



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**Implementación de un tratamiento térmico
para la recuperación de una aleación
comercial AA6061.**

INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO.**

P R E S E N T A:

JOHAN ISRAEL MÁRQUEZ ROMERO



CDMX

2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Prof. OJEDA RAMÍREZ BALBINA
VOCAL: Prof. FIGUEROA VARGAS IGNACIO ALEJANDRO
SECRETARIO: Prof. FLORES ROSAS CLARA SARAID
1er. SUPLENTE: Prof. ARANDA VILLADA VICTOR ANTONIO
2º. SUPLENTE: Prof. RUIZ RAMÍREZ AGUSTÍN

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: MINALUM DE MÉXICO S.A
DE C.V.

DILIGENCIAS #8, SAN ANDRÉS TOTOLTEPEC, TLALPAN, 14400 CIUDAD
DE MÉXICO, CDMX

ASESOR DEL TEMA: M. en C. BALBINA OJEDA RAMÍREZ

SUSTENTANTE: JOHAN ISRAEL MÁRQUEZ ROMERO

Índice

Índice.....	III
Índice de Figuras.....	V
Índice de Tablas.....	VI
Resumen.....	VII
Capítulo I	1
Introducción.....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Capítulo II	5
2. Marco teórico.....	6
2.1 Aluminio.....	6
2.1.1 Clasificación de las aleaciones de aluminio.....	7
2.1.2 Nomenclatura de las aleaciones forjadas de aluminio.....	7
2.2. Aleaciones de aluminio comerciales tratables térmicamente.....	8
2.3. Aleación 6061.....	8
2.3.1 Características microestructurales y mecánicas de la aleación 6061.....	11
2.4 Clasificación de los tratamientos térmicos en aleaciones de aluminio.....	13
2.5 Tratamiento de endurecimiento por envejecimiento.....	18
2.6 Requerimientos para lograr el endurecimiento.....	19
2.7 Pasos del tratamiento térmico de envejecimiento.....	20
2.8 Dureza.....	22
2.8.1 Determinación de la dureza.....	22
2.8.2 Resistencia a la indentación.....	22
2.8.3 Durómetro Webster.....	23
2.9 Componente: Clip ménsula cremallera.....	27
2.9.1 Fabricación del clip ménsula.....	30
Capítulo III.....	32
3. Planteamiento del problema.....	33
Capítulo IV.....	35
4. Procedimiento experimental.....	36

4.1 Rechazo de material por parte del área de calidad.	36
4.2 Revisión bibliográfica.	37
4.3 Pruebas de temperatura.	37
4.3.1 Preparación de probetas.....	38
4.4 Pruebas de tiempo de permanencia.	39
4.5 Pruebas de volumen.....	40
4.6 Pruebas de fatiga.....	41
Capítulo V.	43
5. Resultados y análisis.....	44
5.1 Resultados de pruebas de temperatura.....	44
5.2 Pruebas de residencia en horno.....	45
5.2.1 Prueba de residencia a 140 °C.....	45
5.2.2 Prueba de residencia a 160 °C.....	47
5.2.3 Pruebas de residencia a 180 °C.	48
5.3 Pruebas de volumen.....	49
5.4 Pruebas de fatiga.....	51
Capítulo VI.	52
6. Conclusiones.....	53
Capítulo VII.	54
7. Referencias bibliográficas.	55
Capítulo VIII.	58
8. Anexos.....	59
8.1 Anexo A.....	59
8.2 Anexo B.....	60
8.3 Anexo C.....	61
8.4 Anexo D.....	62
8.5 Anexo E.....	63

Índice de Figuras.

Figura 2.1. Diagrama de fases pseudo binario Al-Mg ₂ Si. [5]	10
Figura 2.2. Microestructura de una aleación 6061 T6 50x. [5].....	11
Figura 2.3. Microestructura de una aleación 6061 H0, 50x. [5]	12
Figura 2.4. Microestructura de la aleación 6061 con ataque de 250x HF 0.5%. [6].....	12
Figura 2.5. Tratamiento térmico de precipitación para las aleaciones de aluminio. [4]	18
Figura 2.6 Esquema que ilustra las condiciones para el endurecimiento por envejecimiento. [9].....	20
Figura 2.7. Etapas de endurecimiento por envejecimiento.	21
Figura 2.9. Diagrama de clip ménsula cremallera.	27
Figura 2.11. Clip ménsula sujetando distintos tipos de parrilla.	28
Figura 2.12. Clip ménsula sujeta en cremallera.	29
Figura 2.13. a) Fleje de aluminio. b) Porta rollos.	30
Figura 2.14. Equipo de fabricación de clip ménsula.	30
Figura 2.15. Conformación de clip ménsula cremallera.....	31
Figura 4.1. Diagrama de flujo procedimiento experimental.	36
Figura 4.2. Configuración de horno de pruebas de temperatura.	38
Figura 4.3. Configuración de carga en horno.	40
Figura 4.4. Configuración de pruebas de fatiga.....	42
Figura 5.1 Gráfico de dureza vs temperatura de tratamiento.	44
Figura 5.2 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 140° C.....	46
Figura 5.3 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 160° C.....	48
Figura 5.4 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 180° C.....	49
Figura 5.5 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 160 y 180 °C aplicado a volumen real.	50

Índice de Tablas.

Tabla 2.1. Nomenclatura de aleaciones forjadas [1]	7
Tabla 2.2. Composición Aleación de Aluminio 6061 [1].....	8
Tabla 2.3. Propiedades físicas Aleación Aluminio 6061 [1]	9
Tabla 2.4. Propiedades Mecánicas Aleación Aluminio 6061 [1]	9
Tabla 2.5. Eutécticos del sistema Al-Si-Mg [5]	10
Tabla 2.6. Designaciones de tratamiento térmico para aluminios [1].....	14
Tabla 2.7. Clasificación de tratamientos térmicos de envejecimiento [1].....	14
Tabla 2.8. Tratamientos de disolución y precipitación para productos [7].....	17
Tabla 2.9. Parámetros técnicos del durómetro Webster [9].....	25
Tabla 2.10. Conversión de durezas [9].....	26
Tabla 4.1 Pruebas de ablandamiento a distintas temperaturas en tiempo fijo.	38
Tabla 4.2 Pruebas a distinto tiempo y temperatura.	39
Tabla 4.3 Pruebas de volumen a dos tiempos y temperaturas.	41
Tabla 5.1 Resultados de pruebas de temperatura.	44
Tabla 5.2 Resultados de dureza en pruebas de residencia a 140° C.	46
Tabla 5.3 Resultados de dureza en pruebas de tiempo de residencia en horno a 160° C.	47
Tabla 5.4 Resultados de dureza en pruebas de tiempo de residencia 180° C.	48
Tabla 5.5 Resultados de dureza en pruebas de volumen a 160 y 180 °C.	50
Tabla 5.6 Resultados de pruebas de fatiga.	51

Resumen.

El presente trabajo contiene la metodología empleada para la determinación y aplicación de un tratamiento térmico de revenido, a una aleación comercial AA6061, la cual no se encontraba en las condiciones mecánicas requeridas, que permitieran la fabricación de distintos componentes de refrigeración comercial.

Mismo que de desarrolló mediante una previa revisión bibliográfica, además se realizaron pruebas experimentales para la obtención del tratamiento adecuado, que cumpliera con los objetivos estipulados. Las pruebas experimentales se realizaron en dos etapas, a pequeña escala y en volumen real al que sería sometida la aleación AA6061. Ambas fueron basadas en temperatura y tiempo.

Las pruebas en volumen real fueron sometidas a ensayos de dureza y fatiga, los resultados obtenidos fueron graficados y analizados en un programa de procesamiento de información y presentados a los directivos de la empresa. El procedimiento experimental se realizó dentro de la empresa Minalum de México con equipo proporcionado por la misma. Así mismo, el tratamiento térmico seleccionado fue basado en las condiciones convenidas por la dirección.

El motivo de este trabajo es el documentar el proceso mediante el cual sea posible recuperar el material que se encuentre fuera de condiciones mecánicas, continuando con la producción del componente (clip ménsula cremallera), evitando retrasos en las entregas. A su vez, significó el

aprovechamiento no solo de un material considerado merma y del cual se tenía un desabasto en ese momento, sino también, una ganancia monetaria por la recuperación de la inversión.

El presente trabajo formará parte de un procedimiento de Minalum de México, constituyendo un proceso para tratamiento térmico de la aleación AA6061, que se pueda aplicar para futuras necesidades de la empresa.

Capítulo I

Introducción.

Durante el desarrollo profesional, nos podemos enfrentar a ciertas adversidades que nos impidan cumplir con los objetivos o metas estipuladas. Para ello, debemos basarnos en los conocimientos adquiridos durante la formación académica universitaria, y así, hallar la solución más viable y competente.

Minalum de México, empresa del ramo metalmecánico, enfocada a la manufactura de componentes de refrigeración, encomendó el desarrollo de un proyecto para el aprovechamiento de material rechazado, que se emplea en la fabricación del clip ménsula para cremallera.

La fabricación de equipos de refrigeración comerciales e industriales debe tener la capacidad de producir y suministrar, de acuerdo a las necesidades que cada una de las industrias demande (ya sea alimenticia, farmacéutica o cualquier otra), conservación en frío. La producción de dichos aditamentos se lleva a cabo bajo las especificaciones dictadas por el cliente, mismas que llevan a limitantes durante el proyecto.

Independientemente de las limitantes proyectadas por el cliente, se presentan ciertos problemas respecto a los precios del aluminio en la actualidad. La importación de Estados Unidos o Canadá conllevan a un incremento de presupuesto por los aranceles impuestos en los tratados de libre comercio, razón por la cual se buscan alternativas para obtener la mayor rentabilidad posible, en este caso, el material es de procedencia china.

La importación de mercados asiáticos obliga a tener ciertas precauciones al momento de adquirir materias primas, ya que se enfrenta a ciertas dificultades respecto a las especificaciones prometidas por los proveedores,

teniendo como consecuencia, el rechazo por el área de calidad al no cumplir con las características para su liberación a producción; que a su vez se vió afectada la rentabilidad en el proceso de devolución a proveedor. Por tal motivo en el proyecto se buscaron alternativas para sacar el mayor provecho a la aleación de aluminio 6061 T6, que había sido en un inicio, rechazado por el área de calidad.

Objetivo general.

Implementar un proceso mediante el cual se logre la recuperación de la materia prima, empleada para la fabricación del clip ménsula cremallera, suministrados fuera de especificación con los recursos proporcionados por la empresa Minalum de México, con el fin de asegurar el máximo aprovechamiento del material rechazado.

Objetivos específicos.

- 1) Diseñar y aplicar un tratamiento térmico, en la aleación de aluminio comercial AA6061 con el fin de aumentar su ductilidad.
- 2) Implementar el tratamiento térmico con las condiciones de temperatura y tiempo óptimas para obtener las propiedades necesarias para el conformado del material.
- 3) Utilizar y aprovechar el equipo y materiales proporcionados por la empresa con el fin de recuperar los materiales fuera de especificación.

Capítulo II

2. Marco teórico.

2.1 Aluminio.

El aluminio, el segundo elemento metálico más abundante en la tierra, se convirtió en un competidor económico en aplicaciones de ingeniería a fines del siglo XIX. La versatilidad del aluminio, la gama de propiedades físicas y mecánicas que se pueden desarrollar, desde aluminio altamente refinado hasta aleaciones más complicadas, se encuentran entre las cualidades más atractivas del metal. Las características del aluminio que hacen que este metal y sus aleaciones sean más rentables y atractivas para una amplia gama de aplicaciones incluyen su apariencia, peso ligero, capacidad de fabricación, propiedades físicas y mecánicas y resistencia a la corrosión. El aluminio tiene una densidad de solo $2,7 \text{ g/cm}^3$, aproximadamente un tercio de acero ($7,83 \text{ g/cm}^3$), cobre ($8,93 \text{ g/cm}^3$) o latón ($8,53 \text{ g/cm}^3$) [1]. Puede mostrar una excelente resistencia a la corrosión en la mayoría de los entornos, incluida la atmósfera, agua salada, los productos petroquímicos y muchos sistemas químicos. El aluminio suele estar aleado con otros metales, incluidos Cu, Mg, Zn, Si, Cr y Mn, lo que aumenta su practicidad y aplicabilidad. A partir de la Segunda Guerra Mundial se vio el desarrollo de las aleaciones de aluminio, que actualmente son las aleaciones con mayor aplicación en la industria automotriz y aeronáutica [2,3]. Las propiedades mecánicas dependen no solo de la pureza sino también del tratamiento térmico utilizado. [4]

2.1.1 Clasificación de las aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio se pueden dividir en dos categorías principales: a) las que se utilizan en los procesos de trabajo de los metales, incluidos el laminado, la extrusión, la forja, el trefilado y el embutido; y b) las aleaciones fundidas de aluminio. [5]

2.1.2 Nomenclatura de las aleaciones forjadas de aluminio.

La industria ha desarrollado un código de cuatro dígitos (ZXXX), para identificar los distintos tipos de aleación que existen, en donde el primer dígito indica el principal elemento aleante utilizado, el segundo dígito hace referencia al control de impurezas, los dígitos subsecuentes en el caso de las aleaciones de la serie 1 indica el porcentaje mínimo de pureza, en las demás series indica la marca de la aleación [5], en la tabla 2.1 se muestra la nomenclatura designada a los distintos elementos aleantes.

Tabla 2.1. Nomenclatura de aleaciones forjadas. [4]

1xxx	Composiciones sin mezcla controladas (puras).
2xxx	Aleaciones en las que el cobre es el principal elemento aleante.
3xxx	Aleaciones en las que el manganeso es el principal elemento de aleación.
4xxx	Aleaciones en las cuales el silicio es el principal elemento de aleación.
5xxx	Aleaciones en las que el magnesio es el principal elemento de aleación.
6xxx	Aleaciones en las que el magnesio y el silicio son los principales elementos de aleación.
7xxx	Aleaciones en las que el zinc es el principal elemento aleante.
8xxx	Aleaciones que incluyen estaño y algunas composiciones de litio que caracterizan composiciones diversas.
9xxx	Reservado para uso futuro.

2.2. Aleaciones de aluminio comerciales tratables térmicamente.

Las aleaciones comerciales de aluminio tratables térmicamente, en su mayoría, se basan en sistemas ternarios o cuaternarios con respecto a los solutos que están involucrados en el aumento de la resistencia por precipitación [1,6]. Los sistemas más destacados son: Al-Cu-Mg, Al-Cu-Si y Al-Cu-Mg-Si, cuyas aleaciones se encuentran en los grupos 2xxx y 2xx.x (aleaciones forjadas y fundidas, respectivamente); Al-Mg-Si (aleaciones forjadas 6xxx); Al-Si-Mg, Al-Si-Cu y Al-Si-Mg-Cu (3xx.x aleaciones de fundición); y Al-Zn-Mg y Al-Zn-Mg-Cu (7xxx forjado y 7xx.x aleaciones de fundición). En cada caso, la solubilidad de los elementos disminuye al disminuir la temperatura. [4,7]

2.3. Aleación 6061.

La composición química nominal de la aleación 6061 se presenta en la tabla 2.2 conforme lo reporta la Asociación de Aluminio (AA).

Tabla 2.2. Composición Aleación de Aluminio 6061. [4]

GRADO DE DESIGNACIÓN			COMPOSICIÓN % en peso								
Asociación del Aluminio	UNS No.	ISO No. R209	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al, mínimo
6061	A96061	AlMg ₁ SiCu	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	0.25	0.15	Restante

La aleación de aluminio 6061, es producto forjado y tratado térmicamente, dúctil y ligero, con alta resistencia y excelentes características de acabado. La aleación 6061 es ideal para la manufactura de piezas maquinadas con calidad de excelencia y para trabajos que requieran buen acabado superficial y alta resistencia. Esta aleación tiene buena resistencia a la corrosión atmosférica y en ambientes marinos y una resistencia similar a la del acero. No presenta vulnerabilidad a la corrosión, agrietamiento y erosión [8].

Esta es una aleación de uso bastante común ya que tiene simplicidad de maquinado a pesar de su tratamiento de envejecimiento artificial (T6). Otros beneficios de la aleación incluyen su excelente conductividad, ligereza, nula toxicidad y su incapacidad para generar chispa, su resistencia es superior a otras aleaciones de la familia 6xxx, se puede maquinar en frío, excelentes características para soldadura [9], en la tabla 2.3 se enlistan las propiedades físicas de la aleación.

Tabla 2.3. Propiedades físicas Aleación Aluminio 6061. [4]

Coefficiente de expansión térmica promedio ($\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	Rango de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	Tratamiento	Conductividad térmica ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)	Densidad (g/cm^3)	Resistividad eléctrica ($\Omega \text{mm}^2/\text{m}$)
26.3	580-650	O	180	2.70	0.0365
		T4	154		0.043
		T6	167		0.040

La tabla 2.4 engloba las propiedades mecánicas de la aleación respecto a distintos tratamientos térmicos.

Tabla 2.4. Propiedades Mecánicas Aleación Aluminio 6061. [4]

Aleación y tratamiento	Máximo esfuerzo a la tensión		Resistencia a la tracción		% elongación en 50mm		Dureza (HB)	Máximo esfuerzo de corte		Límite de resistencia a la fatiga		Módulo de elasticidad	
	MPa	ksi	MPa	Ksi	1.6 mm (1/16 in) espesor	1.3 mm (1/2 in.) diámetro		MPa	ksi	MPa	ksi	GPa	10 ⁶ psi
6061-O	125	18	55	8	25	30	30	85	12	60	9	69	10
6061-T4,T451	240	35	145	21	22	25	65	165	24	95	14	69	10
6061-T6,T651	310	45	275	40	12	17	95	205	30	95	14	69	10

Magnesio-Silicio. Esta aleación contiene hasta un 1,2% de magnesio y 0.8% de silicio, es decir, 1.73:1, proporción requerida para la formación de siliciuro de magnesio (Mg_2Si). La solubilidad máxima de Mg_2Si es 1.85%, y esto disminuye con la temperatura como se puede apreciar en la figura 2.1.

Este compuesto la hace tratable térmicamente, la respuesta al tratamiento de envejecido de las aleaciones es muy significativa, por lo tanto, el control de la precipitación, durante un tratamiento térmico es crucial para lograr un óptimo resultado en la aleación. [4]

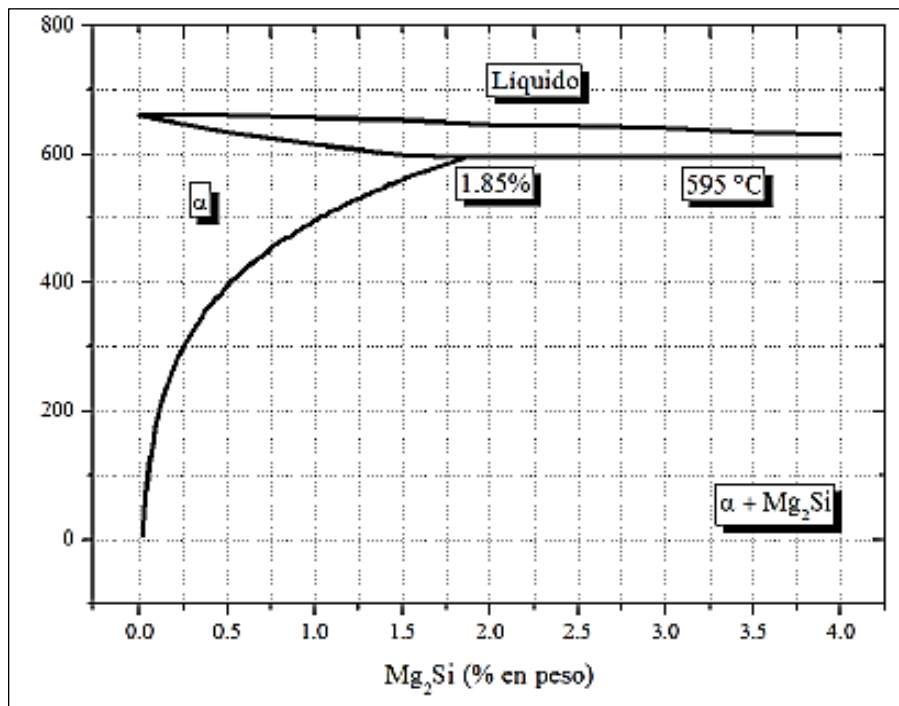


Figura 2.1. Diagrama de fases pseudo binario Al-Mg₂Si. [10]

La característica esencial de este diagrama reside en que el aluminio y el compuesto Mg₂Si forman un sistema cuasi-binario que separa el diagrama ternario en dos partes [11]. Cada una de estas partes contiene un eutéctico definido, especificado en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Eutécticos del sistema Al-Si-Mg. [10]

Eutéctico	Temperatura (°C)	Mg%	Si%
Liq=α(Al)+Mg ₂ Si+Si...	556	4.97	14
Liq=α(Al)+Mg ₂ Si+ βAl ₃ Mg ₂ ...	450	33.5	0.2

Dada las características propias de esta aleación, es que no existe compuesto ternario alguno, sino una mezcla de Mg_2Si y Al_3Mg_2 . El Mg_2Si es compuesto iónico que se comporta como un semiconductor. La solubilidad del compuesto Mg_2Si en aleaciones de aluminio varía de una manera muy importante, en función de la temperatura y por el exceso de magnesio.

2.3.1 Características microestructurales y mecánicas de la aleación 6061.

La microestructura de la aleación 6061 T6, se caracteriza por mostrar la fase alfa (más clara) con presencia de precipitados del tipo Fe_3SiAl_2 (color gris o blanco) y precipitados de Mg_2Si (negros) como se muestra en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4.



Figura 2.2. Microestructura de una aleación 6061 T6 50x. [10]



Figura 2.3. Microestructura de una aleación 6061 H0, 50x. [10]

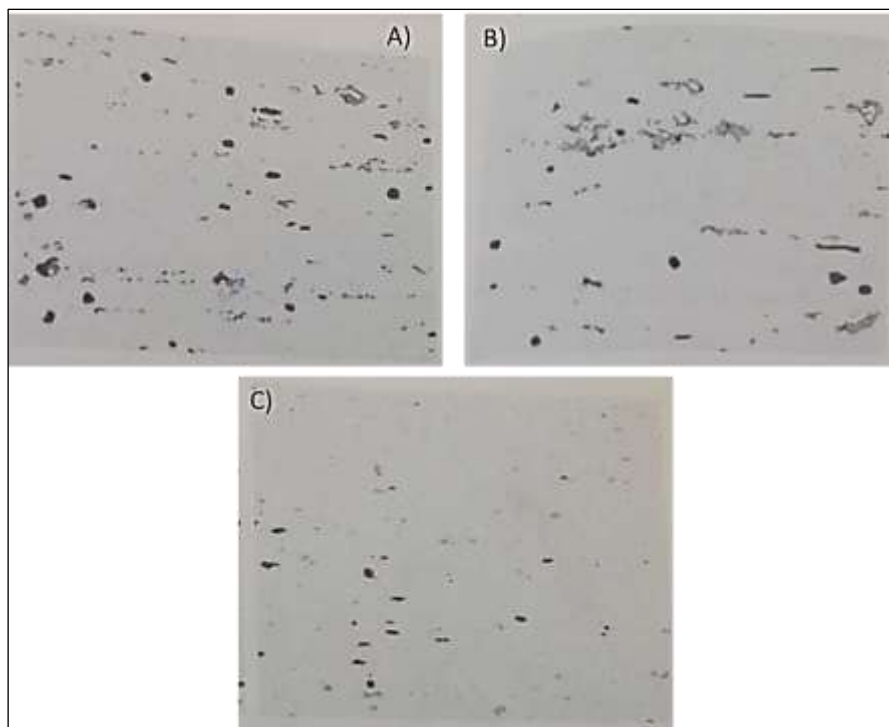


Figura 2.4. Microestructura de la aleación 6061 con ataque de 250x HF 0.5%. [12]

Elementos como el manganeso, el cromo y el circonio se utilizan para controlar la estructura del grano. Las aleaciones de este grupo, como la aleación estructural 6061, logran resistencias de aproximadamente 70 MPa (10 ksi).

2.4 Clasificación de los tratamientos térmicos en aleaciones de aluminio.

El tratamiento térmico del aluminio y sus aleaciones está relacionado con la composición del material y los procesos de deformación. [13,14]. Para elevar la resistencia a la tensión y el esfuerzo de fluencia, el material debe pasar por procesos combinados de temperatura y deformación física, seguido de una etapa de reposo o maduración al medio ambiente o en condiciones artificiales. La diferencia entre cada tratamiento está en la secuencia y la combinación de dichos procesos.

Cuando se aplica a aleaciones de aluminio endurecibles por precipitación, el término tratamiento térmico se entiende como las operaciones controladas de calentamiento y enfriamiento empleadas para modificar la microestructura del material, que en consecuencia cambian su resistencia y dureza [15,16].

A continuación, en la tabla 2.6, se presentan las designaciones de tratamientos térmicos básicos realizados a aleaciones de aluminio.

Tabla 2.6. Designaciones de tratamiento térmico para aluminios. [4]

F	Según se fabrica. Esto se aplica a productos conformados por procesos de trabajo en frío, trabajo en caliente o fundición en los que no se emplea ningún control especial sobre las condiciones térmicas o el endurecimiento por deformación.
O	Recocido. Se aplica a los productos forjados que se recocen para obtener un temple de menor resistencia y a los productos que están recocidos para mejorar la ductilidad y la estabilidad dimensional. La O puede ir seguida de un dígito distinto de cero.
H	Endurecido por deformación (solo productos forjados). Esto indica que los productos se han fortalecido con el endurecimiento por deformación, con o sin tratamiento térmico adicional para producir una reducción de la resistencia. La H siempre va seguida de dos o más dígitos.
W	Solubilizada. Este es un tratamiento inestable que se aplica solo a las aleaciones cuya resistencia cambia naturalmente (espontáneamente) a temperatura ambiente durante meses o incluso años después del tratamiento térmico con solución.
T	Tratada térmicamente. Esto se aplica a las aleaciones cuya resistencia es estable a las pocas semanas de tratamiento térmico de solubilizado. La T siempre va seguida de uno o más dígitos, cada número indica una secuencia específica de tratamientos básicos.

La tabla 2.7 contiene la subdivisión de temples para aleaciones de aluminio tratables térmicamente:

Tabla 2.7. Clasificación de tratamientos térmicos de envejecimiento. [4]

T1, enfriado de un proceso de conformado de temperatura elevada y envejecido naturalmente a condición sustancialmente estable.	Esta designación se aplica a los productos que no se trabajan en frío después de un proceso de conformado a alta temperatura, como la fundición o extrusión, y cuyas propiedades mecánicas se han estabilizado por el envejecimiento a temperatura ambiente. También se aplica a los productos que se aplanan o enderezan después del enfriamiento del proceso de conformado, por lo que los efectos del trabajo en frío que se imparte al aplanar o alisar no se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados.
--	---

<p>T2, enfriado a partir de un proceso de conformado a alta temperatura, trabajado en frío, y naturalmente envejecido a una condición sustancialmente estable.</p>	<p>Esta variación se refiere a los productos que se trabajan en frío específicamente para mejorar la resistencia después del enfriamiento en un proceso de trabajado en caliente, como la laminación o la extrusión, y cuyas propiedades mecánicas se han estabilizado por el envejecimiento a temperatura ambiente. También se aplica a los productos en los que el efecto del trabajo en frío, impartido por aplanamiento o enderezado, se tiene en cuenta en los límites de propiedades especificados.</p>
<p>T3, solución tratada térmicamente, trabajada en frío y naturalmente envejecida a una condición sustancialmente estable.</p>	<p>Se aplica a productos que se trabajan en frío específicamente para mejorar la resistencia después del tratamiento térmico de solubilizado y para los cuales las propiedades mecánicas se han estabilizado por el envejecimiento a temperatura ambiente. También se aplica a los productos en los que los efectos del trabajo en frío, impartidos por aplanamiento o enderezado, se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados</p>
<p>T4, solución tratada térmicamente y naturalmente envejecida a una condición sustancialmente estable.</p>	<p>Esto significa productos que no se trabajan en frío después del tratamiento térmico de la solución y cuyas propiedades mecánicas se han estabilizado por el envejecimiento a temperatura ambiente. Si los productos se aplanan o se enderezan, los efectos del trabajo en frío impartido por el aplanamiento o el alisado no se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados.</p>
<p>T5, enfriado a partir de un proceso de conformado a alta temperatura y envejecido artificialmente.</p>	<p>Incluye productos que no se trabajan en frío después de un proceso de conformado a alta temperatura, como la fundición o la extrusión, y cuyas propiedades mecánicas se han mejorado sustancialmente mediante el tratamiento térmico por precipitación. Si los productos se aplanan o se enderezan después del enfriamiento del proceso de conformación, los efectos del trabajo en frío impartido por aplanamiento o alisado no se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados.</p>
<p>T6, solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente.</p>	<p>Este grupo abarca productos que no se trabajan en frío después del tratamiento térmico de solubilizado y para los cuales las propiedades mecánicas o la estabilidad dimensional, o ambas, se han mejorado sustancialmente mediante el tratamiento térmico por precipitación. Si los productos se aplanan o se enderezan, los efectos del trabajo en frío impartido por el aplanamiento o el alisado no se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados.</p>

<p>T7, solución tratada térmicamente y sobredimensionada o estabilizada.</p>	<p>Se aplica a los productos forjados que han tenido tratamiento térmico por precipitación más allá del punto de máxima resistencia para proporcionar algunas características especiales, como una mayor resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión o corrosión por exfoliación. Se aplica a productos fundidos que se envejecen artificialmente después del tratamiento térmico de solubilizado para proporcionar estabilidad dimensional y de resistencia.</p>
<p>T8, solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida artificialmente.</p>	<p>Esta designación se aplica a los productos que se trabajan en frío específicamente para mejorar la resistencia después del tratamiento térmico de solubilizado y para los cuales las propiedades mecánicas o la estabilidad dimensional, o ambas, se han mejorado sustancialmente mediante el tratamiento térmico por precipitación. Los efectos del trabajo en frío, incluido cualquier trabajo en frío que se imparte por aplanamiento o enderezado, se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados.</p>
<p>T9, solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.</p>	<p>Esta agrupación está compuesta por productos que se trabajan en frío específicamente para mejorar la resistencia después de haber sido sometidos a un tratamiento térmico por precipitación.</p>
<p>T10, enfriado a partir de un proceso de conformado a alta temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente.</p>	<p>Identifica los productos que se trabajan en frío específicamente para mejorar la resistencia después del enfriamiento de un proceso de trabajo en caliente, como la laminación o la extrusión, y cuyas propiedades mecánicas se han mejorado sustancialmente mediante el tratamiento térmico por precipitación. Los efectos del trabajo en frío, incluido cualquier trabajo en frío que se imparte por aplanamiento o enderezado, se tienen en cuenta en los límites de propiedad especificados.</p>

Dado que cada una de las aleaciones tiene sus propias condiciones de tratamiento y difieren entre ellas, en la tabla 2.8 se muestran las temperaturas normales de tratamiento para las aleaciones de aluminio más comunes que son: 2014, 2024, 6061,6063 y 7075. [17,18]

Tabla 2.8. Tratamientos de disolución y precipitación para productos. [17]

Aleación	Tratamiento de disolución						Tratamiento de precipitación o envejecimiento			
	Temp (°C)	Espesor pulgadas	Periodo de sostenimiento (minutos)				Condición Inicial	Temp (°C)	Tiempo Horas	Condición envejecido final
			Mínimo		Máximo					
			Baño sal	Horno atmósfera	Baño sal	Horno atmósfera				
2014	500	0.254 a 0.305	10	10	15	15	2014-W	Ambiente	96	2014-T4, T42
		0.330 a 0.406	10	20	15	25	2014-W,	175	8 a 9	2014-T6, -T62
		0.431 a 0.508	15	25	25	35	-T4, -T42			
		0.533 a 0.813	20	30	30	40				
		0.838 a 1.600	25	35	35	45				
		1.626 a 2.287	30	40	40	50				
		2.311 a 3.175	35	50	45	60				
		3.200 a 6.350	45	65	55	75				
6.375 a 12.70										
2024	495	Sobre 12.70mm: suma 20 minutos por cada 12.7 mm adicionales o fracción del mismo en sal, 30 minutos por cada 12.7 mm adicionales o fracción del mismo en aire.				2024-W	Ambiente	96	2024-T4, -T42	
6061 o 6063	530					6061-W	Ambiente	96	6061-T4, -T42	
						6063-W	Ambiente	96	6063-T4, -T42	
						6061-W, -T4, -T42 Y T4XXX	171 a 182	8 a 10	6061-T6, -T62 Y-T6XXX	
						6063-W, T4				
		6951-W, -T4, -T42	154 a 165	17 a 19	6951-T6, T62					
Láminas desnudas y resvestida	489 a 499 FL5		7075-W FL19	115 a 127	22 a 24	7075-T6, -T62 FL16				
Placas, barras, tuberías y extrusiones 7075	460 a 471									

El tratamiento térmico T6 se utiliza generalmente para incrementar la dureza y la resistencia a la tracción de las aleaciones de aluminio, implica principalmente tres pasos, que son: solubilización, temple y envejecimiento.

2.5 Tratamiento de endurecimiento por envejecimiento.

Al endurecimiento por envejecimiento también se le conoce como endurecimiento por precipitación, esto es porque la resistencia mecánica y la dureza de algunas aleaciones metálicas pueden incrementarse mediante la formación de partículas uniformes dispersas de una segunda fase dentro de la matriz, las cuales resultan de someter a la pieza a un ciclo de tratamiento térmico [19,20].

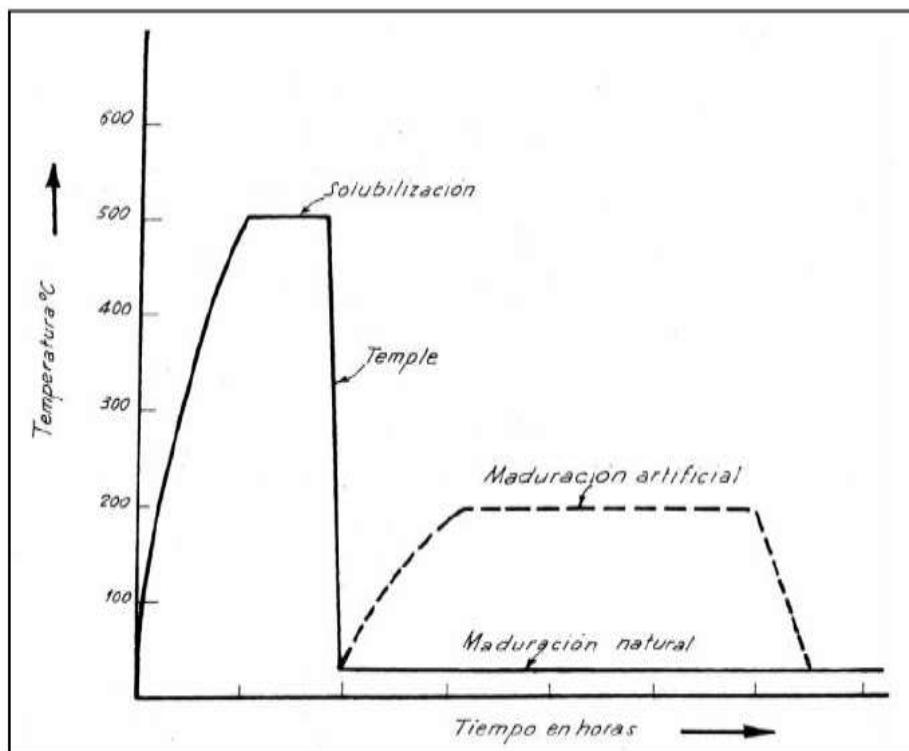


Figura 2.5. Tratamiento térmico de precipitación para las aleaciones de aluminio. [19]

Si la aleación se enfría lentamente desde la temperatura de soluto hasta temperatura ambiente, la solución tiende a precipitar partículas de intermetálico, pero no contribuye al endurecimiento de la aleación por el grosor del precipitado del orden de 1000 nm y por la escasa cantidad de precipitados por unidad de volumen.

Si la aleación se enfría rápidamente a temperatura ambiente después del solubilizado se obtiene una solución sólida sobresaturada de soluto, con los átomos de soluto colocados de manera aleatoria en los vértices de la red cúbica de caras centradas del aluminio, formando una solución sólida sustitucional [21,22]. Después del solubilizado a 530°C el endurecimiento por envejecimiento se debe a la formación de precipitados coherentes con la matriz, a partir de esta solución sobresaturada.

Durante la etapa de envejecimiento natural, la solución se descompone y da lugar a pequeñas zonas o agrupaciones de átomos de soluto o zonas GP por lo que la aleación se endurece progresivamente. Estas agrupaciones están siempre situadas en los vértices de la red de aluminios enriquecidos en átomos de soluto. [9]

2.6 Requerimientos para lograr el endurecimiento.

Para que una aleación sea susceptible de endurecerse por precipitación o envejecimiento debe cumplir con ciertas condiciones que son:

- a) Que el diagrama de fases tenga solubilidad parcial.
- b) Que la solubilidad máxima de un componente en otro sea considerable.
- c) Que la solubilidad decrezca con la disminución de la temperatura.

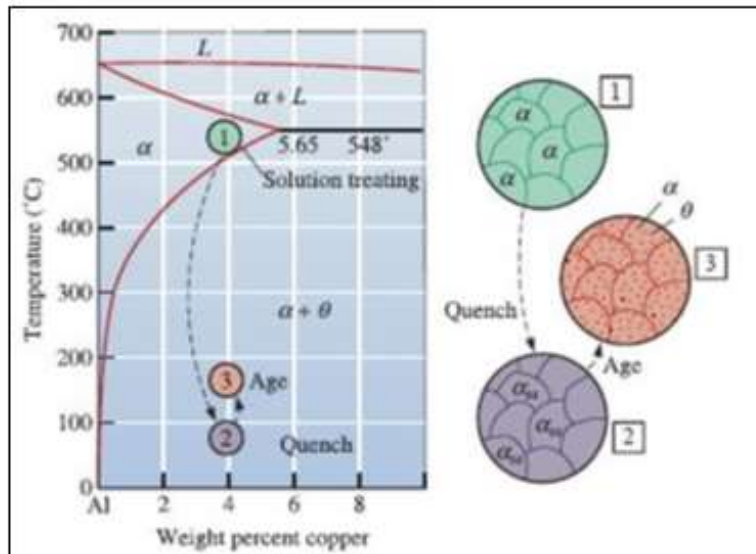


Figura 2.6 Esquema que ilustra las condiciones para el endurecimiento por envejecimiento. [23]

2.7 Pasos del tratamiento térmico de envejecimiento.

➤ Supersaturación (Solubilización).

El proceso consiste en el calentamiento del material hasta la región en donde se tiene solución sólida (α) y se mantiene por un tiempo determinado, hasta lograr solubilizar los elementos aleantes en el aluminio, formado una solución sólida.

La temperatura requerida para el tratamiento de supersaturación se determina por la composición de la aleación con una variación permitida de $\pm 6^\circ\text{C}$, algunas aleaciones altamente aleadas de dureza controlada y de alta resistencia requieren límites más estrictos de temperatura.

El tiempo necesario puede variar desde menos de un minuto para láminas delgadas hasta por más 20 horas para fundiciones de gran volumen. [24,16]

➤ Enfriamiento súbito (temple)

Este enfriamiento se lleva a cabo con la finalidad de obtener una solución sobresaturada (α). Esta etapa es la más crítica del tratamiento térmico. La velocidad de temple debe ser mayor que la velocidad de enfriamiento crítico para conservar la composición a temperatura ambiente y de tal manera, formar una solución supersaturada del soluto o solutos [25].

➤ Endurecimiento por envejecimiento.

Consiste en la precipitación del exceso de soluto en forma de un precipitado transitorio, metaestable y coherente, a partir de la solución supersaturada (α), ya sea a temperatura ambiente, lo que se conoce como envejecimiento natural o a una temperatura mayor a la del ambiente pero menor a la de solvus, conocido como envejecimiento artificial [9,20].

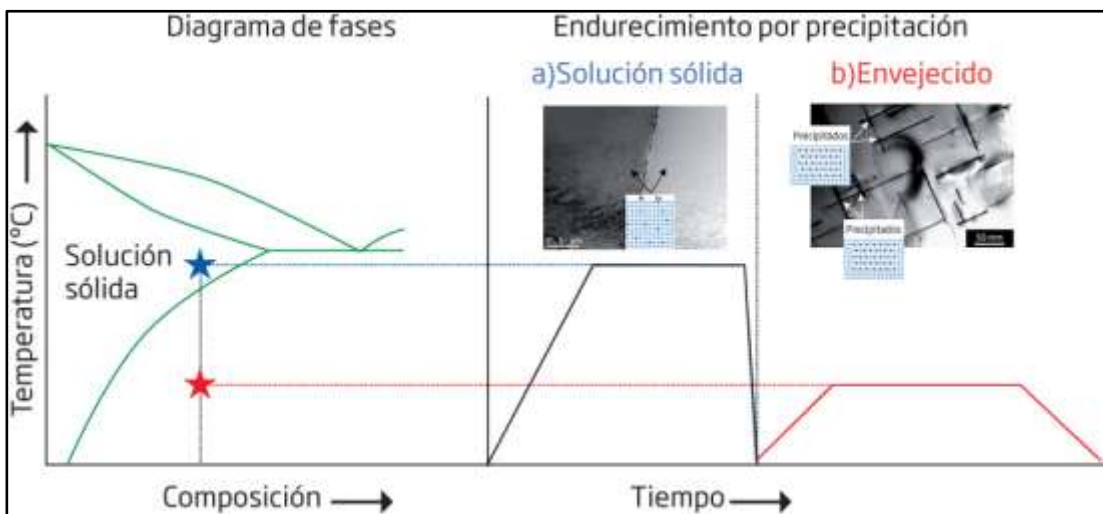


Figura 2.7. Etapas de endurecimiento por envejecimiento. [28]

2.8 Dureza.

La dureza no está definida en términos de una propiedad específica, es conocida como una característica de la deformación local, o simplemente la resistencia que presenta un material al tratar de ser rayado o penetrado por otro. La dureza está relacionada con propiedades elásticas y plásticas de un material [26].

2.8.1 Determinación de la dureza.

Las pruebas para medir la dureza se pueden dividir en tres métodos [27]:

- a) Resistencia al corte o abrasión
- b) Dureza elástica
- c) Resistencia a la indentación.

2.8.2 Resistencia a la indentación.

En esta prueba se mide la resistencia superficial del material a la penetración por otro material más duro. Existen diversas pruebas y escalas para determinar la dureza por indentación, pero su principio consiste en la implementación de un indentador ya sea de bola o diamante para dejar una huella en el material y dependiendo de la profundidad de la huella existen una relación a la dureza que presenta el material dependiendo de la escala con la que se trabaja [26].

2.8.3 Durómetro Webster

El durómetro Webster es un instrumento portátil de medición rápida, del que existen tres modelos para el Aluminio, el Cobre y el Latón. Es el indicado para hacer pruebas al momento sobre metales suaves de manera rápida, su función principal es inspeccionar el resultado del tratamiento térmico. [28]

El valor medido se lee directamente en el dial tras una simple presión con la empuñadura. Conforme a la norma ASTM B647 (como puede verse en el anexo A), mide extruidos, tubos y planchas de aluminio [28].

Tipos de durómetros:

- **Durómetro WEBSTER WH100:** Para el Aluminio.
- **Durómetro WEBSTER WH110:** Para el Aluminio.
- **Durómetro WEBSTER WH120:** Para el Aluminio.
- **Durómetro WEBSTER WH130:** Para el Bronce duro, aluminio semi-duro y aluminio Super-duro.
- **Durómetro WEBSTER WH140:** Para el Bronce duro, aluminio semi-duro y aluminio Super-duro.
- **Durómetro WEBSTER WH150:** Para el Bronce blando y cobre puro.
- **Durómetro WEBSTER WH160:** Para el Bronce blando y cobre puro.
- **Durómetro WEBSTER WH170:** Para el acero laminado en frío y acero inoxidable.

En la figura 2.8 se muestra el diseño básico del durómetro de dureza Webster. Los distintos modelos varían sólo en penetrador y diseño del muelle de carga. Estas combinaciones dan la capacidad de probar una amplia variedad de durezas y metales.



Figura 2.8. Partes del durómetro, estructura y tipos de indentador [28]

La carcasa del durómetro webster, que contiene al penetrador y el muelle de carga es común a todos los durómetros. En esta sección se muestra como al presionar con la mano el actuador, ejerce una presión que terminará aplicando una fuerza más o menos constante en el penetrador.

Sólo una pequeña presión es suficiente para penetrar en la pieza. La presión ejercida sobre el penetrador hace que este se introduzca en el material (aluminio, latón o cobre) por otra parte el muelle será el encargado de que la presión sea constante independientemente de la fuerza ejercida.

El grado de penetración sobre la pieza sujeta a prueba es mostrado sobre el indicador de aguja que se encuentra encima del sistema de penetración. La carga puede ser variada ajustando la tuerca que se encuentra encima del muelle de carga, permitiendo a la aguja que mide, ser fácilmente corregida contra un bloque patrón de la dureza conocida.

Usos y aplicaciones.

- Para identificar partes tratadas de calor - no tratadas de calor
- Provee la correlación entre un banco montó al probador de dureza y la cadena de producción
- Para segregar materiales en reserva
- Para distinguir entre material suave o endurecido por trabajo
- Para identificar partes hechas de aleaciones impropias o de calidad inferior
- La comprobación para respuesta de tratamiento térmico apropiada

Tabla 2.9. Parámetros técnicos del durómetro Webster [28].

PRODUCTO	MODELO	CAPACIDAD	PESO NETO	
Durómetro para pruebas sobre aleaciones de aluminio	W-20	Espesor: 0.4 - 6 mm, Diámetro interno >10mm	0.5 kg	Para aleaciones de aluminio, tubos y láminas
	W-20a	Espesor: 0.4 - 13 mm, Diámetro interno >10mm	0.5 kg	Paredes delgadas de aleaciones de aluminio
	W-20b	Espesor: 0.4 - 8 mm, Diámetro interno >6mm	0.5 kg	Tubos de aleaciones de aluminio de diámetros pequeños
Durómetro para pruebas sobre aleaciones de cobre	W-B75	Espesor: 0.4 - 6 mm, Diámetro interno >10mm	0.5 kg	Aluminio extra duro, latón
	W-B75b	Espesor: 0.4 - 8 mm, Diámetro interno >6mm	0.5 kg	Aluminio delgado extra duro y tubos de latón
	W-BB75	Espesor: 0.4 - 6 mm, Diámetro interno >10mm	0.5 kg	Cobre y aleaciones de cobre suave, como el cobre recocido
	W-BB75b	Espesor: 0.4 - 8 mm, Diámetro interno >6mm	0.5 kg	Cobre o yubos de cobre recocido
Durómetro para pruebas sobre aceros delgados	W-B92	Espesor : 0.4 - 6 mm, Diámetro interno >10mm	0.5 kg	Materiales suaves que no excedan los 230 de HV, como chapas laminadas en frío, hojas laminadas en caliente y chapas galvanizadas

Tabla 2.10. Conversión de durezas [28].

Barcol HBa	Brinell 10mm 500kg HB	Vicktrs 5kg HV	Webster HW	Rockwell HR			
				B	E	F	H
35		21					32
36		22					35
37		23					37
38		24					40
39		25					42
40	25	26					45
41	25	27					47
42	26	28					49
43	27	29					51
44	27	30					54
45	28	30					56
46	29	31					58
47	30	32					60
48	30	33	0.7		23		62
49	31	34	1.3		26		64
50	32	35	1.9		28		66
51	33	36	2.5		31		68
52	34	38	3.1		34		70
53	35	39	3.6		36		72
54	37	40	4.2		39	30	73
55	38	41	4.7		41	34	75
56	39	43	5.3		44	37	77
57	40	44	5.8		46	40	78
58	42	45	6.3		48	43	80
59	43	47	6.8		50	46	82
60	45	49	7.3		53	48	83
61	46	50	7.8		55	51	85
62	48	52	8.3		57	54	86
63	50	54	8.8		59	56	88
64	51	56	9.2		61	59	89
65	53	58	9.7		63	61	90
66	55	60	10.1		65	63	92
67	57	62	10.6		67	66	93
					69	68	93
68	60	65					94
69	62	67					95
70	64	70					97
71	67	72					98
72	69	75					99
73	72	78					100
74	75	81					101
75	78	85					102
76	80	88					103
77	84	92					104
78	87	95					105
79	90	99					106
80	94	103					106
81	97	108					107
82	101	112					108
83	105	117					109
84	109	121					109
85	113	126					110
86	117	131					111
87	121	137					111
88	126	142					112
89	130						112
90	135						113
91	140						114
92	145						
93							
94							
95							
96							
97							
98							
99							
100							

2.9 Componente: Clip ménsula cremallera.

El clip ménsula cremallera es un dispositivo diseñado por Minalum de México que permite colocar estantes en los refrigeradores comerciales. Su función es sostener el anaquel en el cual se coloca el producto a refrigerar.

Su diseño tiene como objetivo la sujeción en la cremallera la cual está fijada en las paredes del gabinete. De esta manera se pueden crear espacios de distinta altura que permiten tener múltiples configuraciones dentro del mismo refrigerador. Las figuras 2.9 y 2.10 tomadas del plano elaborado por la empresa (como se puede observar en el anexo B), nos muestran las características de la pieza.

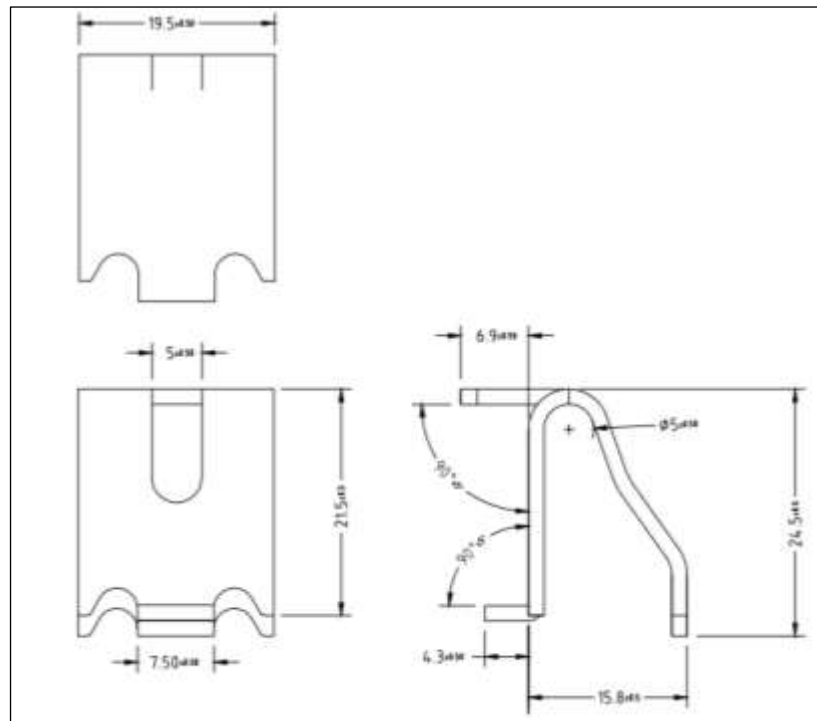


Figura 2.9. Diagrama de clip ménsula cremallera.

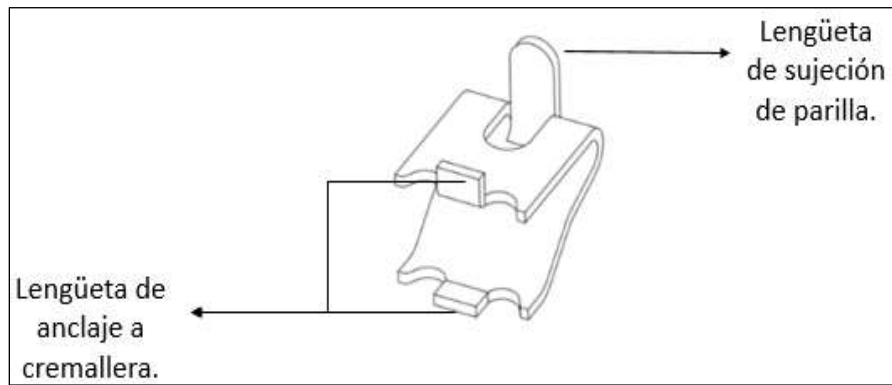


Figura 2.10. Anatomía de clip ménsula cremallera.

Las figuras 2.11 y 2.12 respectivamente, ilustran las funciones de soporte que debe cumplir la ménsula. La primera es fijar por medio de las lengüetas de anclaje la ménsula a la cremallera para asegurar la estabilidad y retención de la misma.



Figura 2.11. Clip ménsula sujetando distintos tipos de parrilla.

La segunda función es brindar el soporte adecuado al anaquel, como se muestra en la figura 2.12. La lengüeta de sujeción es una barrera, la cual, su función principal es la limitación del movimiento de la parrilla.



Figura 2.12. Clip ménsula sujeta en cremallera.

2.9.1 Fabricación del clip ménsula.

La materia prima de la que se elabora el clip ménsula parte de un fleje de lámina de aluminio 6061 T6, con dimensiones de 1.5x19mm, (como se muestra en el anexo C), en presentación de rollos de 30 a 40 kg. Éstos son montados en porta rollos con los cuales se va alimentado el troquel, como puede verse en las figuras 2.13 y 2.14.



Figura 2.13. a) Fleje de aluminio. b) Porta rollos.



Figura 2.14. Equipo de fabricación de clip ménsula.

Dentro del sistema de conformación, el material es troquelado y por una serie de pasos de doblado se transforma hasta obtener su forma final, como se ve en la figura 2.15. Posterior a la fabricación de la pieza, ésta es lavada en percloroetileno, secada y empacada.



Figura 2.15. Conformación de clip ménsula cremallera.

Capítulo III

3. Planteamiento del problema.

La fabricación del clip ménsula cremallera es por medio de una serie de pasos de troquelado y conformado mecánico, para lo cual es necesario que el material de aluminio AA6061, cumpla con la especificación de tener una dureza de 16 WH como valor ideal, con una tolerancia de ± 0.5 unidades, basado en la norma ASTM B647 (como puede verse en el anexo A). Si el material presenta una dureza mayor, éste se fractura al momento del doblado de la lengüeta de sujeción, si por el contrario se presenta una menor dureza, la pieza conformada no cuenta con la resistencia necesaria para soportar cargas mayores a 160 Kg.

Se tenían 4,212 Kg de fleje de lámina de aluminio AA6061, con medidas de 1.5 x 19 mm, enrollado en bobinas de 30 a 40 kg cada una, el cual presentaba una dureza de 18 WH, mayor a la que se requiere para la fabricación del aditamento clip ménsula, por lo que esta gran cantidad de material fue rechazado por el área de calidad.

Al no contar con un proceso dentro de la fábrica que permitiera recuperar el material llevándolo a las condiciones necesarias, ni la posibilidad de devolverlo al proveedor, éste fue considerado como una merma, decidiendo así almacenarlo en la zona de cuarentena desde el año 2016 a la fecha, situación que causó a su vez, un problema de espacio en el almacén.

Adicional al rechazo del material por no cumplir con las especificaciones, se tuvo una escasez del mismo, ya que es una materia prima importada de China; el tiempo de entrega, así como cualquier reclamo en cuestiones de calidad, son muy prolongados. Sumado a esto, se tienen las restricciones de importación generadas por la pandemia.

Aunado a los problemas anteriormente mencionados, se tenía una sobre demanda del producto, pero no se tenía suficiente materia prima para su fabricación, para lo cual se hacía verdaderamente necesario y urgente, echar mano de las 4 toneladas del “material estacionado en la zona de cuarentena”, lo que a su vez hizo forzoso encontrar una solución viable para emplearlo, mientras se recibía el siguiente embarque, de lo contrario el proceso de fabricación se pararía indefinidamente y se incumpliría con las ventas comprometidas.

Capítulo IV

4. Procedimiento experimental.

En la figura 4.1, se presenta el diagrama de flujo del desarrollo experimental que se implementó durante el procedimiento experimental y de investigación.



Figura 4.1. Diagrama de flujo procedimiento experimental.

4.1 Rechazo de material por parte del área de calidad.

Durante la fabricación del clip ménsula se notifica la ruptura del cien por ciento de la producción del producto fabricado con fleje de aluminio AA6061. El coordinador de producción notifica al área de calidad.

La acción preventiva del área de calidad es detener la manufactura de dicho aditamento, dirigiéndose al área de planeación y control de la producción para notificar el problema.

A su vez, el departamento de calidad realiza un muestreo en la existencia total del material fleje de aluminio AA6061, identificando 4,212 kg que no cumplen con las especificaciones y haciendo el resguardo del mismo.

Una vez notificado a Dirección de Minalum de México, ésta encomienda la búsqueda de algún método para el aprovechamiento y la recuperación del material rechazado, ya que los tiempos de surtimiento, al ser un material de importación, ponen en riesgo el cumplimiento de entregas a los clientes.

4.2 Revisión bibliográfica.

Una vez entendida y determinada la problemática se procede a una revisión documental del estudio actual del material partiendo de información reportada por fuentes externas, indagando en artículos de investigación, revistas, proyectos de grado, libros y otros medios de información.

En una primera aproximación se seleccionó el intervalo de temperaturas desde 100°C a 180°C, debido a que solo se necesita disminuir dos unidades de dureza en el material de llegada.

4.3 Pruebas de temperatura.

Teniendo como precedente la información consultada se delimitan las variables que se deben probar para el diseño del tratamiento térmico de ajuste de propiedades.

Tomando en cuenta que la condición inicial de dureza en la que se recibió el material fue de 18 WH y que se requería para cumplir con el objetivo de recuperar el material, una de 16 WH, se debían realizar distintas pruebas a priori para encontrar la ruta viable.

El rango de temperaturas a ensayarse, se basó en la Tabla 2.8 (como puede verse en el anexo A), que se tomó de la norma Boeing, por lo que se propone la prueba para medir el grado de ablandamiento a distintas temperaturas, por

un tiempo fijo de 1 hora (Tabla 4.1). se inició realizando tratamientos, variando 10 °C entre cada temperatura (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170 y 180°C), en las primeras dos (100 y 110 °C), al no haber ningún cambio en los resultados, se decidió descartarlas, para las restantes, si no mostraban cambios entre valores pares (por ejemplo, entre 130 y 150 °C), se eligió el valor intermedio entre ellas (es decir, 140°C).

Tabla 4.1 Pruebas de ablandamiento a distintas temperaturas en tiempo fijo.

Temperatura(°C)	Tiempo/hr
120	1
140	1
160	1
180	1

4.3.1 Preparación de probetas

Para la preparación de probetas, se cortaron 25 cintas de 15 cm de largo del fleje del material rechazado, se identificaron con las temperaturas correspondientes a las que se ensayaron, figura 4.2.



Figura 4.2. Configuración de horno de pruebas de temperatura.

El diseño experimental contempló realizar por triplicado las pruebas para asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Se dejó una muestra testigo comparativa y se midió la dureza de las 25 probetas al inicio de las pruebas, (la cual fue de 18 WH para todas). Una vez concluido el tiempo de tratamiento se midió nuevamente la dureza, para evidenciar algún cambio en la misma.

Se buscó encontrar la temperatura a la cual se redujera la dureza a no más de 16 HW o 105 HB, para fijar dicha variable dentro del diseño del tratamiento. Los resultados obtenidos se registraron en la tabla 5.1.

4.4 Pruebas de tiempo de permanencia.

Las pruebas de residencia buscaron determinar el tiempo idóneo para el tratamiento considerando el volumen de material que se debía tratar. La presentación del material en rollos de 30 a 40 kg, generó que se tuviera que encontrar el equilibrio entre temperatura-tiempo para seleccionar un proceso óptimo, con el fin de economizar los tiempos del tratamiento.

Se realizaron pruebas con rollos de 30 kg a los cuales se les midió la dureza en distintas áreas de los mismos por triplicado previo al tratamiento, cada rollo será sometido a la temperatura y tiempo que se indica (Tabla 4.2), terminadas las pruebas mencionadas, los resultados se registraron en la tabla 5.2 (que se encuentra en el capítulo de resultados).

Tabla 4.2 Pruebas a distinto tiempo y temperatura

Tiempo/hr	Temperatura (°C)		
4	140	160	180
6	140	160	180
8	140	160	180
12	140	160	180

4.5 Pruebas de volumen.

Encontrar el tratamiento eficaz (temperatura y tiempo) fue una de las condicionantes marcadas por la dirección, por lo que recuperar la cantidad de material rechazado con la que se contó requirió más de una operación.

Al no contar en la empresa con una documentación técnica del horno asignado para llevar a cabo el tratamiento, se recibió la instrucción de no cargar más de 10 rollos por proceso, por lo que la cantidad máxima de material que se pudo someter a tratamiento a la vez, fue de 400 kg (figura 4.3).

Se tomó la decisión de realizar una prueba con el horno cargado a 400 Kg para comprobar que el material tuviera un calentamiento homogéneo y que cada uno de los rollos obtuviera las mismas propiedades.



Figura 4.3. Configuración de carga en horno.

Para asegurar la optimización del proceso para estas pruebas, se eligieron sólo dos tiempos de tratamiento y dos temperaturas como se muestra en la

tabla 4.3, ya que por instrucciones de dirección el material disponible para pruebas era limitado.

Tabla 4.3 Pruebas de volumen a dos tiempos y temperaturas.

Tiempo/hr	Temperatura (°C)	
8	160	180
12	160	180

4.6 Pruebas de fatiga.

El clip ménsula cremallera es un producto que cuenta con una certificación ISO 9001:2018, por lo que su producción es monitoreada, es por ello que la materia prima debe contar con una evaluación y liberación del departamento de calidad. Para dicho proceso, se fabrican 50 piezas con el material a probar, se realiza una selección de 4 piezas y se monta un anaquel en un refrigerador de pruebas, como se muestra en la figura 4.2, al cual se le carga peso progresivamente, hasta que las ménsulas cedan al esfuerzo de compresión aplicado.



Figura 4.4. Configuración de pruebas de fatiga.

Al ser una prueba empírica, el único parámetro con el que se aprueba o rechaza el producto terminado (clip ménsula cremallera) es la cantidad de peso que logra soportar teniendo como valor aceptable la cantidad de 160 Kg.

Estas pruebas no fueron realizadas por el autor de este trabajo, pero al ser un factor en la aceptación del material recuperado se reportan en la tabla 5.6.

Capítulo V

5. Resultados y análisis.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas experimentales, diseñadas para determinar las condiciones idóneas del tratamiento térmico requerido para la aleación 6061, T6.

5.1 Resultados de pruebas de temperatura.

Las durezas obtenidas de los tratamientos realizados a las distintas temperaturas, se muestran en la tabla 5.1 y a su vez se grafican (Fig. 5.1).

Tabla 5.1 Resultados de pruebas de temperatura.

Temperatura(°C)	Tiempo/hr	Dureza inicial (WH)	Dureza final (WH)
120	1	18	18
140	1	18	17.5
160	1	18	17
180	1	18	16

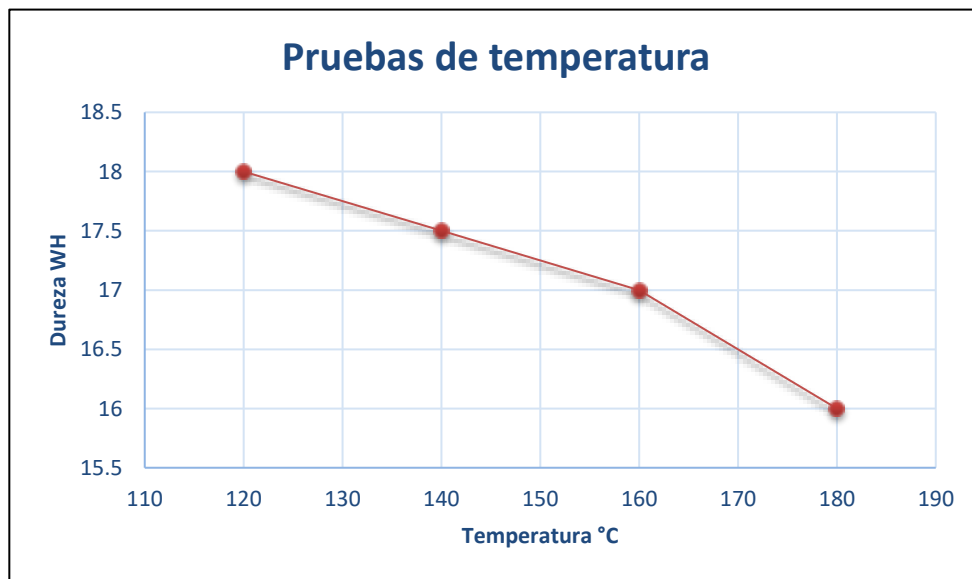


Figura 5.1 Gráfico de dureza vs temperatura de tratamiento.

El comportamiento observado en las probetas trabajadas a las diferentes temperaturas, muestran una disminución de la dureza a medida que la temperatura se va incrementando. Como se refleja en el gráfico, a los 120°C no presenta ningún cambio respecto a la dureza inicial. Sin embargo, para 140°C se tiene una disminución del orden de 0.5 unidades de dureza correspondiendo a un valor de 17.5. A los 160°C ya se obtuvo una reducción de una unidad (17 HW) y finalmente para la condición de temperatura de 180°C, se logró obtener el valor de dureza de 16 HW, requerido para poder utilizar el material en la fabricación del clip ménsula.

5.2 Pruebas de residencia en horno.

5.2.1 Prueba de residencia a 140 °C.

En la tabla 5.2, se reportan los valores de dureza respecto a los diferentes tiempos manteniendo la temperatura constante (140°C).

A pesar de que en la primera prueba (tabla 5.1), realizada a probetas pequeñas en forma de tiras, se observó la disminución de la dureza, hasta el valor buscado de 16 HW a los 180°C, se consideró que por la cantidad de material (dona) empleado para esta segunda prueba, se tenía que tomar en cuenta el tiempo de tratamiento relacionado, justo a la nueva cantidad de material a tratarse.

Por lo tanto, se eligió la temperatura de 140°C, que es la segunda condición a la cual se observó el primer descenso de la dureza, esperando que el aumento en el tiempo pueda ejercer un mayor efecto deseado, para evitar el hecho de que con una mayor temperatura (180°C) y un mayor tiempo, se produjera un exceso de pérdida en la dureza.

Tabla 5.2 Resultados de dureza en pruebas de residencia a 140° C.

Tiempo/hr	Temperatura (140°C)	Dureza (WH)
4	140	18
6	140	17.5
8	140	17.5
12	140	17

Lo más relevante de observar en la figura 5.2, es que en todo el de tiempo de tratamiento solo se logró disminuir la dureza una unidad, a la mitad de la prueba, se disminuye en 0.5 y en las dos horas subsecuentes se mantiene constante y decae nuevamente cuando se encamina al total del periodo, lo que manifiesta que la energía suministrada al material, no es suficiente para lograr una liberación de esfuerzo.

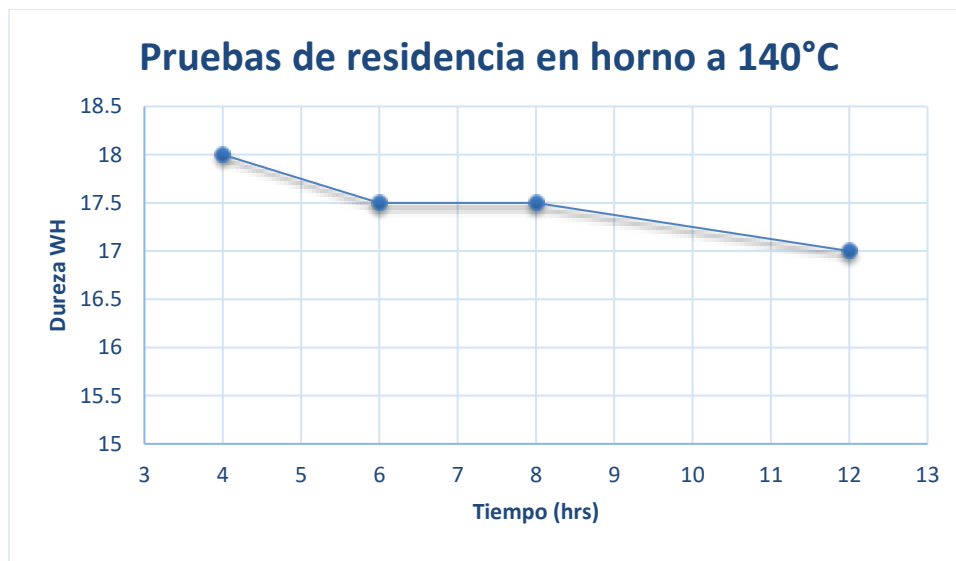


Figura 5.2 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 140° C.

5.2.2 Prueba de residencia a 160 °C.

A diferencia de la primera prueba (tabla 5.2), en la que únicamente se obtuvo un decrecimiento en la dureza de una unidad, hasta las 12 horas, en ésta (tabla 5.3) se puede observar que a las 6 horas se logró este mismo resultado, lo que nos indica que con un incremento en la temperatura de 20°C en la temperatura, se genera una reducción de la mitad del tiempo de tratamiento. Con la combinación de 12 horas a 160 °C se logró dejar en las condiciones deseadas el material.

Tabla 5.3 Resultados de dureza en pruebas de tiempo de residencia en horno a 160° C.

Tiempo/hr	Temperatura (180°C)	Dureza (WH)
4	160	17
6	160	16.5
8	160	16
12	160	15.5

En la figura 5.3 se puede reconocer el mismo comportamiento que se observa en la prueba anterior, un estancamiento en el cambio de propiedades a las 6 y 8 horas. Sin embargo, la información de mayor importancia es el descenso de la dureza en el tratamiento térmico a 12 horas, teniendo como resultado 16HW siendo la condición que se desea obtener.

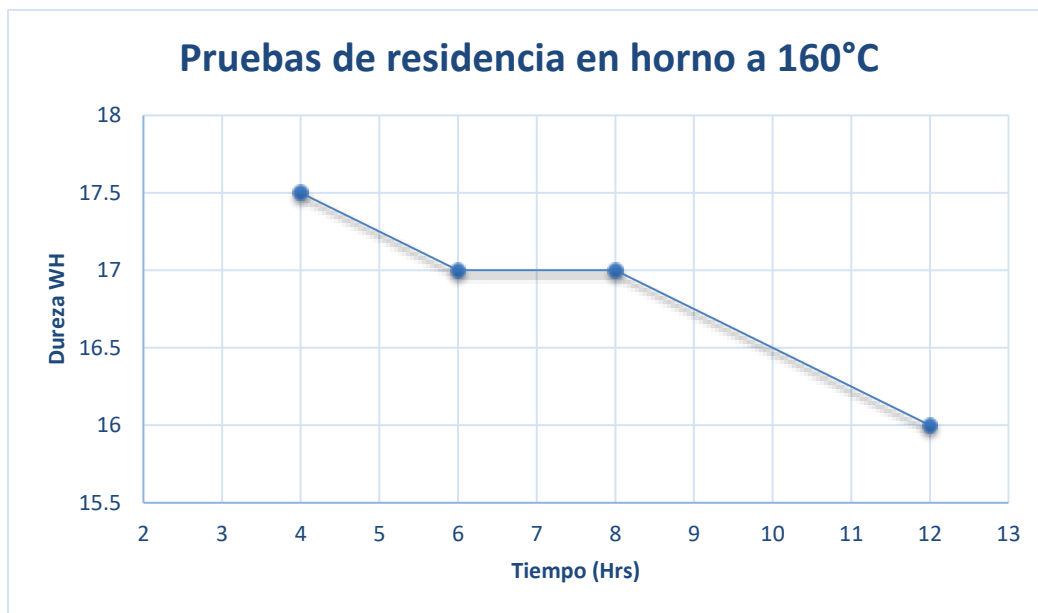


Figura 5.3 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 160° C.

5.2.3 Pruebas de residencia a 180 °C.

Dentro de las condiciones a las cuales fue sometido el material, el tratamiento se realizó a una temperatura de 180°C, teniendo resultados significativos para el objetivo buscado, los cuales se pueden observar en la tabla 5.4 y figura 5.4.

Tabla 5.4 Resultados de dureza en pruebas de tiempo de residencia 180° C.

Tiempo/hr	Temperatura (180°C)	Dureza (WH)
4	180	17
6	180	16.5
8	180	16
12	180	15.5

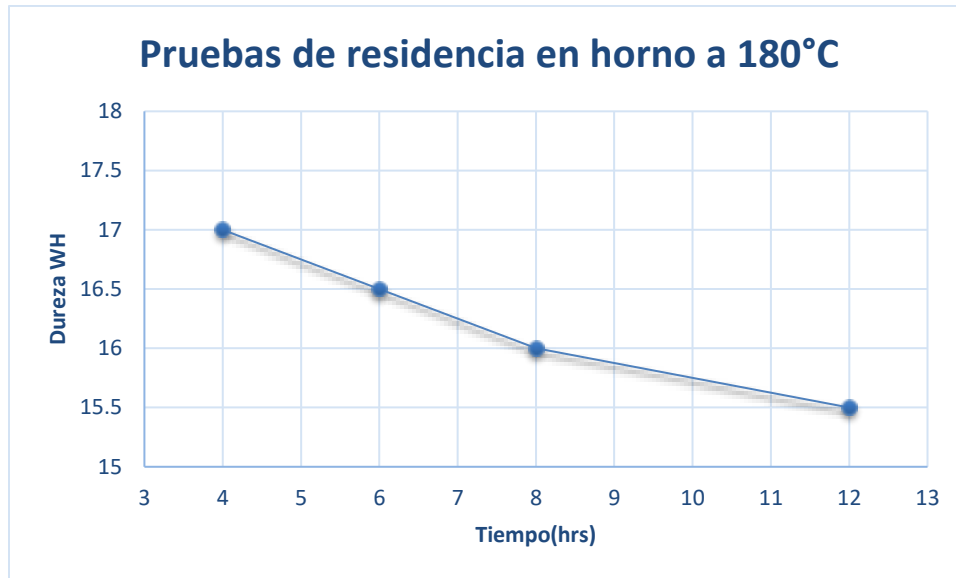


Figura 5.4 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 180° C.

Es evidenciable la semejanza del comportamiento que tienen las tres pruebas de temperatura dentro del mismo periodo, ya que los cambios de dureza únicamente son de 0.5 HW entre cada una de las pruebas de tiempo. La diferencia con las pruebas anteriores, es la disminución de dureza a las 8 horas, que a su vez cumple con la condición deseada.

5.3 Pruebas de volumen.

En la tabla 5.5 se registran los resultados obtenidos en las pruebas aplicadas a la cantidad máxima de material, a la cual se podía realizar el tratamiento térmico por las limitantes brindadas por el horno de acuerdo a su capacidad. Los datos arrojados por las pruebas nos indican que el aumento de la temperatura tiene una relación con la disminución de la dureza, este comportamiento nos deja ver que, al incrementar cada 20 °C la temperatura, la dureza disminuía en 0.5 unidades.

Tabla 5.5 Resultados de dureza en pruebas de volumen a 160 y 180 °C.

Tiempo /hr	Temperatura (°C)	Dureza (WH)
8	160	17.5
12	160	16
8	180	16
12	180	15.5

La figura 5.5 nos demuestra el comportamiento del material en condiciones reales a las que será aplicado el tratamiento térmico. Dentro de la prueba se encontraron dos combinaciones con las cuales se logró llegar a las propiedades requeridas, a 180°C por 8 horas y a 160°C por 12 horas.

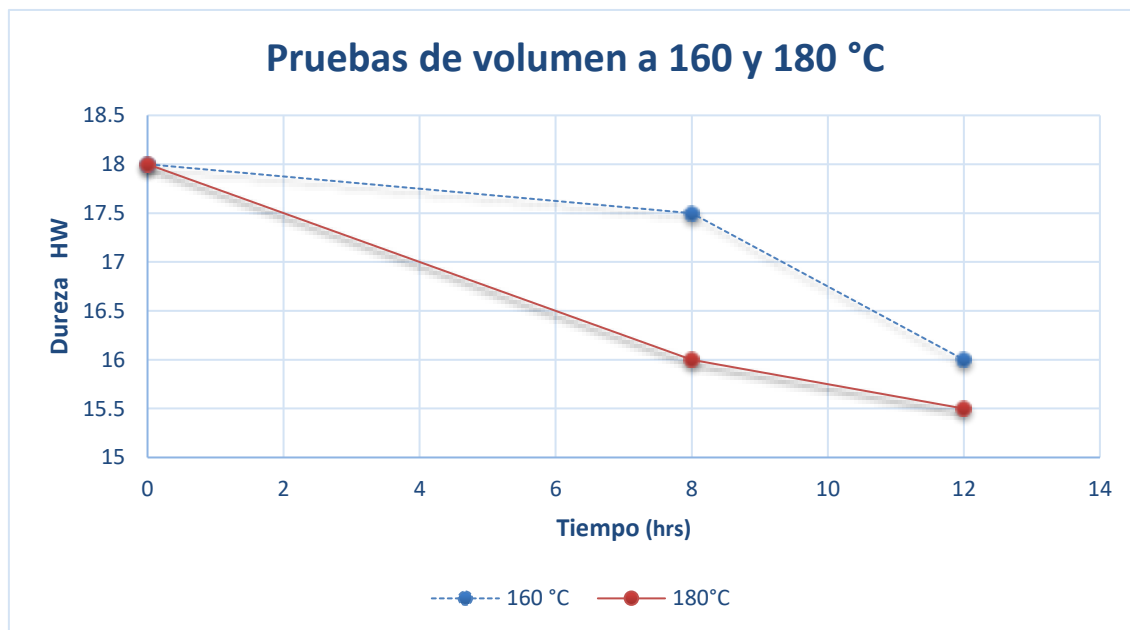


Figura 5.5 Gráfico de dureza vs tiempo de residencia en horno a 160 y 180 °C aplicado a volumen real.

5.4 Pruebas de fatiga.

Los resultados reportados en la tabla 5.6 corresponden a las pruebas de fatiga realizadas a las muestras que fueron sometidas a los tratamientos térmicos, provenientes de las pruebas de volumen.

Tabla 5.6 Resultados de pruebas de fatiga.

Tiempo /hr	Temperatura (°C)	Dureza(WH)	Carga Máxima (Kg)
8	160	17.5	170
12	160	16	163
8	180	16	165
12	180	15.5	150

Cabe mencionar que el valor de 160 Kg de tolerancia en la prueba, es el parámetro de seguridad, ya que, en el uso cotidiano del componente, no rebasa los 80 Kg. Como se aprecia en la tabla anterior, las pruebas a 160 °C por 8 y 12 horas exceden el criterio requerido por el área de control de calidad. De igual manera el tratamiento fijado a los 180°C y 8 horas cumple con la condición ya mencionada.

Capítulo VI

6. Conclusiones.

- 1) Con fundamento en la revisión bibliográfica y las pruebas experimentales a priori, se pudo diseñar un tratamiento térmico para la aleación de aluminio comercial AA6061, que permitió mejorar su maquinabilidad, al disminuir la dureza de 18 a 16 WH.
- 2) De las pruebas realizadas “in situ” (planta de producción de Minalum de México), se logró implementar el tratamiento térmico con las condiciones de temperatura y tiempo óptimas ($T=180^{\circ}\text{C}$ y $t=8$ horas).
- 3) Con el tratamiento térmico diseñado se recuperaron las 4 toneladas de material (que inicialmente fueron consideradas como pérdida), empleando el equipo e instalaciones de la empresa, sin requerir de nueva infraestructura.
- 4) Al adecuar las propiedades mecánicas del material se logró continuar con la fabricación del clip ménsula cremallera, en un momento crucial en el que la logística de importación de materia prima (Fleje de Aluminio aleación 6061, T6), la cual es procedente de China, se encontraba detenida por cuestiones sanitarias, evitando tener un desabasto en la empresa.

Capítulo VII

7. Referencias bibliográficas.

- [1] E. G. Maffia, "Estructura y Propiedades - Aluminio y sus aleaciones," 2013.
- [2] P. Ing and E. Gustavo, "ESTRUCTURA Y PROPIEDADES Aluminio y sus aleaciones," 2013.
- [3] W. Hufnagel, Manual del Aluminio, Segunda ed. Barcelona-España, 1992.
- [4] Metals Handbook. Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 10 ed.vol2: ASM International 1994.
- [5] Ojeda Ramírez, Balbina. (2014). "Endurecimiento por precipitación de aleaciones de aluminio". (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación General de Estudios de Posgrado, UNAM. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3498891>.
- [6] D. Maisonnette, M. Suery, D. Nelias, P. Chaudet, and T. Epicier, "Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a 6061 aluminium alloy," Mater. Sci. Eng. A, vol. 528, no. 6, pp. 2718–2724, Mar. 2011.
- [7] M. P. Evangelista E., Forcellese A., Gabrielli F., "Hot Formability of AA 6061PM Aluminum Alloy," J. Mater. Process. Technol., vol. 24, pp. 323–332, 1990.
- [8] Troeger, L.P. and Starke, E.A., "Microstructural and Mechanical Characterization of a Superplastic 6xxx Aluminum Alloy", Materials Science and Engineering, A277, 102- 113, 2000.
- [9] Luis Ángel Aguirre Hernández, "Análisis microestructural y de propiedades mecánicas de uniones disimiles de aleaciones de aluminio 6061y 7075", Monografía para especialidad, Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA), México, 2016.
- [10] G. A. Edwards, K. Stiller, G. L. Dunlop and M. J. Couper, "The precipitation sequence in Al-Mg-Si alloys, Acta Metallurgica". Vol. 46, No. 11, pp. 3893-3904, Gran Bretaña 1998.

[11] Hirth, S.M., Marshall, G.J., Court, S.A. and Lloyd, D.J., "Effects of Si on the Aging Behaviour and Formability of Aluminium Alloys Based on AA6016", *Materials Science and Engineering*, A319- 321, 452-456, 2001.

[12] ASM Metals Handbook. Metallography and Microstructure, 9 ed. vol 9: ASM International 1985.

[13] A. D. Isadare, B. Aremo, M. O. Adeoye, O. J. Olawale, and M. D. Shittu, "Effect of heat treatment on some mechanical properties of 7075 aluminium alloy," *Mater. Res.*, vol. 16, no. 1, pp. 190–194, 2013.

[14] F. Ozturk, A. Sisman, S. Toros, S. Kilic, and R. C. Picu, "Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy," *Mater. Des.*, vol.31, no. 2, pp. 972–975, 2010.

[15] J. A. Taylor, D. H. St John, J. Barresi, M. J. Couper, An empirical analysis of trends in mechanical properties of T6 heat treated Al-Si-Mg casting alloys, *International Journal of Casting Metals Research*, 12 (2000), pp. 419-430

[16] Apelian D., Shivkumar S, Sigworth G, "Fundamentals aspects of heat treatment of cast Al-Si-Mg alloys", *AFS Transactions*, (1989), 720-742.

[17] Obando, F., Sánchez, E., & Patiño, L. F. C. (2014). Tratamientos térmicos para aluminios. *Metal Actual*, 36-43.

[18] A.E. Ramirez, "Trazabilidad y Unificación de las escalas de Dureza en México," pp. 1–8, 1998.

[19] M. S. Cetina, J. Lemus, and C. A. Bohórquez, "Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento en las propiedades mecánicas de los aluminios," Colombia, 2011.

[20] Chee FT and Mohamad RS. Effect of hardness test on precipitation hardening aluminium alloy 6061-T6. *Chiang Mai Journal of Science* 2009; 36(3):276-86.

[21] American National Standard Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum, PP/2650/988/11, Aluminum Association, Julio 1988

[22] Calvo F., Criado A., Martínez J., Gómez J., Molleda F., “Influencia de los tratamientos térmicos de esferoidización sobre la dureza de las aleaciones del sistema Al-Si”, Revista de Metalurgia, (1985), 342-345.

[23] Caldero C. Luis Rafael, Morillo Ortega Gary Francisco, “Análisis de la influencia de los tratamientos térmicos (recocido y revenido), en las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 7075-T651 mediante ensayos de tracción” Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador, 2019.

[24] M. en C. Javier Serrano Pérez, “Comportamiento a la fatiga en uniones de aluminio 6061-T6 con tratamiento térmico posterior a la soldadura”, Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México ,2015.

[25] Álvarez, M., & Valdés, E. (2018). Aleación Al-Si-Cu-Mg Modificada por Tratamientos Térmicos con una Etapa Prolongada de Envejecido. Ciencia e Ingeniería, 17. Retrieved Mayo 5, 2020 from www.redalyc.org

[26] Paz Esquivel Juan Pablo, “Estimación de la incertidumbre en pruebas de dureza rockwell C y B”, Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México, 2013.

[27] CMS Control Measurement Systems. Control y medición. Laboratorio de calibración. Durómetro portátil tipo Webster.
<https://cmsmetrology.jimdo.com/equipos/dureza/port%C3%A1tiles-webster-barcol/>

[28] Tolga Dursun, Costas Soutis, Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys, Materials & Design, Volume 56, 2014, Pages 862-871, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306913011357>)

Capítulo VIII

8. Anexos

8.1 Anexo A



Designation: B647 – 10 (Reapproved 2016)

Standard Test Method for Indentation Hardness of Aluminum Alloys by Means of a Webster Hardness Gage¹

This standard is issued under the fixed designation B647; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of indentation hardness of aluminum alloys with a Webster hardness Model B.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.2.1 *Exception*—The values given in parentheses are for information only.

Note 1—Two other models, A and B-75, are in use, but are not covered in this test method. Model A does not provide numerical values of hardness and Model B-75 covers only a part of the range of aluminum alloys.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E10 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials

E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to hardness testing appearing in Terminology E6 shall be considered

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee B07 on Light Metals and Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee B07.05 on Testing.

Current edition approved May 1, 2016. Published May 2016. Originally approved in 1984. Last previous edition approved in 2010 as B647 – 10. DOI: 10.1520/B0647-10R16.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

as applying to the terms used in this test method.

4. Significance and Use

4.1 The Webster hardness gage is portable and therefore useful for in situ determination of the hardness of fabricated parts and individual test specimens for production control purposes. It is not as sensitive as Rockwell or Brinell hardness methods; see 10.2.

4.2 This test method should be used only as cited in applicable material specifications.

5. Apparatus (Fig. 1)

5.1 The Webster hardness gage, Model B, consists of three major parts: the frame, operating handle, and penetrator housing assembly. The penetrator housing assembly includes the principal working parts, including the penetrator, loading spring, adjusting nut, penetrator housing, housing key, return spring, and dial indicator.

5.2 The indenter is a hardened-steel truncated cone.

5.3 The dial indicator is graduated from 1 to 20, and is actuated by the penetrator so that the higher the reading, the higher is the hardness of the test material.

5.4 The configuration of the Webster hardness gage is such that it is operated like a pair of pliers.

5.5 The clearance between the penetrator and the anvil is about 6 mm ($\frac{1}{4}$ in.), limiting the thickness of sample that can be tested.

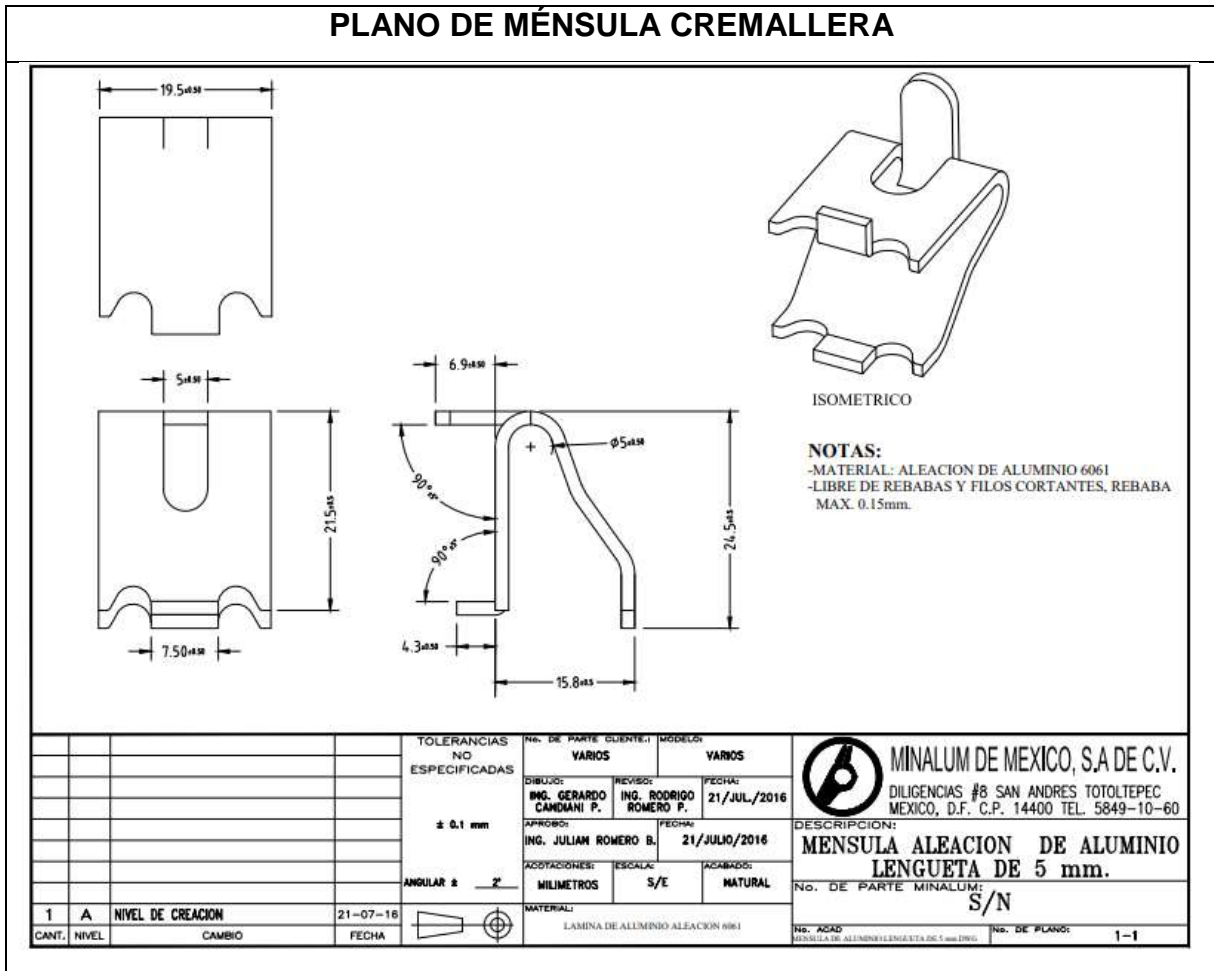
6. Test Parts or Specimens

6.1 Any part or piece of material greater than 1 mm (0.04 in.) in thickness and equal to or less than 6 mm ($\frac{1}{4}$ in.) in thickness and with a clear flat area at an edge approximately 25 by 25 mm (1 by 1 in.) in size is suitable for test.

6.2 The surfaces shall be essentially parallel, smooth, clean, and free of mechanical damage. The test surface may be lightly polished to eliminate scratches or die lines.

6.3 The clear, flat area shall be such that there will be a clear distance of at least 3 mm ($\frac{1}{4}$ in.) from the edge of the part or specimen.

8.2 Anexo B



8.3 Anexo C



REPORTE DE INSPECCION DE MATERIALES

CALIDAD

REPORTE No: 2

Descripción del Material: Flaje de aluminio 6061 T8

Número de Parte: AL-6061-R Proveedor: Wuxi Xianzhicheng Metal Products

Factura y/o Remisión: AL008X2C2021630 Orden de compra: 12184 Lote: ////

Fecha de recepción: 10/11/2021 Tamaño de lote: 19,383 Producto: Flaje de Aluminio

Plan de muestreo:								
NIVEL DE INSPECCION	TIPO DE INSPECCION	RIGURO SIDA DE LA INSPECCION	NCA					
			MENORES		MAYORES		CRÍTICOS	
II	Aleatoria	Normal	4.0		2.5		1.0	
			AC	RE	AC	RE	AC	RE

No.	CARACTERÍSTICAS A INSPECCIONAR	ESPECIFICACIÓN A CUMPLIR	RESULTADOS DEL ANÁLISIS																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total	
1	Espesor	1.5 mm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
2	Ancho	19 mm	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19							
3	Dureza	16 webster	16	16	16	16.5	16	16	16.5	16	16	16							
4	Apariencia	visual	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK							
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			

C= CORRECTO

I= INCORRECTO

TOTAL DE DEFECTIVAS:

0

DICTAMEN:

ACEPTADO:

x

RECHAZADO:

COMENTARIOS Y/O SUGERENCIAS IMPORTANTES:

Diametro exterior de :109 cm

Diametro interior 40 cm

Ricardo Cruz González
Responsable de Calidad

10/11/2021
Fecha de Analise

8.4 Anexo D



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

CERTIFICATE

SIGE has issued an IQNet recognized certificate that the organization:

MINALUM DE MÉXICO, S.A. DE C.V.

Headquarters: Diligencias No.8, Col. San Andrés Totoltepec, C.P. 14400, Tlalpan, Ciudad de México, México.

has implemented and maintains a
Quality Management System

for the following scope:
Manufacture and commercialization of copper tube and capillary products, plastic injection, stainless steel clip die-cut, aluminum clip die-cut and aluminum formed strip zipper.

which fulfils the requirements of the following standard
ISO 9001:2015
Issued on: 2021-11-24
First issued on: 2018-09-14
Expires on: 2024-09-13

This attestation is directly linked to the IQNet Partner's original certificate and shall not be used as a stand-alone document



Alex Stoichitoiu
President of IQNet


Carlos Manuel PÉREZ MUNGUÍA
General Director



IQNet Partners*:
AENOR Spain AFNOR Certification France APCER Portugal CCC Cyprus CISQ Italy
CQC China CQM China CQS Czech Republic Cro Cert Croatia DQS Holding GmbH Germany EAGLE Certification Group USA
FCAV Brazil FONDONORMA Venezuela ICONTEC Colombia Inspecta Sertifointi Oy Finland INTECO Costa Rica
IRAM Argentina JQA Japan KFQ Korea MIRTEC Greece MSZT Hungary Nemko AS Norway NSAI Ireland
NYCE-SIGE México PCBC Poland Quality Austria Austria RR Russia SII Israel SIQ Slovenia
SIRIM QAS International Malaysia SQS Switzerland SRAC Romania TEST St Petersburg Russia TSE Turkey YUQS Serbia

* The list of IQNet partners is valid at the time of issue of this certificate. Updated information is available under www.iqnet-certification.com

8.5 Anexo E



CERTIFICADO

NYCE Sociedad Internacional de Gestión y Evaluación S.C., organismo acreditado con el número 85/12, por la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (ema), certifica que el Sistema de Gestión de la Calidad de:

MINALUM DE MÉXICO, S.A. DE C.V.

Diligencias No.8, Col. San Andrés Totoltepec, C.P. 14400, Tlalpan, Ciudad de México, México.

Cumple de conformidad con los requisitos de la norma:

NMX-CC-9001-IMNC-2015 / ISO 9001:2015

Con el siguiente alcance:

Fabricación y comercialización de productos de tubos y capilares de cobre, inyección de plásticos, troquelados de clip de acero inoxidable, troquelados de clip de aluminio y cremallera de fleje formada de aluminio

CERTIFICADO No. 2018CRE-701

Fecha de emisión: 2021-11-24
Vigente al: 2024-09-13
Certificado desde: 2018-09-14



Posimeta 140 #839 P-6to 2, Col. Industrial Valiente, C.P. 02300, Acapulco de Guerrero, Guerrero, México



Carlos Manuel PÉREZ MUNGUÍA
Director General

FDRC-0111-1