en el artículo de revisión. Es interesante notar que en el artículo de revisión, el concepto de trastornos no fue mencionado, a pesar de las dislocaciones fueron descubiertas y discutidas en el 1930.

Como los átomos disueltos proceden a través de la coagulación, la coherencia, y el ciclo de las precipitaciones en la red de aleación templada, aumenta la dureza, alcanza un máximo y luego disminuye con el tiempo. La conductividad eléctrica aumenta continuamente con el tiempo hasta que el máximo, normalmente en la posición más precipitada. La condición óptima general, se prefiere el resultado de un tratamiento de precipitación de la temperatura y la duración más allá de las que corresponden a la máxima dureza de envejecimiento.

El fortalecimiento de lo que ocurre durante el envejecimiento de una aleación Al-4 Cu se ilustra en la figura. Siguiendo:

Curva de la dureza de una aleación Al-4Cu que muestra la relación entre los distintos precipitados formados y la dureza sobre el envejecimiento a 130 ° C (265 ° F).



Fuente: ASM Metals HandBook Volume 4, Heat Treating, P1853

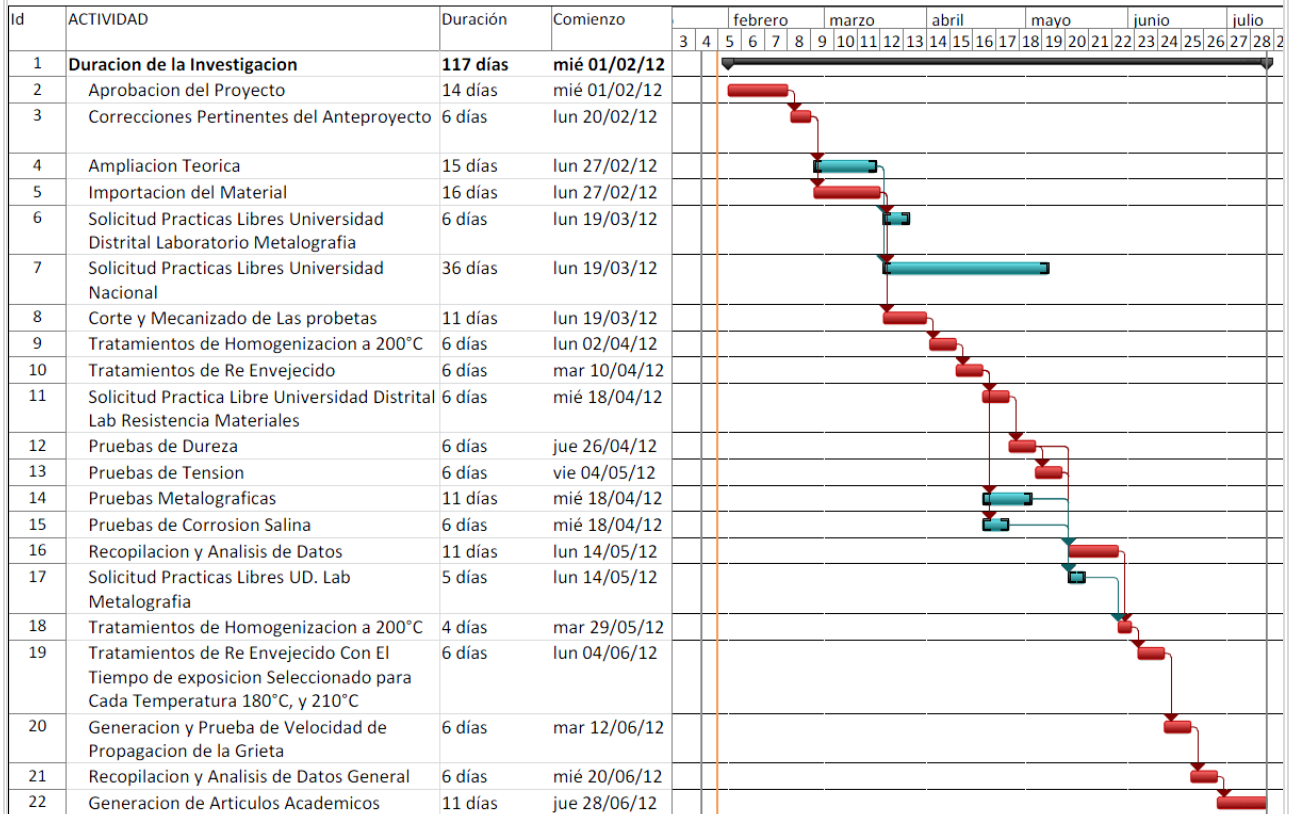
Tenga en cuenta que la dureza máxima es aproximadamente el doble que la notada en la condición inicial ( $\alpha$  sobresaturada). También hay que tener en cuenta que la máxima dureza no se corresponde con la formación de la fase de equilibrio  $\theta$ , pero si para las fases de transición meta estables, que se forman en una distribución mucho más fina que  $\theta$ .

<sup>16</sup> R. Mehl and T. Jelten, Age Hardening of Metals (ASM: Cleveland) 1940, p 342.

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

**Cronograma de actividades:**



**Presupuesto:** La organización del presupuesto se dividió en dos partes:

- La primera organiza y planifica todo lo relacionado con los insumos para la realización del proyecto, es decir todo valor material necesario para el desarrollo de todos los elementos de la metodología y entrega del proyecto final.

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

Tabla 1: Insumos.

INSUMOS					
ITEM	VALOR UNITARIO	UNIDAD	N° UNID	COSTO	FINANCIACION
AL 2024 T3	\$ 96,000	metro	7	\$ 672,000	PROPIA
Fotocopias	\$ 50	hoja	1000	\$ 50,000	PROPIA
Internet	\$ 1,000	Hora	200	\$ 200,000	PROPIA
Unal	\$ 400,000	Laboratorio	1	\$ 400,000	PROPIA
Transporte	\$ 1,850	Pasajes	50	\$ 92,500	PROPIA
Taller	\$ 60,000	Taller	10	\$ 600,000	PROPIA
Laboratorio	\$ 80,000	HORA	20	\$ 1,600,000	UD
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3,614,500</b>	

- La Segunda organiza y planifica todo lo relacionado con los recursos humanos para la realización del proyecto.

MANO DE OBRA					
RECURSO	VALOR UNIDAD	UNIDAD	N° UNIDADES	COSTO	FINANCIACION
Estudiante 1	\$ 8,000	hora	1000	\$ 8,000,000	PROPIA
Estudiante 2	\$ 8,000	hora	1000	\$ 8,000,000	PROPIA
Tutor	\$ 50,000	hora	20	\$ 1,000,000	UD
Asesor Ex					
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 17,000,000</b>	

En conclusión se tiene que el proyecto tendrá un costo total de 20'614.500

**Bibliografía**

- BARUCH M. CINA, RAMAT GAN, United States Patent, Reducing the susceptibility of alloys, particularly aluminium alloys, to stress corrosion cracking, 1974, p 1-3
- RAIZENNE, WU, SJOBLUM, RONDEAU, KUHLMAN, Corrosion Fatigue and Environmentally Assisted Cracking in Aging Military Vehicles, CORROSION CONTROL USING RETROGRESSION AND RE-AGING (RRA), marzo 2011, p 359-369.
- MAY, BELOUCHRANI, TAHARBOUCHT Y BOUDRAS, PROCEDIA Engineering, Influence of heat

**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**  
**Proyecto Curricular de Mecánica**

**FORMATO DE INSCRIPCIÓN DE TRABAJO DE GRADO**  
**Para obtener el título de Tecnólogo en Mecánica o Ingeniero Mecánico**

treatment on the fatigue behavior of two aluminum alloys 2024 and 2024 plated, Marzo 2010, P 1795-1804.

RANGANATHA, RAO, BHAT Y MURALIDHARA, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), RETROGRESSION AND RE-AGING TREATMENT OF AA 7049 ALUMINIUM ALLOY, Vol. 3 No. 7, 2011, P 1-6

J.S ROBINSON, Materials Science and Technology, Influence of retrogression and reaging on fracture toughness of 7010 aluminium alloy, Maney for the Institute of Materials, Minerals and Mining, 2003, P 1-10

ASM METALS HANDBOOK, Heat Treating, Volume 4, 2002, P 1861-1960.

TOMASSETTI DE PIACENTINI, Los Costos Marginales en el Transporte Aéreo, Aspectos Teóricos y Prácticos, www.revistakairos.com, 2010, P 7-15

[HTTP://WWW.REVISTAAERONAUTICA.MIL.CO/?IDCATEGORIA=69867](http://www.revistaaeronautica.mil.co/?IDCATEGORIA=69867), "Primer avión militar fabricado en Colombia",

ASTM 399, Standard Test Method for Linear-Elastic Plane-Strain Fracture Toughness  $K_{Ic}$  of Metallic Materials.

M.D. HALLIDAY A, C. COOPER A, P. POOLE B, P. BOWEN, International Journal of Fatigue 25, On predicting small fatigue crack growth and fatigue life from long crack data in 2024 aluminium alloy, 2003, P 1-10

WU, X.J., RAIZENNE, M.D., CHEN, W.R., POON, C., AND WALLACE, W, Thirty Years Of Retrogression And Re-Aging, 2010 P 1-11

ASTM E8, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.

ASTM INTERNACIONAL, J. Gilbert Kaufman, Introduction to aluminum alloys and tempers, ASM International, 2000, P 16-29.

D. SCOTT MACKENZIE, Handbook of Aluminum, Physical Metallurgy and Processes, Volume 1, 2003

R. MEHL AND T. JELTEN, Age Hardening of Metals (ASM: Cleveland) 1940, p 342.