



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO Y MICROESTRUCTURAL DE
UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO UTILIZADA
EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE
PUERTAS Y VENTANAS.**

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y
MICROESTRUCTURAL DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO UTILIZADA
EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PUERTAS Y VENTANAS.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Felicia Anais Peroza Rea

C.I.: 19.219.208

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella

C.I.: 4.455.859

San Diego, Diciembre 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Giovanni Pizzella P. portador de la cédula de identidad N 4.455.859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Felicia Annis Peroza Rea portadora de la cédula de identidad N° 19.219.208, titulado **EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y MICROESTRUCTURAL DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO UTILIZADA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PUERTAS Y VENTANAS**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, 25 de Julio del año dos mil dieciocho.

Ing. Giovanni Pizzella P.

C. I: V- 4.455.859



Universidad José An
Facultad de Ingeniería

FI-M-001-2018-HCR

Valencia, 13 de Noviembre de 2018.

Ciudadana:
Felicía Peraza
C.I.19.219.208
Presente.:

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2018 de fecha 13-11-2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y MICROESTRUCTURAL DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO UTILIZADA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PUERTAS Y VENTANAS**, Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Giovanni Pizzella, C.I: 4.455.859 y la Ing. Alicia Yáñez, C.I.: 4.598.888 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.



Atentamente,

Prof. Zuhay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería

e. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/fr

ÍNDICE

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	p.p. vii
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1 El Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación.....	6
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Alcance.....	6

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Bases Teóricas.....	10
2.2.1 El Aluminio.....	11
2.2.2 Obtención del Aluminio.....	13
2.2.3 Clasificación del Aluminio.....	14
2.2.4 Designación de la aleaciones de Aluminio.....	15
2.2.4.1 Aluminio puro.....	15
2.2.4.2 Aleaciones de Aluminio.....	16
2.2.4.3 Aleaciones de Aluminio bonificables y no Bonificables.....	16
2.2.5 Características del Aluminio y sus aleaciones.....	16
2.2.6 Tratamientos térmicos del Aluminio y sus aleaciones.....	17
2.2.6.1 Recocido de estabilización.....	17
2.2.6.2 Recocido contra acritud (RCA).....	17
2.2.6.3 Recocido de homogeneización y regeneración.....	18
2.2.6.4 Disolucion y temple.....	18
2.2.6.5 Revenido y maduración.....	19
2.2.7 Influencia de los elementos de la aleación en el Aluminio.....	22
2.2.8 Propiedades mecánicas de las aleaciones.....	24
2.2.8.1 Dureza.....	24

2.2.8.2 Resistencia en el ensayo de tracción.....	25
2.2.8.3 Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión.....	25
2.2.8.4 Propiedades resistentes a temperaturas elevadas.....	26
2.2.8.5 Resistencia a la fatiga.....	26
2.2.8.6 Resistencia al desgaste.....	28
2.2.9 Aluminio serie 6000.....	28
2.2.10 Ensayo de metalografía.....	29
2.2.10.1 Extracción de la muestra.....	30
2.2.10.2 Preparación de la muestra.....	31
2.2.10.3 Métodos especiales de preparación.....	33
2.2.10.4 Distorsión.....	33
2.2.10.5 Ataque químico.....	34
2.2.10.6 Métodos de ataque.....	35
2.2.11 Espectrometría de emisión por chispa.....	35
2.2.12 Análisis químico.....	36
2.2.13 Tracción.....	37
2.2.14 Ensayo de Charpy.....	43
2.2.15 Ensayo de dureza.....	45
2.2.16 Ensayo de doblado.....	51

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación.....	53
3.2 Nivel de la investigación.....	53
3.3 Diseño de la Investigación.....	54
3.4 Población y muestra.....	54
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	54
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.....	55
3.7 Fases de Desarrollo de la Investigación.....	55
3.7.1. Fases Metodológicas.....	55

IV RESULTADOS

4.1 Caracterización de la aleación de aluminio a estudiar mediante análisis químico y ensayos mecánicos.....	63
4.1.1 Caracterización química de la aleación en estudio.....	63
4.1.2 Caracterización por ensayo de tracción.....	66
4.1.3 Determinación de la dureza de las aleaciones de aluminio.....	68
4.1.4 Caracterización metalográfica.....	69
4.2 Determinar por medio del ensayo de doblado las cargas de inicio de deformación y la carga máxima durante la deformación, así como los esfuerzos.....	71

4.3 Analizar por medio de ensayos de impacto Charpy la energía de impacto que puede absorber dicha aleación de aluminio a temperatura ambiente.....	74
4.4 Comparar si las propiedades encontradas en la aleación analizada cumple con los requerimientos necesarios para los productos manufacturados por la empresa.....	75
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	82

**LISTA DE TABLAS
CONTENIDO**

TABLA		p.p.
1	Cantidad de probetas a realizar en la investigación.....	7
2	Datos obtenidos del ensayo espectrométrico.....	64
3	Promedio de la composición química de la aleación de aluminio en estudio.....	65
4	Composición química característica de la aleación de aluminio 6061.....	66
5	Propiedades a tracción de la aleación de aluminio ensayada	67
6	Propiedades mecánicas de la aleación 6061 con tratamiento T4 y T6.....	67
7	Valores obtenidos de la microdureza Vickers.....	69
8	Esfuerzos de doblado en las muestras de aluminio.....	72
9	Resumen de los esfuerzos promedio al inicio y máximo durante el ensayo de doblado.....	72
10	Carga de doblado para la aleación en estudio.....	73
11	Energía neta absorbida por impacto de la aleación aluminio..	75
12	Resultados de los distintos ensayos a la aleación en estudio..	77

**LISTA DE FIGURAS
CONTENIDO**

FIGURAS		p.p.
1	Esquema representativo de una celda unitaria cubica centrada en las caras (fcc).....	12
2	Designación del aluminio y aleaciones de forja.....	16
3	Propiedades de algunas aleaciones de aluminio a temperatura ambiente.....	21

4	Diagrama de equilibrio Al-Mg-Si	29
5	Composición típica de las aleaciones de aluminio de la serie 6000.....	29
6	Esquema de un ensayo de tracción.....	37
7	Probetas cilíndricas para ensayo de tracción.....	39
8	Gráfica esfuerzo – deformación.....	40
9	Probeta para ensayo de tracción, (a) Probeta estándar de tensión antes y después de la tracción, (b) Secuencia de ensayo de tensión.....	42
10	Curva típica esfuerzo-deformación obtenida de un ensayo de tensión, que muestra varias características.....	42
11	Péndulo Charpy.....	44
12	Probeta Charpy con entalladura en V.....	45
13	Probeta Charpy con entalladura en U.....	45
14	Identador para ensayo de dureza.....	46
15	Diámetro de indentadores para dureza Brinnell.....	47
16	Diámetro de indentadores para dureza Brinnell.....	48
17	Tiempo de aplicación de la carga para ensayo Brinell.....	48
18	Identador para dureza Vickers.....	49
19	Descripción del ensayo de doblado.....	51
20	Ensayo de doblado alternativo	52
21	Dimensiones de las probetas de tracción según la norma ASTM B557.....	56
22	Máquina de ensayo de tracción YUE HUA TEC MC 19000030 CO.LTD.....	56
23	Distribución de zonas para el ensayo de microdureza Vickers.	57
24	Microdurometro Buehler.....	57
25	Durómetro marca CENTAUR RB2.....	58
26	Espectrómetro de emisión óptica METEK-SPECTROMAX...	59
27	Probeta para el ensayo de doblado.....	60
28	Representación ensayo de doblado con tres puntos de apoyo	60
29	Probeta Charpy con entalladura V.....	61
30	Péndulo Charpy marca KARL FRANK GMHB, tipo 580.....	61
31	Probeta de ensayo espectrometrico.....	63
32	Probetas de ensayo de tracción.....	66
33	Curvas esfuerzo deformación para la aleación estudiada.....	68
34	Microscopia de probetas de la aleación de aluminio en estudio	70
35	Microscopia de probetas de la aleación de aluminio en estudio	70
36	Probetas de doblado de la aleación de aluminio en estudio.....	71
37	Probetas para ensayo Charpy.....	74



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA: INGENIERIA MECÁNICA

EVALUAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y MICROESTRUCTURAL DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO UTILIZADA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE PUERTAS Y VENTANAS.

Autores: Peroza R. Felicia A.

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella

Fecha: Diciembre 2018

RESUMEN

Actualmente a una empresa del ramo manufacturero, les llegó una nueva aleación de aluminio las cuales no habían sido totalmente identificadas en cuanto a sus propiedades de resistencia mecánica y de deformabilidad por doblado. En función a lo señalado, se hizo el requerimiento de identificar dicha aleación desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas y microestructuras a fin de verificar si son aptas para cumplir las exigencias que ameritan los procesos de conformados para los diversos diseños que se presenten. El tipo de investigación fue evaluativo y descriptivo, con un diseño experimental, donde la población fue el aluminio y la muestra una aleación de aluminio 6061-T4-T451.

Se realizaron fases y procedimientos: Primero se caracterizó la aleación de aluminio a estudiar en cuanto a sus propiedades mecánicas, esto es, dureza, microestructura, composición química y tracción en el cual se pudo conocer la resistencia de la aleación 6061 antes de fracturar, luego se determinó por medio del ensayo de doblado las cargas de inicio de deformación y la carga máxima durante la deformación, así como los esfuerzos, se analizó por medio de ensayos de impacto Charpy la energía que absorbe dicha aleación de aluminio a temperatura ambiente y se realizó la comparación de las propiedades encontradas en la aleación analizada y se determinó que si cumplen con los requerimientos necesarios para los productos manufacturados por la empresa.

Descriptor: Evaluación, ensayos, impacto, aleación, aluminio, probetas, tracción, metalografía, dureza, manufactura.

INTRODUCCIÓN

El aluminio es uno de los metales que mayor abunda en la naturaleza, sin embargo, éste no se encuentra puro sino como un mineral denominado bauxita, la cual posteriormente se somete a diversos procesos hasta obtener el aluminio. Este material puede encontrarse a nivel industrial desde su condición de alta pureza, así como también combinado con otros elementos para formar distintas aleaciones.

Sus usos son muy variados debido a sus propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión, fácil maleabilidad y maquinabilidad, lo cual hace que este metal sea muypreciado en la industria del transporte. Sin embargo también es muy utilizado para fines decorativos y en la industria de la construcción arquitectónica. El proceso de fabricación se hace por medio de la extrusión del aluminio, es un proceso en el que el metal es tratado térmicamente y empujado a través de una matriz para crear un perfil con el formato y los parámetros de diseño deseados por el fabricante. Los requerimientos que deben poseer las aleaciones radican en la alta deformabilidad y resistencia a fin de garantizar el cumplimiento de las exigencias de los diseños requeridos.

Es en este campo de aplicación, es donde se enfoca el presente trabajo, ya que se tiene a una empresa de diseño de puertas y ventanas, entre otras cosas, y su materia prima es precisamente algunas aleaciones de aluminio. La empresa ha recibido una nueva aleación de aluminio la cual ha sido designada como AA60XX, y se desea someter a estudio para determinar si ésta aleación cumple con las características mínimas requeridas para la elaboración de sus productos.

En tal sentido, el estudio a realizar va a consistir en la determinación de propiedades mecánicas de la aleación, caracterización metalográfica, ensayos de prueba de impacto, doblado y análisis químico con la finalidad de identificar la aleación, según designación de las normas AA (Aluminium Association) y verificar si puede ser conformada por los equipos existentes en la empresa, en función a su capacidad de carga.

Este trabajo está estructurado principalmente por cuatro Capítulos, en los cuales se identifica en el Capítulo I la situación problemática, los objetivos del trabajo, la justificación, alcance y limitaciones del trabajo. En el Capítulo II se hace una revisión de antecedentes y se escribe el marco teórico que apoya a la presente investigación. En el Capítulo III se encontrará el marco metodológico en donde se define como se llevó a cabo la investigación y en el Capítulo IV se detallan los resultados mediante las fases metodológicas definidas en el capítulo anterior.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El Aluminio es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Cuando se encuentra puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso. Las propiedades que hacen del aluminio un metal tan provechoso son: su ligereza (sobre un tercio del peso del cobre y el acero), resistencia a la corrosión (característica muy útil para aquellos productos que requieren de protección y conservación), resistencia, es un buen conductor de electricidad y calor, no es magnético ni tóxico, buen reflector de luz (idóneo para la instalación de tubos fluorescentes o bombillas), impermeable e inodoro, y muy dúctil. Además, es un metal 100% reciclable, es decir, se puede reciclar indefinidamente sin que por ello pierda sus cualidades.

La mayoría de las aplicaciones de aluminio requieren que se les combine con otros metales para formar aleaciones específicas para cada proceso de fabricación. El aluminio unido en aleado con otros elementos adquieren características mecánicas superiores. Son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados.

Una aplicación importante que poseen las aleaciones de aluminio es en la industria de la construcción y en especial en la elaboración de puertas y ventanas decorativas, y es allí donde algunas empresas desarrollan diversos diseños para la industria de la construcción.

El proceso de fabricación se hace por medio de la extrusión del aluminio, es un proceso en el que el metal es tratado térmicamente y empujado a través de una matriz para crear un perfil con el formato y los parámetros de diseño deseados por el fabricante. Los requerimientos que deben poseer las aleaciones radican en la alta deformabilidad y resistencia a fin de garantizar el cumplimiento de las exigencias de los diseños requeridos.

Las empresas que utilizan este tipo de aleaciones de aluminio están atravesando una crisis económica debido a la escasez de materias primas utilizadas para la elaboración de productos en las diversas líneas de trabajo, paralizando sus operaciones en varias oportunidades, limitando su productividad. Actualmente una empresa del ramo ha buscado otras materias primas, para aumentar los inventarios y evitar paradas de planta, que consiste en una nueva aleación de aluminio la cual no ha sido totalmente identificada en cuanto a sus propiedades de resistencia mecánica y de deformabilidad por doblado. En función a lo señalado, se requiere identificar dicha aleación desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas y microestructuras a fin de verificar si es apta para cumplir las exigencias que ameritan los procesos de conformados para los diversos diseños que se presenten.

Por lo antes expuesto, se plantea la necesidad de estudiar la aleación de aluminio a fin de identificarlas y conocer sus propiedades mecánicas y metalúrgicas para verificar si dicha aleación es adecuada para los diferentes diseños y estructuras que la empresa requiere para el conformado de sus productos.

Las propiedades que debe poseer la aleación a estudiar, para ser considerada como apta son las siguientes: un esfuerzo a la tracción máximo no menor a 200 MPa, poseer una deformación máxima mayor al 7%, su dureza Brinell no deber ser menor a 75 y la carga máxima en operaciones de doblado o plegado, no debe superar las tres toneladas, que es la capacidad máxima de trabajo que poseen los equipos de la empresa.

Por esas condiciones descritas anteriormente, es que la empresa EXTRUDAL desea identificar y evaluar si dicha aleación, se adapta a las exigencias de trabajo que requiere la empresa para sus diseños y conformados.

1.2 Formulación del problema

Una empresa del ramo de la construcción de puertas y ventanas ha recibido una aleación de aluminio no identificada. La empresa necesita analizar si la aleación de aluminio es adecuada para ser utilizada como materia prima de sus productos; por lo que se hace necesario conocer ¿cómo se puede verificar que la aleación de aluminio que se ha recibido cumple con los requerimientos de resistencia y deformabilidad por doblado que la empresa necesita para sus productos?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar el comportamiento mecánico y microestructural de una aleación de aluminio utilizada en la industria manufacturera de puertas y ventanas.

1.3.2 Objetivos específicos

- i. Caracterizar la aleación de aluminio a estudiar en cuanto a sus propiedades mecánicas, esto es, tracción, dureza, microestructura y composición química.
- ii. Determinar por medio del ensayo de doblado las cargas de inicio de deformación y la carga máxima durante la deformación, así como los esfuerzos.
- iii. Analizar por medio de ensayos de impacto Charpy la energía de impacto que pueden absorber dicha aleación de aluminio a temperatura ambiente.
- iv. Comparar si las propiedades encontradas en la aleación analizada cumple con los requerimientos necesarios para los productos manufacturados por la empresa.

1.4 Justificación de la investigación

Previo a la utilización de nuevas aleaciones de aluminio en el proceso productivo de una empresa del ramo de la construcción de puertas y ventanas decorativas, se deben valorar sus propiedades para garantizar un producto final de calidad óptima. La importancia de esta investigación radica principalmente en que se hace necesario, para dicha empresa, identificar la aleación de aluminio que le han suministrado a fin de verificar si cumplen con los requisitos mínimos para el conformado de sus productos, en cuanto a resistencia mecánica, conformabilidad y resistencia al impacto. Desde el punto de vista académico, podrá desarrollarse una metodología específica para la identificación de materiales utilizados en la industria.

1.5 Limitaciones de la investigación

La limitación principal de esta investigación está en el tiempo o disponibilidad de uso del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez, debido a sus múltiples compromisos a nivel de docencia, investigación y extensión. Además, se dispondrá de dos semestres lectivos a fin de concluir la investigación.

1.6 Alcance de la investigación

La caracterización del material se realizará en función a la metalografía, análisis químico, energía absorbida por impacto y prueba de tracción. Las normas por las cuales se llevarán a cabo cada ensayo se muestran en la tabla 1; de igual manera se observa la cantidad de probeta por ensayo.

Con esta investigación se logrará evaluar hasta qué punto esta aleación de aluminio puede llegar a soportar impacto mediante el ensayo Charpy y la cantidad de energía absorbida durante el mismo; basado en las normas ASTM E-23. De los resultados obtenidos se determinará el comportamiento del material y de allí aportar nuevas opciones para la fabricación de productos considerando las necesidades requeridas por el mercado industrial.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán las siguientes cantidades de muestras que se reflejan en a tabla 1.

Tabla 1: Cantidad de probetas a realizar en la investigación

Tracción ASTM B557-84	Doblado ASTM E-290	Impacto ASTM E-23	Composición Química ASTM A-830	Microscopía ASTM E-407	Microdureza ASTM E384	Total de Probetas
3	6	10	1	2	2	24

Fuente: Peroza F. (2.018)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El marco teórico es el pilar fundamental de la investigación, tiene la finalidad de aportar la información necesaria para el desarrollo del proyecto, en este caso el diseño de un manipulador de herramientas de ajuste, dando a conocer los términos y definiciones involucradas para su diseño. Según Arias (2012): “El marco teórico o marco referencial, es el producto de la revisión documental–bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar”.

Dicho marco teórico generalmente se estructura en tres secciones, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos. Tomando en cuenta esto, a continuación, se presentan una serie de investigaciones realizadas por otros autores que guardan relación con el tema, contribuyendo con sus logros y conocimientos como precedentes o fuente de apoyo para fundamentar la investigación.

2.1 Antecedentes de la investigación

Román A. Pineda Y. (2008), en su investigación titulada: **“Evaluación de las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio AA-6061, sometida a un tratamiento térmico de envejecimiento”**. En este trabajo se realizó el estudio del efecto que tiene el tratamiento térmico de envejecimiento aplicado al material AA-6061 con respecto a sus propiedades mecánicas, Partiendo de barras cilíndricas de dicha aleación de dos (2) metros de longitud y de diámetro de 1/2 pulgadas. La misma se mecanizó para obtener las probetas, tratarlas térmicamente y realizar ensayos según las normas. Se trabajó la aleación con 5 condiciones; la condición original, solubilizada con un tiempo de 2 horas a 533°C, y tres tiempos de envejecimiento de 12, 24 y 48 horas a 177°C, las cuales fueron estudiadas y

analizadas mediante ensayos de tracción, Charpy y dureza, bajo las normas ASTM A-557, ASTM E-23 y ASTM E-28 de la ASTM respectivamente y además se evaluó la microscopía del material y la Fractografía mediante un microscopio electrónico de barrido. La conclusión más importante es que se comprobó que mientras es mayor el tiempo de envejecimiento, el material tiende a aumentar sus propiedades mecánicas, pero no logra un aumento considerable para el tamaño del intervalo de tiempo que tiene el tratamiento de envejecimiento. Este trabajo fue realizado en la línea de investigación “comportamiento mecánico de los materiales”.

El aporte de este trabajo a la investigación a realizar radica en que permitirá seguir el procedimiento adecuado para ejecutar el ensayo Charpy según la norma ASTM E-23, además la evaluación para la determinación de las propiedades mecánicas de resistencia.

Así mismo, De Frenza J. y Leañez M. (2005), en la investigación titulada: **“Evaluación de la tenacidad de impacto de las aleaciones de aluminio 8011 y 6063 sometidas a un tratamiento térmico de envejecimiento”**, trabajo en el cual se llevó a cabo un estudio sobre el comportamiento de la tenacidad de impacto según la relación propuesta por Rolfe – Novak - Barson de las aleaciones de aluminio AA-8011 y AA-6063 sometidas a un tratamiento térmico de envejecimiento. Para la aleación AA-8011 el estudio se realizó partiendo de láminas de 6 mm de espesor, fabricadas por medio de un proceso de colada continua de doble rodillo donadas por ALUCASA C.A. Para la aleación AA-6063 se partieron de barras cuadradas de lado $L=5/8''$ y $3/4''$, fabricadas mediante un proceso de extrusión. A dichas aleaciones se le realizó un tratamiento térmico de homogeneización, para luego someter las muestras a un envejecimiento en tres (3) tiempos diferentes para una misma temperatura de permanencia en horno. Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se determinó las propiedades mecánicas de resistencia (esfuerzo fluencia, máximo y ruptura), deformación en ingeniería, dureza y tenacidad de impacto, obteniéndose como principales conclusiones; que el tratamiento térmico de homogeneización es

necesario para poder lograr una microestructura organizada de la matriz, eliminando la deformación previa del material en su proceso de fabricación.

Este estudio tiene relación con ésta investigación por cuanto la similitud para el estudio del aluminio mediante el ensayo Charpy, para así, luego de obtenidos los resultados de este ensayo, determinar las características mecánicas de dicho material.

Por último, Beltrán C. y Aguilar A. (2005), realizaron un trabajo de investigación, titulado **“Análisis de la resistencia al impacto del aluminio 6061 – T6 a una temperatura de 170°C durante tiempos de 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas”**, en el cual se fabricaron probetas de estudio, las cuales fueron sometidas a un tratamiento térmico a una temperatura de 170°C variando el tiempo de permanencia en la mufla de 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas. Posteriormente se realizó la prueba de impacto a cada una de las probetas en donde se analizaron y se determinaron los cambios en las propiedades del material, desarrollando conjuntamente a esto el análisis metalográfico y la prueba de dureza, con el fin de analizar los cambios en la microestructura del material. Para así después de este proceso lograr determinar las condiciones en las que el material será más eficiente y el proceso en el que se pudiese trabajar de una mejor manera con el aluminio 6061 T6.

La pertinencia de esta investigación citada es el análisis de las propiedades del material después que es impactado, para así determinar las condiciones más favorables en las que el aluminio será más eficiente y el proceso más adecuado para trabajar con dicho material.

2.2 Bases Teóricas

Las bases teóricas constituyen un conjunto de conceptos relacionados con el proyecto, estas tienen el propósito de dar a la investigación una base para su desarrollo, permitiendo así relacionar la teoría con la práctica. Según Arias (2012): “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. Por ende se pueden mencionar las siguientes.

2.2.1 El Aluminio

En el área de ingeniería el aluminio representa uno de los materiales más importantes para su utilización y gracias a las tecnologías y tecnificación de la mano de obra, hoy por hoy, se puede aprovechar al máximo las propiedades de este metal. En este mismo orden, la Organización de Naciones Unidas (2004), plantea, que el aluminio es el metal de mayor presencia de la corteza terrestre, de la que forma el 7,5%. Se encuentra sobre todo bajo la forma de óxido. Pese a su abundancia no se utilizó sino hasta fines del siglo XIX. En 1886, simultáneamente Paul Louis Toussaint Héroult en Francia y Charles Martin Hall en los Estados Unidos resolvieron el problema de superar la afinidad de este elemento con el oxígeno, con lo que hicieron posible el primer procedimiento económicamente viable de metalización del aluminio.

El aluminio es uno de los metales más versátiles que se conocen. Tienen una baja densidad ($2,7 \text{ g/cm}^3$) y una alta resistencia a la tracción (es decir, puede estirarse o alargarse). Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que resiste la posterior acción corrosiva. Por esta razón, los materiales hechos de aluminio no se oxidan. El aluminio es maleable, puede formar láminas muy delgadas y es un excelente conductor de la electricidad. Su conductividad es de alrededor de 65% de la del cobre. Sin embargo, debido a que el aluminio es más económico y más ligero que el cobre, es muy utilizado en la línea de transmisión de alto voltaje. A pesar de que su uso más importante es para la construcción de aeronaves, el metal puro es demasiado suave y débil para soportar deformaciones fuertes. Sus propiedades mecánicas se mejoran en forma considerable en una aleación con pequeñas cantidades de metales como cobre, magnesio o silicio. El aluminio no está involucrado con los sistemas vivos y casi siempre se le considera como inofensivo con estos sistemas. El aluminio posee baja temperatura de fusión (658° C) y alta conductibilidad eléctrica y térmica. La conductibilidad eléctrica del aluminio puro es de $34 \sim 104 \text{ W}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. El aluminio tiene una red cristalina cubica

de caras centradas (fcc) con un parámetro de red $a = 4,0413 \text{ \AA}$. El aluminio deformado y recocido tiene una alta plasticidad ($d = 35- 40\%$), baja resistencia mecánica [$s. = 8-10 \text{ kgf/mm}^2$] y una dureza de 25 HB. La figura 1 muestra un esquema representativo de una celda unitaria cúbica centrada en las caras (fcc), típica de las aleaciones de aluminio.

El aluminio es un material valioso, incluso como residuo, porque su reciclado ofrece un poderoso incentivo económico. Debido a esta combinación única de propiedades, la variedad de aplicaciones del aluminio aumenta constantemente y es esencial en nuestra vida cotidiana. No se podría volar, ni viajar en un tren de alta velocidad, o en un vehículo de altas prestaciones o en un ferry, sin el aluminio.

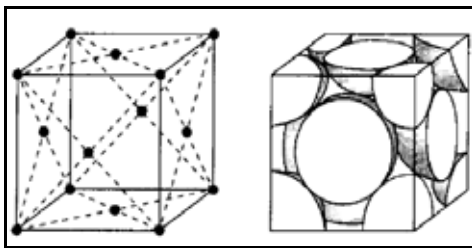


Figura 1: Esquema representativo de una celda unitaria cúbica centrada en las caras (fcc)

Fuente: Sabater-Fundimol (2.017)

Las impurezas fundamentales en el aluminio son el hierro y el silicio. Estos aumentan la dureza del aluminio, pero disminuyen a la vez la plasticidad y resistencia a la corrosión. El aluminio puro se lamina fácilmente hasta hojas muy delgadas, se puede estampar y prensar. La resistencia y dureza del aluminio se puede elevar por deformación en frío. El aluminio puro es resistente a la corrosión, lo que se explica por la formación en su superficie de una película compacta y pasivante de óxido de aluminio (Al_2O_3). Cuanto más puro es el aluminio, tanto más alta es su resistencia a la corrosión y mayor la conductividad eléctrica.

El sector del transporte absorbe más de la cuarta parte del aluminio que se produce. Desde sus orígenes es indispensable para la industria aeroespacial debido a su ligereza, pero el aluminio es cada vez más utilizado en coches, autobuses, camiones, trenes, barcos, ferry, aviones y bicicletas. Vehículos fabricados enteramente de aluminio, han obtenido las puntuaciones más altas en las pruebas de seguridad vial de los organismos oficiales. Cuando se utiliza en vehículos de carretera, la ligereza de los componentes de aluminio mejora la eficiencia del combustible, ya que reduce el peso del vehículo en más del 50% en comparación a los vehículos tradicionales. Una reducción del peso de 100 kg ahorra aproximadamente 6 litros de combustible cada 1000 km y en la misma proporción se reducen las emisiones a la atmósfera. Un tren de aluminio aporta un ahorro de energía del 87% a lo largo de los 40 años de vida media, en comparación con los trenes fabricados con metales más pesados.

2.2.2 Obtención del aluminio

El mineral del cual se puede obtener aluminio comercial se llama BAUXITA, la cual regularmente puede ser encontrada en minas de depósito abierto. La Bauxita se tritura y con agua a presión se lava para eliminar otros materiales y sustancias orgánicas. Posteriormente mediante el proceso Bayer, el material se refina para obtener la alúmina, la cual mediante un proceso electrolítico en celdas HALL-HEROULT es descompuesta para obtener aluminio fundido. Dos de tres toneladas de bauxita son requeridas para producir una tonelada de alúmina. En el proceso Bayer, la bauxita después de haber sido pulverizada y obtenida de los procesos de espumado se carga a un digestor el que contienen una solución de sosa cáustica bajo presión y a alta temperatura. Producto del digestor se forma aluminato de sodio que es soluble en el licor generado. Los sólidos insolubles como hierro, silicio, titanio y otras impurezas son filtrados y el licor con la alúmina se bombea a depósitos llamados precipitadores. En los precipitadores se agregan unos cristales finos de hidróxido de aluminio, estos cristales se hacen circular por entre el licor concentrado para que sirvan de semillas, van creciendo en dimensiones a medida que el hidróxido de

aluminio se separa del licor. El hidróxido de aluminio que se adhirió a los cristales se calcina en hornos que operan por arriba de los 900°C. Esto convierte a la alúmina en un producto de alta calidad para la fusión y obtención de aluminio de buena calidad.

La alúmina producto de los hornos de calcinado es procesada en celdas electrolíticas llamadas celdas reductoras. En estas celdas se obtiene el aluminio metálico. El aluminio obtenido de las celdas reductoras es moldeado y procesado en hornos de concentración para la obtención de aluminio de alta calidad. Para la producción de cada kilogramo de aluminio se requiere 2 kg de alúmina, los que son producto de 4 kg de bauxita y 8 kW/h de electricidad.

2.2.3 Clasificación del aluminio

El aluminio se puede clasificar en tres grandes grupos: aluminio comercial puro, aleaciones de forja y aleaciones de moldeo.

El aluminio puro comercial tiene una pureza no inferior al 99 por ciento, el 1 por ciento restante suele ser hierro y silicio. Puesto que carece de elementos de aleación, no presenta una gran resistencia a la tracción. Una de sus principales cualidades es la ductilidad, lo que le hace especialmente adaptable a las operaciones de conformación en frío.

Las aleaciones de forja contienen uno, o más, elementos de aleación y poseen una resistencia a tracción mucho más alta que el aluminio puro. Los principales elementos de aleación son el cobre, manganeso, magnesio, silicio, cromo, zinc y níquel. Según su comportamiento ante los tratamientos térmicos, las aleaciones para forja se clasifican en bonificables y no bonificables. Las aleaciones no bonificables son aquellas que no experimentan variaciones de dureza, aunque se sometan a distintos tratamientos térmicos. Los diversos grados de dureza sólo pueden alcanzarse mediante el trabajo en frío. Por el contrario, en las aleaciones bonificables, puede aumentarse la dureza y la resistencia mediante la aplicación de un tratamiento térmico adecuado.

Las aleaciones de moldeo se emplean para la obtención de piezas fundidas. La mayor parte de estas aleaciones son soldables, pero cuando se sueldan las pertenecientes al grupo de las bonificables, deben tomarse las precauciones adecuadas para evitar la pérdida de las características alcanzadas en el tratamiento térmico.

2.2.4 Designación de las aleaciones de aluminio

El aluminio y sus aleaciones de forja se designan mediante cuatro cifras. La primera de estas cifras indica el grupo al que pertenece el material (Ver Figura 2). Así, 1xxx indica aluminio de 99 por ciento de pureza; 2xxx indica una aleación de aluminio en la que el cobre es el elemento de mayor contenido; 3xxx es una aleación en la que el manganeso es el principal elemento de aleación, etc.

2.2.4.1 Aluminio Puro.

En el grupo 1xxx, correspondiente al aluminio de una pureza mínima del 99 por ciento, se puede encontrar aluminio en distintos grados de pureza: 99,30%, 99,75%, 99%, etc. las dos últimas cifras de designación indican el exceso de pureza, sobre el 99 por ciento. Así, un aluminio del 99,30% de pureza, se designa 1x30 y si la pureza es del 99,55%, la designación será 1x55.

La segunda cifra de la designación indica el grado de control sobre los límites de impurezas individuales. Si es un cero, quiere decir que no hay un control especial sobre ningún tipo de impurezas, mientras que si es entre 1 y 9 nos indica que una o más impurezas (según el número) están controladas. Según esto, 1030 corresponde a un aluminio del 99,30 por ciento de pureza, sin un control especial de las impurezas individualmente consideradas; 1130, 1230, 1330, etc., indican aluminio de la misma pureza pero con una o más impurezas controladas. De la misma forma, 1097, 1197, 1297, etc., corresponden al aluminio del 99,97 por ciento de pureza.

Aluminio de una pureza mínima del 99 %, 1xxx		
	Elemento de aleación más importante	Número
Aleaciones de aluminio clasificadas por grupos según su elemento de aleación de mayor contenido	Cobre	2xxx
	Manganeso	3xxx
	Silicio	4xxx
	Magnesio	5xxx
	Magnesio y Silicio	6xxx
	Zinc	7xxx
	Otros elementos	8xxx

Figura 2: Designación del aluminio y aleaciones de forja
Fuente: Giachino, J - Weeks, W. (2.007)

2.2.4.2 Aleaciones de aluminio

En los grupos 2xxx a 7xxx, las dos últimas cifras de designación no tienen un significado especial y sólo sirven para identificar las diferentes aleaciones dentro de cada grupo.

La segunda cifra de designación indica las modificaciones en la aleación. Si esta cifra es cero, corresponde a la aleación original, mientras que desde el hasta el 9, que se asignan consecutivamente, indican distintas variantes en la aleación.

2.2.4.3 Aleaciones de aluminio bonificables y no bonificables

Existen aleaciones de aluminio bonificables (que admiten tratamientos térmicos para variar propiedades mecánicas como la ductilidad o resistencia) y aleaciones no bonificables. Lo que distingue a las segundas de las primeras es que no tienen en su aleación presencia de elementos que formen precipitados que le den alta resistencia y dureza.

2.2.5 Características del aluminio y sus aleaciones

Las propiedades que favorecen la selección del aluminio y sus aleaciones son su alta relación de resistencia – peso, resistencia a la corrosión de muchos productos químicos, alta conductividad térmica y eléctrica, toxicidad, reflectividad, apariencia y

formabilidad y maquinabilidad; además, no son magnéticos. Los usos principales del aluminio y sus aleaciones, en orden decreciente de consumo, se dan en contenedores y empaques (latas y papel aluminio), edificios y otros tipos de construcción, transporte (aplicaciones en aviones y naves aeroespaciales, autobuses, automóviles, carros de ferrocarril y artículos marinos), aplicaciones eléctricas (como conductor eléctrico económico y no magnético), productos de consumo durables (artículos domésticos, utensilios de cocina y muebles) y herramientas portátiles. Casi todo el cableado para transmisión de alto voltaje se fabrica con aluminio.

2.2.6 Tratamientos térmicos del aluminio y sus aleaciones

Se puede jugar con la aportación de temperatura en ambiente controlado para variar las propiedades mecánicas de una aleación tratable térmicamente o “bonificable” o para otras aplicaciones (por ejemplo eliminar tensiones) siendo en este último caso válidas para todas las aleaciones de aluminio.

2.2.6.1 Recocido de estabilización

Este tratamiento sirve para eliminar las tensiones que puedan producirse en los tratamientos mecánicos de las series que no admiten tratamientos térmicos. Para ello se calienta el material a una temperatura inferior a la de fusión atómica y se mantiene un tiempo determinado (temperatura y tiempo de dependencia del tipo de aleación). El tiempo que se debe dejar pasar para llevar la aleación a esa temperatura y, sobre todo, el de enfriado deben ser largos para evitar que vuelvan a aparecer las tensiones. El recocido en general se puede usar con todas las aleaciones de aluminio, bonificables o no.

2.2.6.2 Recocido contra acritud (RCA)

Este tratamiento elimina la dureza conseguida por el endurecimiento por acritud. La acritud es una propiedad mecánica que adquieren los metales como consecuencia de la deformación en frío, también conocida como proceso de endurecimiento por acritud, que aumenta su dureza, fragilidad y resistencia, aunque los hace perder, al mismo tiempo, su ductilidad o maleabilidad.

Un metal en estado sólido está formado por elementos químicos cuyos átomos se disponen en estructuras cristalinas que se conocen como “granos”. Los metales presentan unas propiedades diferentes en función de su composición química, proceso de fabricación y tratamiento térmico.

Las temperaturas del RCA dependen de la aleación y suelen estar entre 300 y 400°C. Con este tratamiento los granos recuperan su forma original salvo en casos donde la deformación haya sido muy intensa. En este caso se rompen los granos y de los fragmentos surge una nueva estructura molecular más fina. A esto se le llama “germinación”.

El tamaño de los granos para una aleación determinada es función de la temperatura y tiempo del tratamiento térmico y se debe controlar muy bien para evitar que exista un crecimiento excesivo del grano, lo que daría lugar a una modificación importante de las propiedades mecánicas.

2.2.6.3 Recocido de homogeneización y regeneración

El recocido de homogeneización y regeneración Se utiliza para que la composición química de las aleaciones de aluminio, que tienden a ser heterogéneas en su estructura química, se homogenice.

La temperatura para este tratamiento oscila entre 450 y 550 °C durante un tiempo de 15 a 60 minutos. Por otra parte, también se anula el endurecimiento por temple en materiales a los que se le haya aplicado ese otro tratamiento. El tiempo de enfriado también debe ser muy lento para evitar el endurecimiento de la aleación, por ello se puede usar un horno.

2.2.6.4 Disolución y temple

Aunque el recocido es un tratamiento térmico que se puede utilizar prácticamente con cualquier aleación de aluminio, el temple es el método que se usa para endurecer solo las aleaciones bonificables. En el proceso se distinguen tres fases:

a) Se calienta el material a una temperatura en la que se disuelven los elementos que lleva la aleación, liberándolos. Se lleva a una temperatura cercana a los 500 °C

durante el tiempo necesario para disolver los compuestos formados por los elementos que le dan aleación, así se consigue disolver una gran cantidad de precipitados distribuidos uniformemente por toda la red cristalina.

b) Se enfría rápidamente (temple) para conseguir una aleación sobre – saturada de elementos. El enfriado según el caso, puede hacerse con agua fría, agua caliente, agua hirviendo (revenido T61) solución de agua y un polímero (glicol) o pulverización de las dos horas siguientes. Inmediatamente después del enfriamiento rápido todas las aleaciones son relativamente blandas y pueden conformarse moderadamente si este se realiza dentro de las dos horas siguientes. Se pueden disminuir las tensiones que deja este tratamiento con una deformación plástica controlada (como por ejemplo una tracción que alargue la pieza un 2%)

c) Se deja madurar (envejecimiento) para que estos elementos formen los precipitados o compuestos responsables del endurecimiento. Según la aleación la maduración puede ser a temperatura ambiente (natural) o controlada (artificial).

2.2.6.5 Revenido o maduración

También conocido como “envejecimiento”. Después del temple la aleación está dentro de un débil equilibrio estructural. Este proceso es el encargado de darle la resistencia final y la dureza adecuada al tipo de aleación. Puede llevarse cabo de dos maneras diferentes, a saber:

1. Maduración natural: se deja reposar varias horas o días a temperatura ambiente.
2. Maduración artificial: se mantiene a una temperatura durante horas (160 – 180°C) en el caso de la serie 6000 lo que acelera la precipitación de los compuestos responsables del endurecimiento estructural.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones, no solo provienen de su composición química sino que también pueden modificarse por tratamientos de recocido, conformado en frío o endurecimiento por precipitación (disolución, temple y maduración). Esto es algo importante que debe indicarse en las aleaciones tratadas a

continuación del número que la identifica y para ello existen unos códigos que permiten saber qué tipo de tratamiento ha recibido.

Los códigos se agrupan en cinco grupos diferentes. Consiste en una letra que puede estar acompañada de un número con el fin de ser más precisos. A continuación se detalla dichas designaciones.

1. “F”. El material está en estado bruto con constancia de tratamientos que hayan variado sus propiedades mecánicas.

2. “0”. Recocido. Indica que la aleación a la que acompaña en su designación se le ha aplicado un recocido para que tenga una baja resistencia mecánica. Dentro de este grupo se distingue:

“01”. Recocido a elevada temperatura y enfriado lento.

“02”. Es sometida a tratamiento termo mecánico (combinación de conformación fría o caliente con tratamiento térmico)

“03”. Homogeneizado. Se aplica a alambrones o coladas continuas sometidas a tratamientos por difusión a alta temperatura.

3. “H”. Indica endurecimiento por conformado (deformación) en frío. Se distinguen:

“H1”. Endurecido por deformación hasta conseguir el nivel deseado sin tratamiento térmico posterior.

“H2”. Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial para recuperarlo sin perder ductilidad.

“H3”. Endurecido y tratamiento de estabilizado.

“H4”. Endurecido y lacado o pintado. Aleaciones endurecidas en frío que pueden sufrir un cierto recocido en el proceso de curado de la pintura.

4. “W”. Indica que se ha endurecido por precipitación a temperatura ambiente (envejecimiento natural) y después sometida a tratamiento de disolución. Las designaciones de aleaciones bonificables o termoestables que van acompañadas de una “W” o una “T” indican que han sido tratadas térmicamente.

5. “T”. Materiales endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por conformado posterior. Son varias:

“T1”. Fabricado a alta temperatura, enfriado y envejecido de forma natural.

“T2”. Fabricado a alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.

“T3”. Tratado térmicamente por disolución, trabajado en frío y envejecido de forma natural.

“T4”. Tratado térmicamente por disolución y envejecido naturalmente.

“T5”. Fabricado a alta temperatura, enfriado y envejecido artificialmente.

“T6”. Productos conformados a alta temperatura (moldeo o extrusión) que no son endurecidos en frío sino sometidos a envejecimiento artificial.

“T7”. Tratado térmicamente por disolución y sobre envejecido o estabilizado.

“T8”. Tratado térmicamente, trabajado en frío y envejecido artificialmente.

“T9”. Tratado térmicamente por disolución, envejecido artificialmente y trabajado en frío.

“T10”. Fabricado a alta temperatura, trabajado en frío y envejecido artificial.

En la Figura 3 se muestran algunas propiedades de diversas aleaciones de aluminio.

UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
Aleaciones para forja						
1100	>99Al, 0.12Cu	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	89 124	24 97	25 4	Componentes eléctricos, hojas metálicas finas (papel).
3003	1.2Mn	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	117 159	34 149	23 7	Recipientes a presión, resistencia a corrosión, hojas metálicas finas.
5052	2.5Mg, 0.25Cr	Recocido (O) Trab. en frío (H34)	193 262	65 179	18 4	Transportes, metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos.
2024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Recocido (O) Tratamiento T6	220 442	97 345	12 5	Estructuras aeronáuticas.
6061	1.0Mg, 0.6Si, 0.27Cu, 0.2Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	152 290	82 345	16 10	Transportes, estructuras aeronáuticas y marinas y otras de alta resistencia.
7075	5.6Zn, 2.5Mg, 1.6Cu, 0.23Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	276 504	145 428	10 8	Estructuras aeronáuticas y aeroespaciales.
Aleaciones para fundición						
355,0	5Si, 1.2Cu	Arena (T6) Molde metálico (T6)	220 285	138 -	2.0 1.5	Bombas domésticas, accesorios aeronáutica, cárter aviación.
356,0	7Si, 0.3Mg	Arena (T6) Molde metálico (T6)	207 229	138 152	3.0 3.0	Fundiciones de gran complejidad, ejes portadores de las motoras, ruedas de camiones.
332,0	9.5Si, 3Cu, 1.0Mg	Molde metálico (T5)	214			Pistones de automóviles.
413,0	12Si, 2Fe	Fundición en coquilla	297	145	2.5	Fundiciones complicadas.

Figura 3: Propiedades de algunas aleaciones de aluminio a temperatura ambiente

Fuente: Giner, E. (.2.017)

2.2.7 Influencia de los elementos de aleación en el aluminio

Las propiedades de las aleaciones de aluminio varían dependiendo de los elementos de aleación. A continuación, se describen los efectos que generan algunos elementos de aleación sobre el aluminio.

Cobre: aumenta de manera notable la resistencia a la tracción y la dureza, tanto en condiciones de extrusión como tratado térmicamente. Las aleaciones que contienen de 4 a 6% Cu tienen una respuesta más efectiva al tratamiento térmico. Por lo general, el cobre reduce la resistencia a la corrosión y, en ambientes muy específicos en ciertos tipos de aleaciones, induce a la corrosión bajo tensión. Las adiciones de cobre reducen resistencia al agrietamiento en caliente y disminuye la colabilidad en piezas fundidas.

Hierro: es altamente soluble en estado líquido pero virtualmente insoluble (0,04% Fe) a temperatura ambiente. Por ello aparece como compuestos intermetálicos insolubles, siendo los más comunes Al_3Fe , Al_6

aluminios de alta calidad (“Premium”) varían en el rango de 0,40 a 0,70%. Las aleaciones binarias Al –Mg se utilizan ampliamente cuando se requiera un acabado superficial brillante, buena resistencia a la corrosión y una excelente combinación entre resistencia y ductilidad. Las composiciones entre 4 a 10% Mg, así como aquellas que contienen más de 7% Mg son tratables térmicamente, cuya desventaja principal es la inestabilidad en las características de envejecimiento a temperatura ambiente. Las aleaciones Al-4Cu-1Mg se caracterizan por precipitar el compuesto Al_2CuMg , responsable del endurecimiento por precipitación de dichas aleaciones.

Manganeso: incrementa la resistencia mecánica sea por solución sólida o por finos precipitados intermetálicos. No altera la resistencia a la corrosión. Se usa en la fundición para corregir la forma acicular de los precipitados aciculares ricos en hierro y disminuir su efecto fragilizante, aunque promueve una estructura fibrosa en los lingotes. En forma de precipitados finos previene el crecimiento del grano en la recristalización. Se encuentra que el manganeso incrementa la sensibilidad al agrietamiento de las aleaciones tratables térmicamente. Hasta 1,25% Mn es el principal aleante en las aleaciones del tipo 3xxx. Con grandes deformaciones plásticas, estos materiales exhiben una aceptable embutibilidad. En presencia de Fe, Cr o Ni, debe cuidarse que no sobrepasen los límites de composición para evitar formación de cristales primarios intermetálicos.

Níquel: se emplea conjuntamente con el cobre para mejorar las propiedades a altas temperaturas. También reduce el coeficiente de expansión térmica.

Silicio: el efecto más notable del silicio en el aluminio es mejorar las características del colado, mejorando la fluidez, la resistencia al agrietamiento en caliente y las características de la alimentación de las piezas fundidas. Las aleaciones comerciales Al – Si varían desde composiciones hipoeutécticas hasta cerca del 25% Si. Para procesos de colado con velocidades lentas de solidificación se prefieren los rangos de 5 a 7% Si, para moldes permanentes se recomienda 7 a 9% Si y para fundición a presión, que inducen altas velocidades de enfriamiento, 8 a 12% Si. Se

recomienda mayores cantidades de eutéctico para propósitos de alimentación de la pieza a medida que aumenta la velocidad de enfriamiento. Las adiciones de silicio disminuyen la densidad y el coeficiente de expansión térmica.

Estaño: mejora las características antifricción y la maquinabilidad. Debido a esto, se utiliza en las aleaciones destinadas a cojinetes. El estaño puede influenciar la respuesta al endurecimiento de ciertas aleaciones de aluminio.

Titanio: refina la estructura del grano del aluminio, usualmente adicionado como boruro de titanio, TiB_2 , preferiblemente en concentraciones mayores que la estequiometría. Reduce la tendencia al agrietamiento.

Zinc: no se reportan beneficios por la adición del zinc al aluminio. Sin embargo, en aleaciones que contienen Cu y/o Mg, mejora la respuesta al endurecimiento por tratamiento térmico o natural.

2.2.8 Propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio

Las propiedades mecánicas o propiedades de resistencia mecánica sirven en la mayoría de los casos como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. A continuación, se da un resumen de las propiedades mecánicas más importantes del aluminio no sólo sometido a esfuerzo continuo sino también, oscilante y por golpe.

2.2.8.1 Dureza

La mayoría de las veces se da en los materiales de aluminio la dureza Brinell, a causa de la sencillez de su determinación. Los valores de la dureza Brinell se extienden desde $HB=15$ para aluminio purísimo blando hasta casi $HB=110$ para $AlZnMgCu$ 1,5 endurecido térmicamente, es decir, aleación 7075.

Los valores de la dureza determinados por otros métodos, como el Vickers o el de Knoop, apenas tienen significado práctico en este metal. De vez en cuando se utiliza la microdureza, una variante del método Vickers, para determinar la dureza de capas anodizadas.

2.2.8.2 Resistencia en el ensayo de tracción

Los importantísimos valores característicos que se obtienen en el ensayo de tracción para juzgar las propiedades resistentes de los materiales metálicos en general, son aplicables a los materiales de aluminio. Generalmente estos valores son el límite elástico 0,2%, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento a la rotura, así como la estricción de ruptura.

En general, la resistencia aumenta con el aumento en elementos de aleación. Los dominios de la resistencia en cada aleación surgen, ante todo, como consecuencia de los aumentos de resistencia que se consiguen por deformación en frío o endurecimiento por tratamiento térmico. Los distintos elementos de aleación actúan de modo muy diferente en cuanto al aumento de resistencia.

Al aumentar la resistencia, aumenta el límite 0,2% más deprisa que la resistencia a la tracción, independientemente del mecanismo que motive el aumento de la resistencia. Este aumento se nota especialmente cuando el aumento de resistencia tiene lugar por deformación en frío. En general no se desean altas relaciones entre los límites elásticos (límite 0,2% y resistencia máxima) ya que expresan un comportamiento relativamente quebradizo del material, razón fundamental por la que no se puede aumentar de forma arbitraria la resistencia de un material metálico.

2.2.8.3 Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión

En los materiales aluminicos se puede admitir que el valor del límite de aplastamiento 0,2% (parámetro de la resistencia a la compresión) es igual al valor del límite elástico 0,2% de tracción. La resistencia a la compresión o el límite de aplastamiento 0,2% tienen importancia principalmente en las piezas sometidas a compresión tales como cojinetes de fricción.

La resistencia a la flexión en las aleaciones de aluminio se tiene en cuenta para las de fundición, en aquellos casos en que, al realizar el ensayo de tracción no es posible determinar el límite elástico con suficiente exactitud a causa de su pequeño valor.

La resistencia al cizallamiento es importante para el cálculo de la fuerza necesaria para el corte y para determinadas construcciones. No existen valores normalizados. Generalmente está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción. Casi nunca se determina la resistencia a la torsión, si se considera una distribución lineal de tensiones, puede considerársela igual a la resistencia al cizallamiento.

2.2.8.4 Propiedades resistentes a temperaturas elevadas

Al aumentar la temperatura, disminuyen la resistencia a la tracción, el límite elástico y la dureza, en tanto que, en general, aumenta el alargamiento de rotura y la estricción de rotura. El factor tiempo juega un papel esencial en la determinación de valores de resistencia para altas temperaturas. Esta influencia se exterioriza de dos maneras.

1. Cambios de estado. Bajo la influencia de temperaturas elevadas se pueden producir modificaciones permanentes en la estructura de los materiales que han experimentado endurecimiento por deformación en frío, estas traen consigo una disminución de la resistencia mecánica.
2. Procesos de fluencia. A temperaturas elevadas el material puede experimentar deformaciones lentas bajo la acción de cargas en reposo, aumentando la velocidad en el cambio de forma con el incremento de la temperatura y de la tensión. Al mismo tiempo pueden surgir tensiones por debajo de la resistencia a la tracción o del límite elástico 0,2%.

2.2.8.5 Resistencia a la fatiga

Se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas (fuerzas repetidas aplicadas sobre el material) se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura. La fatiga depende de una serie de factores. Además de la composición, estado y procedimiento de obtención del material, hay que considerar la clase y frecuencia de las sollicitaciones y, especialmente, la configuración de los elementos constructivos (distribución de fuerzas, tensiones máximas, superficie). Para el aluminio el límite de ciclos de carga

está fijado en 10. Los ensayos se hacen casi siempre con 5 10 ciclos. Los resultados de los ensayos de fatiga alternativa presentan siempre una dispersión que no se disminuye aunque se utilicen métodos más precisos de medición. Se deben, principalmente, a contingencias casuales que intervienen al originarse la primera fisura y prosiguen en las fases iniciales de su expansión. Influencia del material. La resistencia a la fatiga se aumenta mediante la formación de soluciones cristalinas, la conformación en frío y el endurecimiento. En las aleaciones de aluminio para laminación y forja existe una clara diferencia entre las no endurecibles y las endurecibles. Esto se manifiesta en el siguiente gráfico, donde la aleación AlMg es la no endurecible térmicamente y la AlZnMgCu es la endurecible térmicamente. Influencia de la sollicitación. Al juzgar los valores de la resistencia a la fatiga se ha de tener en cuenta el tipo de sollicitación (tracción, compresión, flexión alternativa o rotativa) y, ante todo, la posición de la tensión media o la relación de tensiones respectivamente. Además, se ha de observar atentamente si se da la amplitud de resistencia a la fatiga o a la máxima tensión superior. Además de los anteriores factores, también influyen en la resistencia a la fatiga, los máximos de tensión o efectos de entalladura, el estado superficial y del ambiente, la soldadura y la temperatura.

2.2.8.6 Resistencia al desgaste

La resistencia a la abrasión o al desgaste de los materiales de aluminio es particularmente baja en el rozamiento en seco. No existe relación entre dureza y resistencia mecánica por un lado y resistencia a la abrasión por el otro. Los materiales de aluminio sometidos a rozamiento, en determinadas circunstancias de funcionamiento, muestran un comportamiento aceptable como prueban las numerosas aplicaciones que tienen en cojinetes de fricción y émbolos. Debe mencionarse también que el desgaste se puede reducir drásticamente por un tratamiento superficial apropiado.

2.2.9 Aluminio serie 6000

En estas aleaciones se usa como elemento aleante principal el magnesio (Mg) y en menor cantidad el silicio (Si) en proporciones adecuadas para que se forme el siliciuro de magnesio Mg_2Si . Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos resistentes que el resto de las aleaciones, a cambio tiene buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión.

Estas aleaciones pueden moldearse por un tratamiento térmico T4 y endurecido por una serie de acciones que complementa el tratamiento térmico T6. Su uso suele ser el de aplicaciones arquitectónicas, cuadros de bicicletas, pasamanos de puentes, equipos de transporte y estructuras soldadas en general. La figura 4 muestra el diagrama de equilibrio de estas aleaciones de la serie 6000.

Las aleaciones más comunes dentro de la familia 6000 son las 6060, 6061 y 6063. Estas aleaciones poseen una alta extrudabilidad y pueden ser usadas en muchas aplicaciones. Las aplicaciones son muy variadas debido a que poseen un buen acabado superficial, una buena resistencia a la corrosión y un excelente comportamiento en el anodizado.

Las aleaciones de la serie 6000 tienen como principales elementos de aleación el Mg y Si, que al combinarse entre sí forman el compuesto intermetálico Mg_2Si , que junto a otros compuestos complejos del tipo Fe-Cr-Al-Si endurecen fuertemente el material. La aleación más ampliamente utilizada de esta serie, la 6061, presenta contenidos de 1.0% de Mg y 0.6% de Si, junto a otros elementos como un 0.2% de Cr y hasta un 0.3% de Cu, que en condiciones de T6 alcanza resistencias de 290 MPa, utilizándose para fines estructurales de carácter general. La Figura 5 muestra los rangos de elementos químicos que conforman a estas aleaciones de aluminio.

En el anexo A, se pueden ver en detalle la composición química de cada aleación de aluminio de la serie 6000.

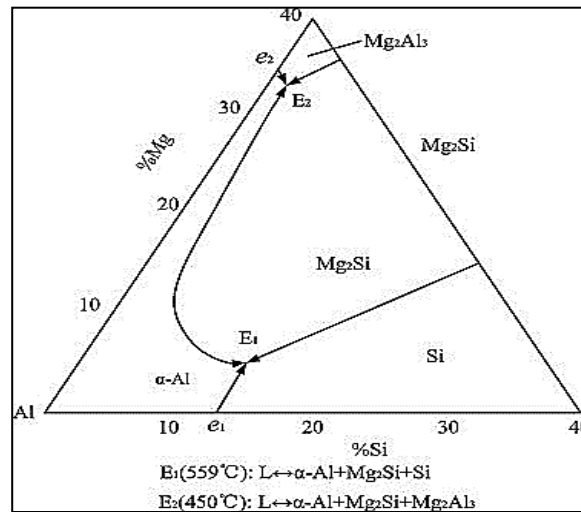


Figura 4: Diagrama de equilibrio Al-Mg-Si
Fuente: Verlag, D. (2.004)

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Max	0,30	0,50			0,60					
Min	0,60	0,35	0,10	0,15	0,90	0,05	0,15	0,20	0,15	Resto

Figura 5: Composición típica de las aleaciones de aluminio de la serie 6000
Fuente: Giner, E. (2.017)

2.2.10 Ensayo de metalografía

La metalografía es la parte de la metalurgia que estudia las características estructurales o de constitución de los metales y aleaciones, para relacionarlas con las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los mismos. La importancia del examen metalográfico radica en que, aunque con ciertas limitaciones, es capaz de revelar la historia del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material.

A través de este estudio se pueden determinar características como el tamaño de grano, distribución de las fases que componen la aleación, inclusiones no metálicas como sopladuras, micro cavidades de contracción, escorias, etc., que pueden modificar las propiedades mecánicas del metal. En general a partir de un examen metalográfico bien practicado es posible obtener un diagnóstico y/o un pronóstico. El examen metalográfico puede realizarse antes de que la pieza sea destinada a un fin, a

los efectos de prevenir inconvenientes durante su funcionamiento, o bien puede ser practicado sobre piezas que han fallado en su servicio, es decir, piezas que se han deformado, roto o gastado. En este caso la finalidad del examen es la determinación de la causa que produjo la anormalidad.

Básicamente, el procedimiento que se realiza en un ensayo metalográfico incluye la extracción, preparación y ataque químico de la muestra, para terminar en la observación microscópica. Si bien la fase más importante de la metalografía es la observación microscópica, la experiencia demuestra que poco se puede hacer si alguna de las operaciones previas se realiza deficientemente. Si la etapa de preparación no se realiza cuidadosamente es posible que se obtenga una superficie poco representativa del metal y sus características. Una preparación incorrecta puede arrancar inclusiones no metálicas, barrer las láminas de grafito en una muestra de fundición, o modificar la distribución de fases si la muestra ha sufrido un sobrecalentamiento excesivo. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los pasos previos a la observación en el microscopio, comenzando por la extracción de la muestra, siguiendo con las distintas fases de preparación de la misma y por último se describe el ataque químico a la muestra y la observación microscópica.

2.2.10.1 Extracción de la muestra

Durante la extracción de la muestra es fundamental considerar el lugar de donde se extraerá la probeta y la forma en que se hará dicha extracción. Se debe tener en cuenta que no es indiferente el lugar de donde se extraerá la muestra, según sea el objetivo del examen. Por ejemplo, cuando se trata de una pieza rota en servicio y el objeto del examen es determinar las causas de dicha falla, la probeta debe extraerse, en la medida de lo posible, de la zona puntual donde la pieza ha fallado. Esto permitirá obtener la mayor información posible de las características del material en dicha zona y así obtener mejores conclusiones sobre las posibles causas de la falla. Por ejemplo, si se pretende determinar si un trozo de alambre posee trabajo en frío,

causado por algún proceso de trefilado, se deberá observar una cara paralela al eje longitudinal de dicho trozo; por lo tanto, la extracción de la muestra estará determinada por esta condición.

En síntesis, se debe lograr una muestra representativa del material a examinar. En cuanto a la forma de extracción de la probeta se debe tener en cuenta que esta operación debe realizarse en condiciones tales que no afecten la estructura superficial de la misma. Por lo tanto, se debe cuidar que la temperatura del material no se eleve demasiado durante el proceso de extracción. La extracción se puede hacer con cierras de corte manual, o en el caso de piezas muy duras con cortadoras sensitivas muy bien refrigeradas.

2.2.10.2 Preparación de la muestra

La preparación de la muestra puede dividirse en tres fases:

1. Desbaste Grosero. El desbaste grosero se practica una vez extraída la probeta con la finalidad de reducir las irregularidades, producidas en la operación de extracción, hasta obtener una cara lo más plana posible. Esta operación puede realizarse con una cinta de desbaste o bien en el caso de materiales no muy duros como aceros sin temprar y fundiciones se puede hacer con lima, aunque aumente algo la distorsión que se produce en la superficie a causa de la fluencia del material. De cualquier manera que se practique el desbaste grosero siempre se debe cuidar que la presión no sea exagerada para que la distorsión no sea muy importante, ni la temperatura de la superficie se eleve demasiado.

2. Desbaste Final. La operación de desbaste final comienza con un abrasivo de 150, seguido del 250, 400, para terminar con el 600 o 1000. El desbaste se puede realizar a mano o con desbastadoras mecánicas. Para el caso de desbaste manual el papel abrasivo se coloca sobre una placa plana y limpia y se mueve la probeta longitudinalmente de un lado a otro del papel aplicándole una presión suave; se debe mantener la misma la dirección para que todas las rayas sean paralelas. Durante la operación se debe dejar que una corriente de agua limpie los pequeños

desprendimientos de material y a su vez lubrique y refrigere la zona desbastada. El final de la operación sobre un papel está determinada por la desaparición de las rayas producidas durante el desbaste grosero o el papel anterior. Para poder reconocer esto fácilmente se opera de manera que las rayas de un papel a otro sean perpendiculares, es decir se debe rotar 90° la dirección de movimiento de la probeta cada vez que se cambia de abrasivo. Además, cada vez que se cambia de abrasivo es conveniente lavar la probeta y enjuagarse las manos para no transportar las partículas desprendidas en el abrasivo anterior, ya que esto puede provocar la aparición de rayas. La presión que se aplica a la probeta no debe ser exagerada ya que esto aumenta la distorsión y además pueden aparecer rayas profundas. La presión debe ir disminuyendo a medida que se avanza en la operación. Si el desbaste se realiza en forma automática las precauciones son las mismas que para el desbaste manual. En este caso el abrasivo está adherido sobre un disco de 20 cm de diámetro, aproximadamente, que gira a velocidades que pueden oscilar entre 250 y 600 RPM; las velocidades más altas se usan con los abrasivos más gruesos. Cuando los metales a pulir son demasiado blandos es conveniente impregnar los abrasivos con un lubricante adecuado.

3. Pulido. El pulido tiene por objeto eliminar las rayas finas producidas en el desbaste final y producir una superficie con características especulares. Esta operación por lo general se realiza en forma mecánica y se utiliza un paño impregnado con partículas de algún abrasivo en solución acuosa. Básicamente, se pueden utilizar dos tipos de paños: con pelo (pana, terciopelo, lanas) y sin pelo (seda natural). Se debe elegir el que más se adapte al tipo de material a examinar. Por ejemplo, el pulido de muestras de fundición se debe realizar con paños sin pelo para evitar el arrancamiento de grafito. En cuanto a los abrasivos pueden ser: pasta de diamante, alúmina, alundun, etc. El abrasivo comúnmente utilizado es la alúmina, que es óxido de aluminio en partículas y que comercialmente se obtiene en forma de pastas o soluciones acuosas. Se debe cuidar que la humedad del paño sea la adecuada,

es decir, si la humedad es excesiva la acción abrasiva se retardará demasiado y si es escasa la probeta tiende a mancharse. Si bien es muy cierto que cuanto más pulida este la superficie más clara será la imagen que obtengamos en el ocular, muchas veces no es necesario llegar hasta un pulido perfecto, sino que bastará con que la densidad de rayas en la superficie sea lo suficientemente baja y preferentemente en una sola dirección. Si con un aumento de 500x se pueden distinguir porciones lisas más o menos grandes entre las rayas, entonces el pulido puede darse por terminado. Dado que las zonas rayadas serán más atacadas que las zonas lisas, si la densidad de rayas es muy alta y si a su vez están en dos o más direcciones, el oscurecimiento de las rayas durante el ataque, cubrirán los detalles de la estructura del material.

2.2.10.3 Métodos especiales de preparación

La preparación de metales blandos y dúctiles es difícil en el sentido de que el metal blando fluye con mucha facilidad y se generan capas de metal distorsionado que enmascaran la verdadera estructura (Aluminio y sus aleaciones, Cobre y sus aleaciones, Plomo, etc.). Por otra parte, la conservación de algunas inclusiones en las muestras de acero o las láminas de grafito en las funciones requiere de técnicas algo más específicas de preparación.

Así por ejemplo la preparación de una muestra de fundición requiere un pulido cuidadoso sobre un paño sin pelo, en una sola dirección, y con la humedad adecuada para que las láminas de grafito no sean arrancadas durante este proceso. De esto se desprende que la preparación de las muestras no es un procedimiento estricto y abarca cualquier tipo de material, sino que en general es necesario un estudio más o menos cuidadoso del tema de acuerdo al tipo de material a analizar y a los resultados que se pretendan obtener.

2.2.10.4 Distorsión

La distorsión es un fenómeno natural que se produce en la superficie durante las operaciones de desbaste y pulido. Los esfuerzos mecánicos que introducen las

partículas de abrasivo, sumado al efecto térmico producen la fluencia del metal en la superficie de la muestra.

Esta fluencia de metal destruye, al menos parcialmente, el estado cristalino del metal. Dado que la superficie resultante posee una energía libre mayor, sumado a que dicha distorsión solo posee una profundidad de algunas distancias interatómicas, en general este efecto es eliminado luego del ataque químico. En caso de que la distorsión no sea eliminada en el primer ataque, serán necesarias 3 o 4 sesiones alternadas de ataque y pulido.

2.2.10.5 Ataque Químico

El ataque químico de la cara que se observará tiene por objetivo poner en evidencia, mediante un ataque selectivo, las características estructurales de la muestra. Al aplicar el reactivo sobre la superficie a observar, las características de la estructura son reveladas como consecuencia de un ataque selectivo de la superficie. Esto se debe a que las distintas fases, así como los planos cristalográficos diferentemente orientados poseen diferencias en la susceptibilidad al ataque.

En general aquellas regiones de la estructura donde la energía libre del sistema es mayor, como por ejemplo los límites de fases, bordes de grano, etc., son atacadas más rápidamente que las regiones monofásicas o ínter granulares. Los reactivos de ataque por lo general son ácidos orgánicos disueltos en agua, alcohol, glicerina, etc.

El grado de ataque de una probeta es función de la composición, temperatura y tiempo de ataque. Para que el ataque sea apropiado es necesario elegir el reactivo de acuerdo a la composición de la probeta, es decir, un reactivo a base de persulfato de amonio es ideal para atacar probetas de cobre y latón, pero no es adecuado para atacar al acero o aleaciones ferrosas. En cambio, el nital (solución acuosa o alcohólica de ácido nítrico al 2% o hasta el 5%) es uno de los reactivos más comúnmente usado en aleaciones ferrosas y aceros.

En general, dado un reactivo, el tiempo de ataque es una variable fundamental, y en general debe ser determinado en forma práctica. Un tiempo de ataque demasiado

corto (subataque), no permitirá que el reactivo actúe lo suficiente y por lo tanto no se obtendrá un buen contraste entre las fases, o los bordes de grano aun no habrán aparecido. Por otro lado, un sobre ataque proporcionará una cara oscura con bordes de grano demasiado anchos, resultando dificultoso una distinción clara de las proporciones de cada una de las fases. En este sentido la experiencia indica que, en el caso de no conocer el tiempo de ataque adecuado, es conveniente comenzar con secciones acumulativas de ataques de corta duración y observaciones microscópicas hasta lograr el contraste apropiado.

En el caso que se produjese un sobre ataque será necesario pulir la probeta en el abrasivo más fino y también en el paño antes de atacar nuevamente durante un tiempo menor.

2.2.10.6 Métodos de ataque

Antes de realizar el ataque se debe limpiar y desengrasar con alcohol la cara de la muestra a atacar y luego se debe secar con aire caliente. Los modos de ataque principalmente son dos: uno sumergiendo la probeta en el reactivo con la cara que se observará hacia arriba y el otro es mojando un algodón con el reactivo y frotar la cara de la probeta. Transcurrido el tiempo de ataque se debe tomar la probeta y lavar con agua o alcohol e inmediatamente se debe secar con aire caliente. En el caso que se lave con agua es conveniente enjuagar rápidamente la probeta con alcohol y luego secarla con aire, esto previene la formación de manchas de óxido. La muestra se debe manipular en todo momento con pinzas por dos razones fundamentales: para no tener inconvenientes con el reactivo y para no tocar la muestra con las manos ya que esto manchará la superficie de la misma.

2.2.11 Espectrometría de emisión por chispa

Como las propiedades metalúrgicas de aluminio y sus aleaciones dependen fundamentalmente de la composición química; la norma ASTM E1251 (Método de prueba estándar para el análisis de aluminio y aleaciones de aluminio por chispa espectrometría de emisión por chispa), explica que este método de ensayo describe el

análisis de aluminio y sus aleaciones por espectrometría de emisión atómica. El espécimen de aluminio para ser analizadas puede ser de forma de un disco de enfriamiento del molde, papel, hojas, láminas, extrusión o alguna otra forma o forma forjado.

Es un método estándar para el análisis directo de muestras metálicas, de gran utilidad en fabricación y control de la producción en la industria del metal. Se basa en la obtención de chispas entre dos electrodos, lo que produce un plasma de vapor en el cátodo, de una temperatura mayor de 10.000°K. Esta técnica permite la determinación rápida y simultánea de muchos elementos químicos en aleaciones, incluyendo elementos ligeros como C, S, B y P, por lo que es complementaria con la espectrometría de fluorescencia de rayos X para análisis metalúrgicos, según Vásquez M. Magdalena (2.017)

2.2.12 Análisis químico

Este análisis químico tiene por finalidad individualizar la naturaleza de las sustancias, ya sea desde el punto de vista de la especie de átomos o grupos atómicos funcionales que las forman, como de aquel de las proporciones de estos constituyentes. La primera tarea se realiza mediante el análisis químico cualitativo y la segunda, por el análisis químico cuantitativo.

Las sustancias que se pueden someter al análisis químico pueden ser: elementos o compuestos, o viene mezclas de unos y otros; los compuestos pueden ser: inorgánicos u orgánicos. Cuando se trata de una sustancia única ya sea elemento o compuesto, la tarea del análisis generalmente se simplifica, porque la individualización está entonces ayudada a por la observación de sus caracteres físicos: color, forma cristalina, dureza, densidad, punto de fusión, solubilidad, etc. la individualización es más compleja si se trata de una mezcla de elementos o de compuestos.

La identificación de lo que es una muestra desconocida se llama análisis cualitativo, y la determinación de la cantidad que hay presente, análisis cuantitativo.

2.2.13 Tracción

Las propiedades mecánicas de los materiales indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores, como por ejemplo un estiramiento del material por una fuerza externa a él.

El ensayo de tracción es probablemente el tipo de ensayo más fundamental de todas las pruebas mecánicas que se puede realizar en un material. Los ensayos de tracción son simples, relativamente baratos, y totalmente estandarizados (normalizados).

En este ensayo se somete al material a una fuerza de tracción, es decir, se le aplica una fuerza o varias fuerzas externas que van a tratar de estirar el material. De hecho durante el ensayo lo estiraremos haciendo cada vez más fuerza sobre él hasta llegar a su rotura. Como ves es un ensayo **Esfuerzo-Deformación**. La figura 6 muestra una representación de un ensayo de tracción.

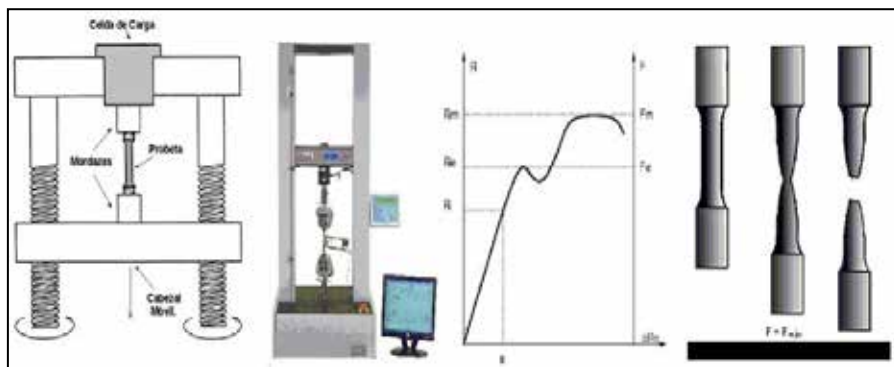


Figura 6: Esquema de un ensayo de tracción.

Fuente: Groover, M. (1.997)

Estirando el material, se puede determinar rápidamente cómo el material va a reaccionar ante las fuerzas que se le aplican y que tratan de estirarlo. A medida que estiramos el material, iremos viendo la fuerza que hacemos en cada momento y la cantidad que se estira el material (alargamiento).

Los ensayos de tracción se realizan con los materiales dúctiles, con un cierto grado de plasticidad, tales como los materiales metálicos ferrosos y no ferrosos,

plásticos, gomas, fibras, etc. Los datos obtenidos en los ensayos de tracción se pueden utilizar para comparar distintos materiales y comprobar si algunos de ellos podrán resistir los esfuerzos a los que va a estar sometido cuando es utilizado en una determinada aplicación, por ejemplo un metal en un puente, un ladrillo en una vivienda, una viga, etc.

Muchos materiales, cuando prestan servicio están sometidos a fuerzas o cargas, ejemplos de ello son los revestimientos refractarios de los hornos, las aleaciones de aluminio con las cuales se construyen las alas de los aviones, el acero de los ejes de los automóviles o las vigas y los pilares de los edificios. En tales situaciones es necesario conocer las características del material y diseñar la pieza de tal manera que cualquier deformación resultante no sea excesiva y no se produzca su rotura.

Para estos ensayos de tracción, se utilizan trozos de material llamados "probetas" o "muestras" (Ver figura 7). Una probeta del material es un trozo de material con dimensiones normalizadas para realizar ensayos, como el de tracción. Estas dimensiones normalizadas son la longitud de la probeta y el área de su sección transversal. Ojo no confundir con una probeta de laboratorio de física o química que sirven para medir volúmenes.

Se coloca y agarra por sus extremos la probeta entre dos accesorios llamados "agarres" o "mordazas" que sujetan la probeta en la máquina del ensayo (al principio y al final puedes ver la imagen de alguna máquina de tracción). Normalmente la probeta se coloca en vertical. Ahora comenzamos aplicar una fuerza exterior por uno de los extremos de la probeta a una velocidad lenta y constante. El otro extremo de la probeta permanecerá fijado al agarre, aunque en alguna máquina se hace fuerza sobre la probeta por los dos extremos.



Figura 7: Probetas cilíndricas para ensayo de tracción.

Fuente: Groover, M. (1.997)

Todo cuerpo al soportar una fuerza aplicada trata de deformarse en el sentido de aplicación de la fuerza. En el caso del ensayo de tracción, la fuerza se aplica en dirección del eje de ella y por eso se denomina axial. La probeta se alargará en dirección de su longitud y se encogerá en el sentido o plano perpendicular.

Según se va aplicando cada vez más fuerza sobre la probeta, la probeta llegará un momento que empezará a estirarse, disminuyendo su sección y aumentando su longitud. Se sigue aplicando cada vez más fuerza externa hasta que llegue un momento que **la probeta rompe**. Este momento se llama el momento de la **fractura**. Por este motivo se dice que el ensayo de tracción es un ensayo destructivo, la pieza se rompe y ya no sirve.

Durante el ensayo vamos anotando los datos de fuerza (también llamada carga) y estiramiento de la probeta. Con los datos obtenidos en el ensayo se puede hacer una gráfica llamada ""Curva de Tensión-Alargamiento" (Ver figura 8).

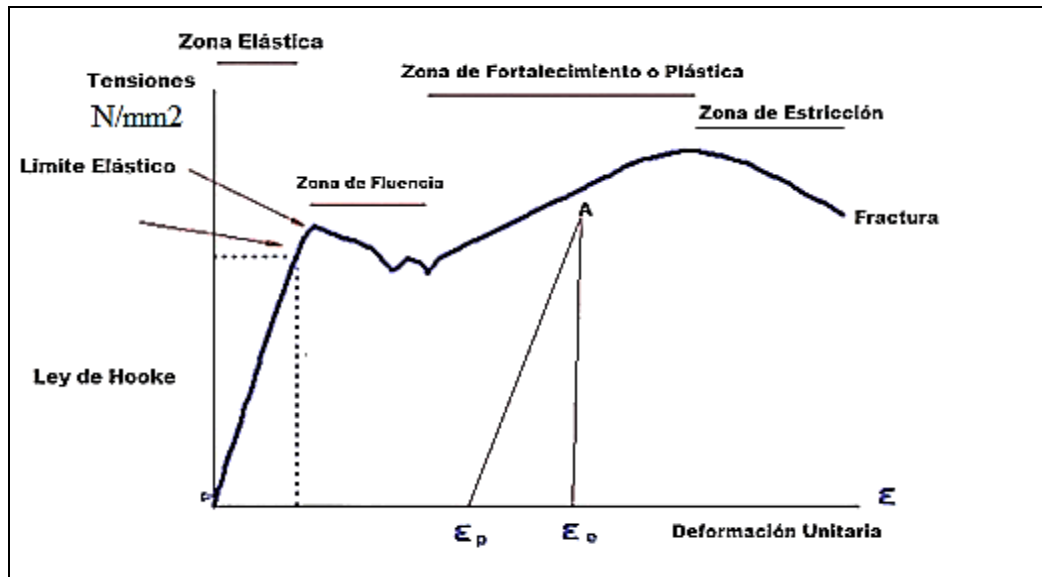


Figura 8: Gráfica esfuerzo – deformación.

Fuente: Groover, M. (1.997)

La curva Esfuerzo vs. Deformación a la tracción se obtiene por la acción de la carga fija sobre una probeta estándar (Ver figura 7). Otro método para obtener la curva es especificar la rapidez de deformación como variable independiente, en cuyo caso la rapidez de carga se ajusta en forma continua para mantener la deformación requerida. En la mayoría de los materiales de ingeniería, la curva tendrá una región elástica lineal, en la cual la deformación es reversible e independiente del tiempo.

La máquina para realizar el ensayo de tracción impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionada. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, algunas máquinas poseen una impresora que gráfica en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída.

Las ecuaciones para determinar las propiedades mecánicas con este ensayo son las siguientes:

$$S_i = \frac{P}{A_0} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\delta = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma_r = \frac{P_i}{A_i} \quad \text{Ec.3}$$

Dónde: A_0 = Área inicial (mm²) ,
 L_0 = Longitud inicial (mm) ,
 L_f = Longitud final (mm),
 S_i = Esfuerzo de Ingeniería (MPa)
 σ_r = Esfuerzo Real (MPa)

A_i = Área instantánea (mm²)

P = Carga (N)

P_i = Carga instantánea (N)

La medida de la sección transversal original también se compara con la sección transversal final para obtener la **reducción del área**.

$$AR = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad \text{Ec 4}$$

Cuando se aplica la carga por primera vez, la probeta se alarga en proporción a ella; a este comportamiento se le llama elástico lineal. Si se retira la carga, la probeta recupera su longitud y forma originales de manera elástica, como una banda de hule cuando se estira y se suelta. En las figuras 9 y 10 se muestra una secuencia típica de deformación del espécimen de ensayo de tensión.

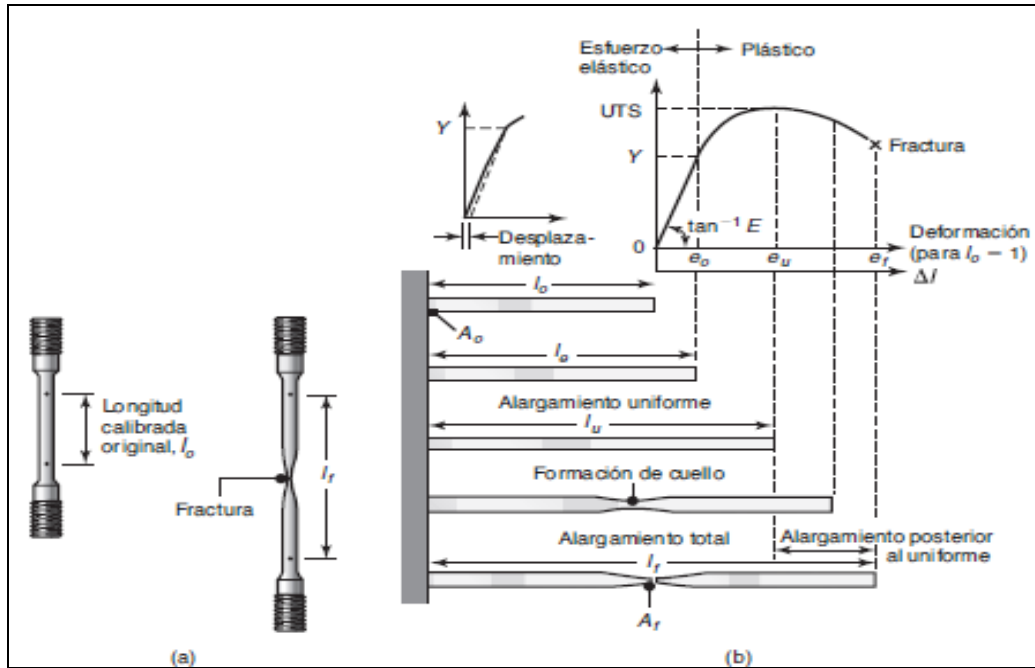


Figura 9: Probeta para ensayo de tracción, (a) Probeta estándar de tensión antes y después de la tracción, (b) Secuencia de ensayo de tensión.
Fuente: Kalpakjain, S. - Schmid, S.R (2.008).

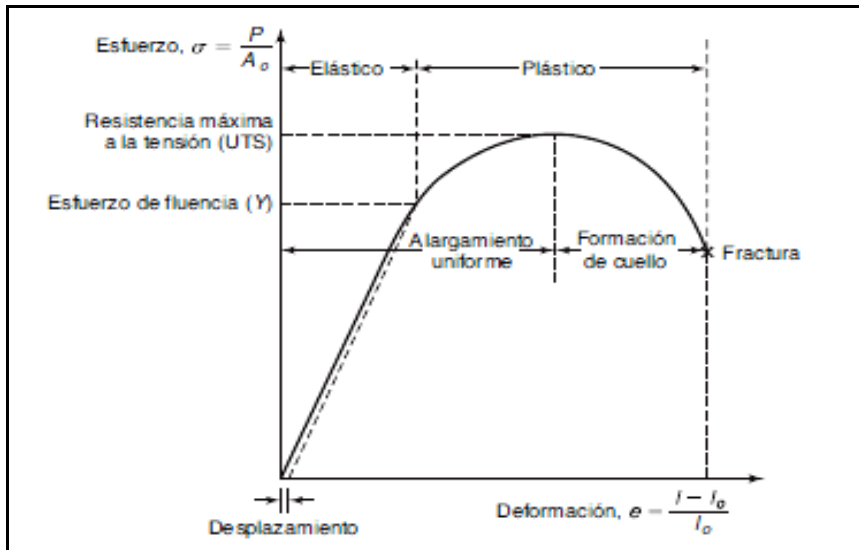


Figura 10: Curva típica esfuerzo-deformación obtenida de un ensayo de tensión, que muestra varias características.
Fuente: Kalpakjain, S.- Schmid, S.R (2.008).

2.2.14 Ensayo Charpy

El ensayo Charpy se puede definir como un ensayo de choque que determina la absorción de energía en la rotura de los materiales. El ensayo consiste en aplicar rápidamente un golpe a una probeta con entalladura, con una masa en movimiento, con la suficiente energía cinética para romper o deformar la barra; los resultados se expresan corrientemente en función de la energía absorbida por unidad de área de la sección transversal, que se mide por la pérdida de energía cinética de la masa en movimiento.

Este ensayo utiliza la inercia, y todas las formas del ensayo dependen de la oscilación pendular. La altura desde que cae el péndulo mide su energía en el punto más bajo. En este momento choca con la probeta, la rompe y continúa su oscilación hacia arriba. La altura que alcanza, entonces, el péndulo depende de la inercia que queda después de romper la probeta, y la diferencia entre esta altura y la altura a que ascendería sin probeta mide la energía necesaria para romperla, que expresada en kilogramos expresa el valor de choque de la probeta. La energía absorbida en el ensayo Charpy, se calcula mediante la ecuación:

$$\tau = P(h - h')g = Pl(\cos\beta - \cos\alpha)g \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

τ : es la energía empleada en la rotura en Joules (J)

P : es la masa del péndulo en kilogramos (kg)

g : es la gravedad (9,81 m/s²)

h : es la altura inicial del péndulo (mm)

h' : es la altura final del péndulo (mm)

l : es la longitud del péndulo en metros (mm)

α y β son los ángulos que forma el péndulo vertical antes y después de soltarlo respectivamente. (°)

Para este ensayo se utiliza el péndulo que está compuesto de una masa de peso P que pende de una barra de longitud calculada, suspendida sobre dos apoyos paralelos. Un cuadrante con corredera permite medir el ángulo que alcanza el péndulo, después de romper la probeta, ubicada en el punto inferior del recorrido de la masa del péndulo, como se observa en la figura 11.

La probeta se sitúa sobre dos apoyos angulares que la sostienen por sus extremos. La ranura de la probeta se coloca en la dirección contraria de aquella desde la cuál ha de recibir el golpe fijo de la masa del péndulo. La probeta está en contacto con la masa del péndulo cuando éste está en su posición vertical de suspensión.

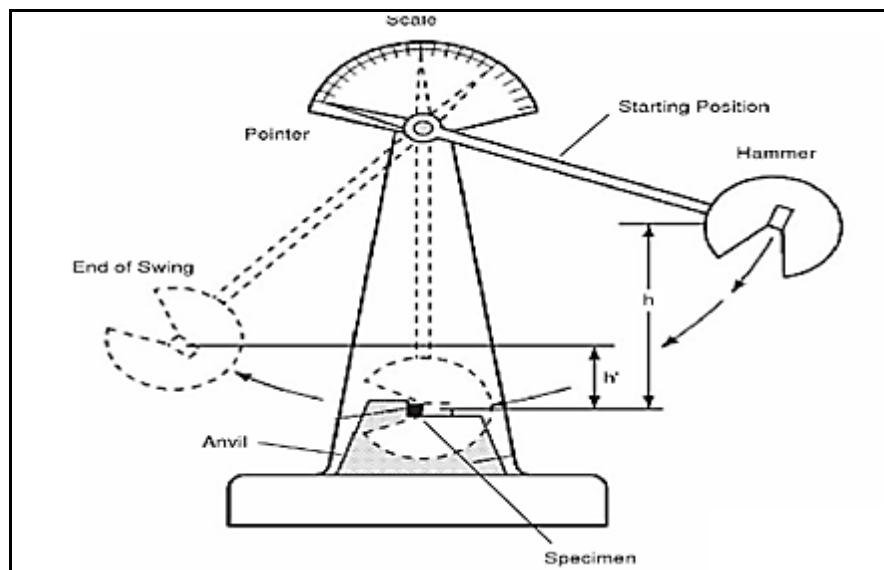


Figura 11: Péndulo Charpy.
Fuente: Campbell. (2.010).

Las probetas Charpy pueden ser de dos tipos según la entalla:

Entalla en V: entalla en forma de V, de 2 mm de profundidad y con un ángulo de 45° entre las caras de la entalla. El fondo de la entalla tiene un radio de 0,25 mm, (Ver figura 12). Este tipo es muy habitual en los ensayos Charpy.

Entalla en U: entalla en forma de U, de 5 mm de profundidad y 2 mm de ancho practicada en el centro de la probeta. El fondo de la entalla tiene un radio de 1 mm (Ver figura 13).

La probeta tiene forma de paralelepípedo con una longitud nominal de 55 mm y una sección variable. Cuando la entalla es de tipo U, la sección de la probeta es cuadrada y de 10 mm de lado. Cuando es de tipo V, la sección puede ser cuadrada de 10 mm de lado o rectangular con 10 mm de altura y 7,5 o 5 mm de anchura.

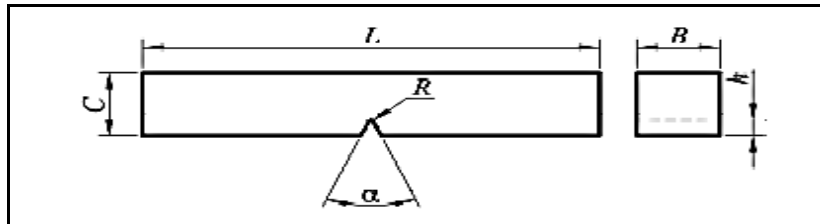


Figura 12: Probeta Charpy con entalladura en V.

Fuente: Campbell. (2.010).

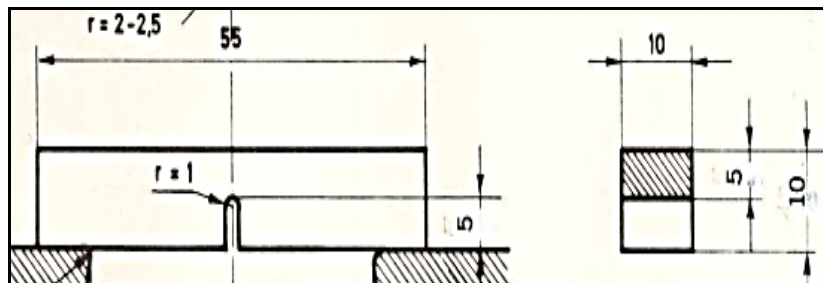


Figura 13: Probeta Charpy con entalladura en U.

Fuente: Campbell. (2.010).

2.2.15 Ensayo de dureza

Se entiende por dureza de un material a la resistencia que opone el material a su deformación plástica permanente superficial por rayado o penetración. Siempre se cumple que la dureza de un material resulta inversamente proporcional a la huella que queda en su superficie al aplicarle una fuerza.

En este sentido, se puede definir también a la dureza de un material como aquella propiedad de la capa superficial del material de poder resistir toda deformación elástica, plástica o destrucción debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (llamado indentador o penetrador, figura 14), más duro, de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto.

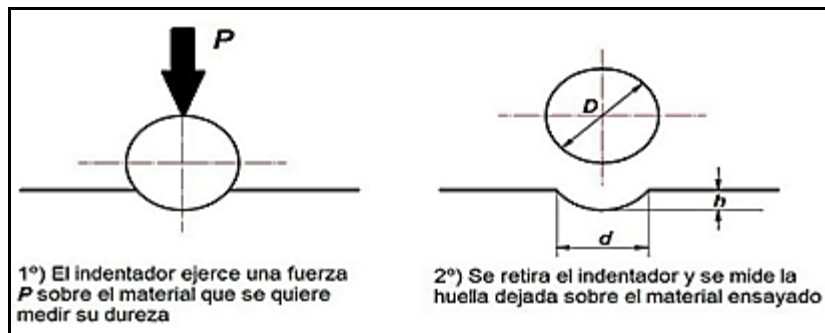


Figura 14: Identador para ensayo de dureza.

Fuente: Giner, E. (2.017).

De la anterior definición de dureza se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- 1) La dureza, por definición, es una propiedad de la capa superficial del material, y no es una propiedad del material en sí.
- 2) Los métodos de dureza por indentación presuponen la presencia de esfuerzos de contacto, y por lo tanto, la dureza puede ser cuantificada dentro de una escala.
- 3) En todo caso, el indentador o penetrador no debe sufrir deformaciones residuales durante el ensayo de medición de la dureza del cuerpo que se esté ensayando.

Ensayo de dureza Brinell

La norma ASTM E 10-78 define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, llamada durómetro, se fuerza una bola fabricada de un acero templado extraduro de un diámetro (D) determinado (función del espesor de la probeta a ensayar), y bajo unas condiciones específicas, contra la superficie del material que se quiere calcular su dureza, mediante la aplicación de una fuerza (P) durante un tiempo (t) dado.

Como resultado del ensayo aparecerá una huella que tendrá forma de casquete esférico de diámetro (d) en la superficie de la probeta ensayada. El valor que hay que medir en el ensayo es precisamente este diámetro (d) del casquete que se forma en la superficie del material. La dureza Brinell (HB) viene definida entonces por la siguiente expresión:

$$HB = P / S \quad \text{Ec. 6}$$

Siendo (S) la superficie de la huella que queda sobre la probeta del material ensayado, que suele resultar con forma de casquete esférico, como se ha dicho. La fuerza (P) de la expresión anterior se expresa en kp (kilopondios) y la superficie de la huella (S) en mm².

El indentador empleado en el ensayo es una bola de acero templado, o bien, una bola de carburo de tungsteno para ensayar materiales más duros cuya dureza Brinell se presuponga que vaya a resultar superior a los 400 HB. El tamaño de la bola indentadora se elegirá en función del espesor de la probeta a ensayar. En la siguiente tabla se indican los diámetros (D) de la bola indentadora en función del espesor de la probeta. La Figura 15 muestra los diámetros de las bolas para dureza Brinell.

Espesores de la muestra (mm)	Diámetro de la bola, D (mm)
Mayor de 6 mm	10
Entre 3 y 6 mm	5
Menor a 3 mm	2,5
	1,25
	0,625

Figura 15: Diámetro de indentadores para dureza Brinnell.

Fuente: Groover, M. (1.997).

Una vez determinado el diámetro (D) de la bola indentadora que hay que utilizar en el ensayo haciendo uso de la tabla anterior, se pasa a determinar el valor de la carga (P) que hay que aplicar. Para la ejecución del ensayo, al principio esta carga se hace aumentar lentamente hasta alcanzar el valor determinado y se mantiene así constante durante un cierto tiempo (t), cuyo valor se verá más adelante cómo calcularlo.

El valor de la carga (P) a aplicar sobre la probeta de ensayo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$P = K \cdot D^2 \quad \text{Ec. 7}$$

siendo D el diámetro de la bola indentadora y K una constante que depende del tipo de material a ensayar. En la Figura 16 se indican los valores usuales de esta constante para distintos materiales.

Material	K
Hierro y aceros	30
Cobre, bronce, latón	10
Aleaciones ligeras	5
Estaño y plomo	2,5
Metales muy blandos	1,25 – 0,5

Figura 16: Diámetro de indentadores para dureza Brinnell.

Fuente: Groover, M. (1.997).

Por último, sólo falta determinar el tiempo (t) durante el cual hay que aplicar la carga en el ensayo. Este tiempo (t) también dependerá del material de la probeta a ensayar, de manera que conforme más blando sea el material a ensayar más tiempo de aplicación de la carga resultará. En la Figura 17 se indican los tiempos (t) de duración del ensayo en función del material a ensayar.

Material	Tiempo, t (seg)
Hierro y aceros	10 a 30
Cobre, bronce, latón	30
Aleaciones ligeras	60 a 120
Estaño y plomo	120
Metales muy blandos	120

Figura 17: Tiempo de aplicación de la carga para ensayo Brinnell.

Fuente: Groover, M. (1.997).

En la práctica se utiliza la siguiente formulación de trabajo más simplificada para determinar la dureza Brinnell

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

P: carga a utilizar en el ensayo, medida en kp.

D: diámetro de la bola (indentador) medida en mm.

d: diámetro medio de la huella creada en la superficie de la probeta, mm.

Ensayo de dureza Vickers

El ensayo Vickers se recomienda especialmente para determinar la dureza de materiales muy duros, con valores de dureza superiores a 500 HB. Para materiales con una dureza inferior, se recomienda emplear el ensayo de dureza Brinell.

En todo caso, el ensayo Vickers se considera una mejora del ensayo de dureza Brinell, en tanto en cuanto permite ensayar materiales con superficies no planas, con espesores más pequeños, además de permitir la medida de todo tipo de dureza.

En el ensayo Vickers se emplea como elemento indentador una pirámide regular de diamante (ver figura 18), de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136° . En la penetración del indentador contra la probeta, éste dejará una impresión cuadrada sobre el material de la probeta, que resulta más fácil de medir (más precisa) en este tipo de ensayo. La carga que se utiliza para presionar el indentador contra la probeta oscila entre 1 y 120 Kp, empleándose principalmente valores de carga de 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 120 Kp. No obstante, la carga más empleada es de 30 Kp.

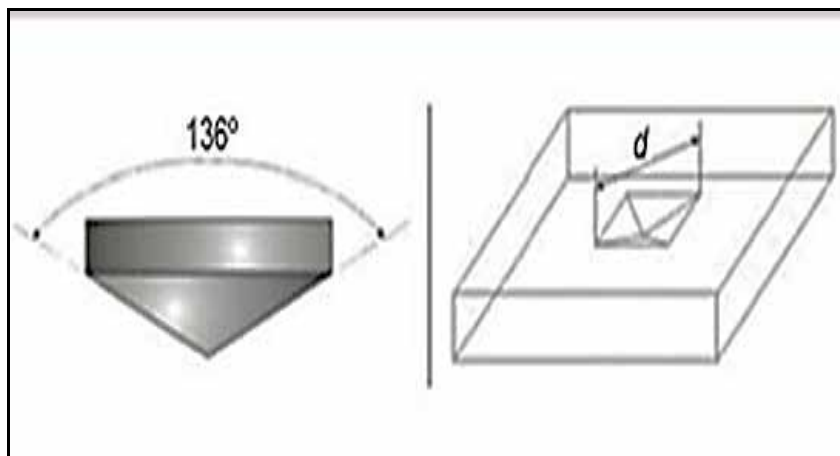


Figura 18: Identador para dureza Vickers

Fuente: Giner, E (2.017)

Por otro lado, el tiempo de aplicación de la carga durante el ensayo Vickers oscilará entre 10 y 30 segundos, siendo 15 segundos el tiempo más empleado para la duración del ensayo.

Una vez realizado el ensayo, se miden las diagonales de la impresión cuadrada que resulta sobre la superficie de la probeta ensayada y se calcula el promedio (media aritmética) de las medidas obtenidas. El valor numérico de la dureza Vickers (HV) se obtiene dividiendo la carga P (kp) aplicada entre la superficie de la huella S (mm²) dejada sobre la probeta:

$$\mathbf{HV = P / S = 1,854 \cdot P / d^2} \qquad \text{Ec. 9}$$

siendo,

P: carga aplicada en el ensayo (Kp)

S: superficie de la huella (mm²)

d: valor promedio de la diagonal de la huella impresa en la probeta (mm).

Ensayo de dureza Rockwell

El ensayo Rockwell es quizás el método más extendido, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es un modelo de ensayo apto para ser empleado en todo tipo de materiales.

Este método de cálculo de la dureza se basa también en la medición de la profundidad de penetración de una determinada herramienta (indentador) en el material bajo la acción de una carga prefijada. Se suele considerar también un ensayo no destructivo, por el pequeño tamaño de la huella que deja sobre la superficie del material ensayado.

El número de la dureza Rockwell (HR) se mide en unidades convencionales y es igual al tamaño de la penetración sobre cargas determinadas.

En el ensayo Rockwell, como herramienta indentadora se va a emplear un tipo u otro en función de la dureza del material a ensayar, debiéndose consultar las correspondientes tablas Rockwell para su elección, según el caso. De manera genérica, se tendrá que:

- Para materiales duros ($HB > 200$): se empleará como indentador un diamante en forma de cono de 120° de punta redondeada y radio de 0,2 - 0,01 mm.
- Para materiales blandos ($HB < 200$): se empleará como indentador una bola de acero templado de 1/8" y 1/16", y también de 1/2" y 1/4 ".

2.2.16 Ensayo de doblado

El ensayo de doblado también conocido como plegado nos permite conocer la capacidad de deformación de un material al ser doblado con el fin de prevenir roturas al ser sometido a una carga sin agrietarse.

El ensayo de doblado se aplica en frío o en caliente para chapas, cintas, alambres y tubos, con objeto de determinar la capacidad del metal de soportar el doblado hasta un ángulo requerido, hasta que los dos planos sean paralelos, o hasta la coincidencia de las caras. Después de pasar el ensayo las probetas no han de tener grietas.

Este método nos permite conocer la plasticidad de los diferentes materiales metálicos y como consecuencia conocer la forma en que se puede trabajar con ellos.



Figura 19: Descripción del ensayo de doblado

Fuente: Kalpakjain - Schmid, S. (2.008)

El ensayo de plegado descrito en la figura 19, se realiza colocando la probeta sobre dos apoyos (rodillos), cuya separación está normalizada. Se aplica luego una

fuerza con otro rodillo que va aumentando progresivamente hasta que el material se dobla completamente o comienzan a aparecer las primeras grietas.

El ensayo de doblado alternativo (ver figura. 20) de las chapas finas y alambres se efectúa en frío. La probeta a ensayar se fija en un tornillo de banco y se somete al doblado en dos direcciones perpendiculares hasta que se rompe la probeta. El número de alternancias indica la capacidad de un material para servir en distintas aplicaciones.

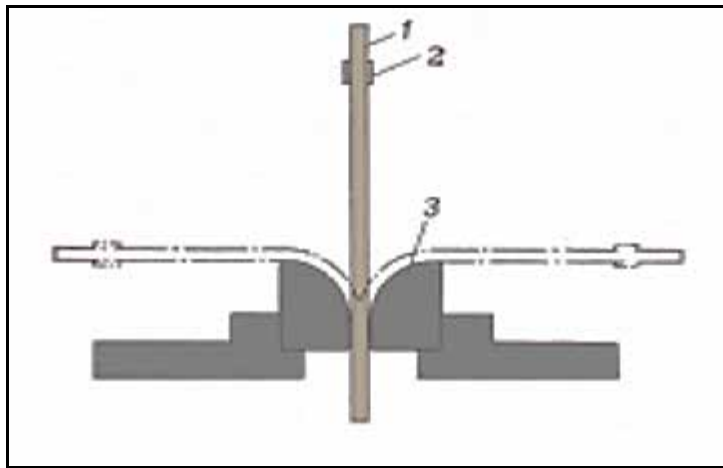


Figura 20: Ensayo de doblado alternativo

Fuente: Kalpakjain - Schmid, S. (2.008)

La carga o fuerza de doblado (F) se puede determinar por medio de la Ec. 10, en donde ésta viene en función de b que es el ancho del material a doblar en mm, L que

la resistencia a la fluencia del material a tracción en Kg/mm^2 σ_d que es la tensión de trabajo a la flexión en kg/mm^2 necesarios para la deformación permanente ($\sigma_d = 2$ f).

$$F = \frac{2 \times \sigma_d \times b \times t^2}{3 \times L}$$

Ec. 10

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Para llevar a cabo este proyecto se establecieron los niveles de investigación del mismo, y de esa forma se definió el grado de profundidad con el que se abordó la investigación para responder al problema planteado de forma adecuada. Este proyecto presentó un nivel de investigación de tipo exploratorio-descriptivo, ya que según Arias F. (2.012) “la investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos, y la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de conocer su estructura”. En esta investigación, se pretende conocer, por medio de ensayos de laboratorio el comportamiento que presenta una aleación de aluminio comercial con espesor de 12,7 mm.

Por otra parte, también existió un enfoque de tipo explicativo, ya que según Arias F. (2.012) dicho enfoque se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Debido a esto, se dio respuesta a una interrogante.

3.2. Nivel de la investigación.

La investigación es de carácter descriptivo, como se explicó anteriormente, ya que se caracterizará la muestra de aluminio con la finalidad de conocer su comportamiento mecánico, microestructuras y composición química que posee dicha aleación y posteriormente compararlas con las especificaciones que presenta el Metal Handbook de la ASM, a fin de definir cuál es realmente la aleación que se tiene en el estudio.

3.3 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación corresponde a una investigación experimental, que según Arias F. (2.012) “es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. Es por eso que esta investigación es un diseño experimental de laboratorio debido a que se realizarán ensayos que permitirán determinar el comportamiento mecánico, la microestructuras y la composición química de la muestra de aluminio. Para el diseño de los ensayos requeridos, se elaboraran 24 (veinticuatro) probetas discriminadas tal y como se explica en la tabla 1.

3.4 Población y Muestra.

Según Arias F. (2.012): “la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuáles serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. Tomando esto de referencia se tiene que la muestra es un grupo que será seleccionado en la zona de estudio del proyecto que representara a la población total.

La población de este trabajo estará conformada por una plancha de aluminio AA60XX, y, la muestra está constituida por 24 probetas, las cuales se prepararan de acuerdo a las normas establecidas en la tabla 1.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Arias (2.012) afirma:

“Una vez efectuada la operacionalización de las variables y definidos los indicadores, es hora de seleccionar las técnicas e instrumentos de recolección de datos pertinentes para verificar las hipótesis o responder a las interrogantes formuladas. Todo en correspondencia con el problema, los objetivos y el diseño de Las técnicas que se emplearon para recolectar la información fueron bajo observación directa, y la data de los ensayos destructivos y no destructivos.”

3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.

Una vez organizados los datos obtenidos de cada ensayo, se procede a aplicar técnicas de procesamiento de datos tales como tablas, imágenes y gráficos con el fin de determinar las tendencias de la información registrada, se realizaron comparaciones para establecer de esta manera las diferencias que presentaron cada muestra.

El procesamiento y análisis de estos datos estará dado de acuerdo a las normas que se mencionaron en la tabla 1 y en el procedimiento experimental, referidas a cada ensayo o pruebas realizadas. Estas normas refieren parámetros y guías.

3.7 Fases de Desarrollo de la Investigación

El desarrollo de la presente investigación está comprendido por una serie de fases que permitirán dar respuesta a los objetivos planteados en un determinado orden, brindando al investigador una herramienta para la planificación y mejor aprovechamiento del tiempo dedicado al proyecto.

Fase 1: Caracterizar la aleación de aluminio a estudiar en cuanto a sus propiedades mecánicas, esto es, tracción, dureza, microestructura y composición química.

Una vez que se obtuvieron las láminas de la aleación de aluminio, se procedió a hacerle su caracterización con la finalidad de conocer su comportamiento mecánico, microestructuras y composición química para posteriormente compararla con las especificaciones que presenta el Metal Handbook de la ASM, a fin de definir cuál es realmente la aleación de aluminio que se tiene en el estudio.

Preparación de probetas para tracción

Las probetas se diseñaron para este ensayo bajo la norma ASTM B557 como lo presenta la figura 21. Este ensayo se efectuará, haciendo uso de un equipo de ensayos universal, fijando una carga máxima de 4000 kgf y a una velocidad de 10 mm/min. La figura 22 muestra el equipo utilizado para realizar este ensayo.

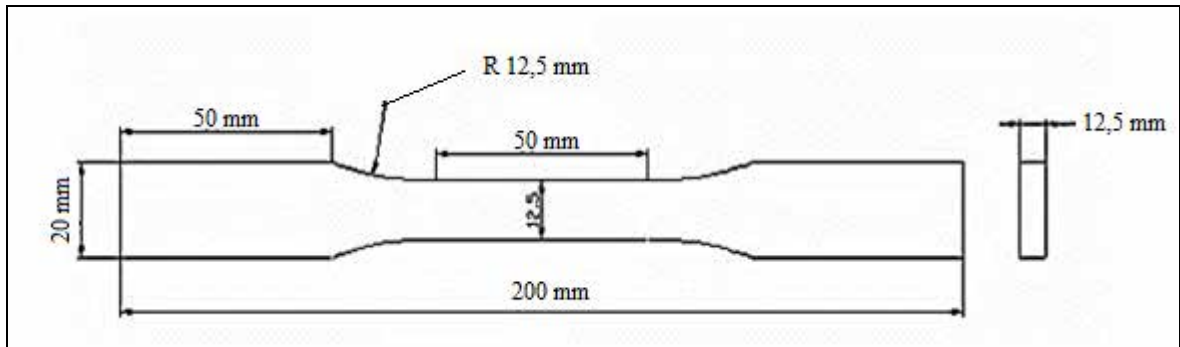


Figura 21: Dimensiones de las probetas de tracción según la norma ASTM B557

Fuente: Peroza F. (2.018)



Figura 22: Máquina de ensayo de tracción YUE HUA TEC MC 19000030 CO.LTD

Fuente: Laboratorio de Calidad Empresa ALCAVE, C.A.

Análisis de dureza

Primero se efectuará el ensayo de microdureza Vickers según lo especificado en la norma ASTM E384-99. Para la lectura de la microdureza en las probetas, se aplicará una carga de 50 gramos durante 5 segundos, haciendo uso del penetrador o Identador de diamante de forma piramidal de base cuadrada, con ángulo en el vértice de 136°, marca Buehler. Se realizaron 8 indentaciones a cada probeta (dos en la sección transversal, dos en la sección lateral y cuatro en el plano superior) para luego promediar los valores y tener un valor de la microdureza de la aleación. La figura 23 muestra las zonas estudiadas para el ensayo de dureza. La figura 24 presenta el equipo utilizado para realizar el ensayo de microdureza Vickers.

Para complementar el estudio, se procederá a medir también la dureza Rockwell H y Brinell (INCE Metalminero, Maracay), que es la escala comúnmente utilizada para el aluminio y sus aleaciones. Para estos dos últimos casos, solo se tomaran las 8 mediciones en la cara superior de las probetas. La figura 25 presenta el equipo utilizado para realizar los ensayos de dureza Rockwell H y Brinell.

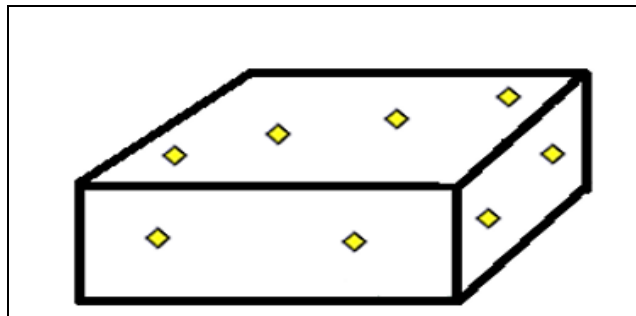


Figura 23: Distribución de las zonas para el ensayo de microdureza Vickers
Fuente: Peroza F. (2.018)



Figura 24: Microdurómetro Buehler.
Fuente: Peroza F. (2.018)



Figura 25: Durómetro marca CENSAUR RB2
Fuente: Peroza F. (2.018)

Caracterización metalográfica

Como se ha planteado en los objetivos del presente trabajo, la investigación está relacionada con la identificación de una aleación de aluminio (AA60XX) con espesor de 12,7 mm. Las probetas fueron preparadas para su observación en microscopía óptica según la norma ASTM E3-01 y el procedimiento para el ataque de la superficie se basó en la norma ASTM E407-99.

Análisis químico

Este ensayo se realizó para saber la composición química de la aleación de aluminio según lo establece la norma ASTM E1251 (método de prueba estándar para el análisis de aluminio y aleaciones de aluminio por chispa, espectrometría de emisión por chispa). Se tomó una muestra de 50mm x 50mm, estas medidas se utilizaron para tener mejor manipulación de la muestra ya que la norma ASTM E-1251 especifica que el espécimen de aluminio para ser analizado puede ser de forma de un disco de enfriamiento del molde, papel, hojas, láminas, extrusión o alguna otra forma o forjado.

Los valores del porcentaje en peso de cada elemento de aleación que presenta la muestra analizada, sería comparada con los valores teóricos que definen el Metal Handbook de la ASM y catálogos de empresas dedicadas al ramo de diversas

aleaciones de aluminio y así determinar cuál es la aleación ensayada. La figura 26 muestra al equipo utilizado para llevar a cabo este ensayo.



Figura 26: Espectrómetro de emisión óptica marca METEK- SPECTROMAXx
Fuente: Laboratorio de Fundición, empresa EXTRUDAL, C.A. (2.018)

Fase 2: Determinar por medio del ensayo de doblado las cargas de inicio de deformación y la carga máxima durante la deformación, así como los esfuerzos.

El diseño de las probetas para el ensayo de doblado se realizó según la norma ASME sección 9 QW – 462.3. La figura 27 muestra las dimensiones de las probetas utilizadas para ensayo de doblado. Cabe destacar que solo varió fue el espesor, pero el ancho y largo de las probetas se mantuvieron para ambas aleaciones.

Este ensayo se debe practicar con una prensa hidráulica donde se aplica una carga sobre la probeta, deformándola hasta que ésta tomara la forma del punzón. Se realizaran tres probetas de doblado. Se pedirá la colaboración al laboratorio de procesos de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo, para utilizar la prensa hidráulica y la matriz de doblado. La finalidad de hacer este ensayo es para conocer el esfuerzo de inicio y finalización de la deformación por doblado, lo cual es importante para la empresa que facilitó el material.

La figura 28 muestra un esquema del doblado con tres puntos de apoyo.

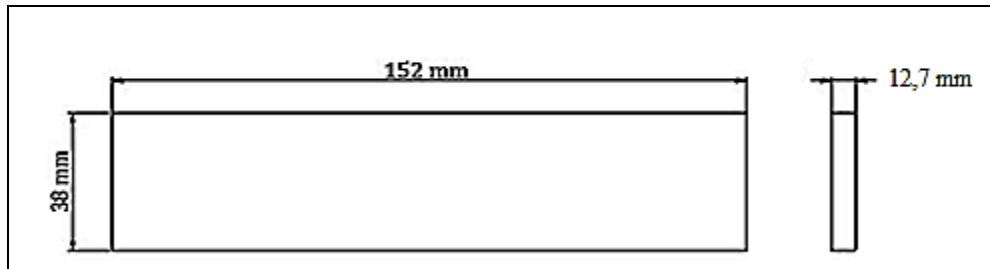


Figura 27: Probeta para el ensayo de doblado.

Fuente: Peroza F. (2.018)

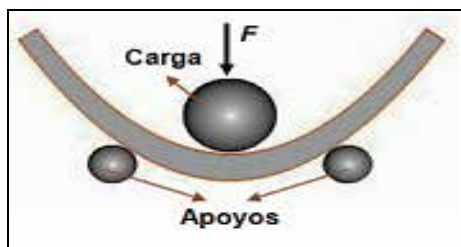


Figura 28: Representación del ensayo de doblado con tres puntos de apoyo.

Fuente: Kalpakjain, S.-Schmid, S.R. (2.008)

Fase 3: Analizar por medio de ensayos de impacto Charpy la energía de impacto que puede absorber dicha aleación de aluminio a temperatura ambiente.

La prueba de impacto Charpy se efectuó solicitando la colaboración del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, que posee un equipo de ensayo Charpy marca KARL FRANK GMBH, tipo 580 M, número 85, cuya longitud de péndulo es de 0,8 metros, el ensayo se inicia colocando la probeta (ver figura 29) en el sitio indicado por la máquina levantando el péndulo hasta un ángulo de 170 grados respecto a la vertical, siendo éste el máximo ángulo que puede alcanzar el equipo. La norma ASTM E-23 establece que la altura inicial para desarrollar el ensayo debe ser la máxima que alcanza el equipo y luego se deja caer la masa para golpear a la probeta. La masa con la que opera este equipo es de 8 kilogramos, y al estar suspendida a la máxima altura posible, adquiere una energía de 15 kpm. La probeta absorbe parte de la energía que aporta la masa, y luego se flexiona y se rompe. La masa sigue su camino hasta alcanzar un nuevo punto situado en una determinada altura a partir de la cual se regresa y comienza con un

movimiento oscilante hasta que se detiene por medio de un freno. Posteriormente en el equipo se observa el ángulo final alcanzado al igual que la energía que es absorbida por la probeta. Es de hacer notar que la energía leída en el equipo hay que restarle la energía que absorbe el péndulo en vacío, debido a la fricción inherente en el equipo. De esta manera se tiene la energía neta que absorbe la probeta. La figura 30 muestra el péndulo Charpy utilizado en el desarrollo de esta investigación.

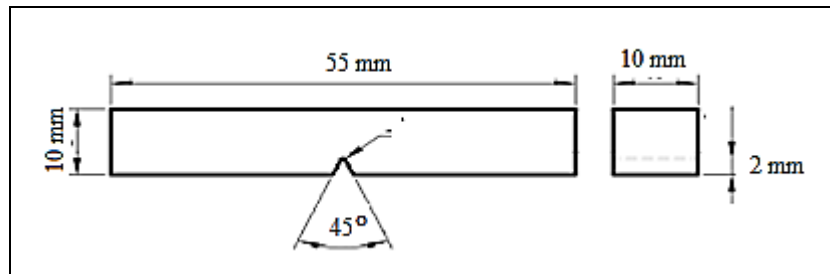


Figura 29: Probeta Charpy con entalladura en V
Fuente: Peroza F. (2.018)



Figura 30: Péndulo Charpy Marca KARL FRANK GMBH, tipo 580 M.
Fuente: Peroza F. (2.018)

Fase 4: Comparar si las propiedades encontradas en la aleación analizada cumple con los requerimientos necesarios para los productos manufacturados por la empresa.

Como se destaca en el planteamiento del problema, las propiedades que debe poseer la aleación estudiada, para ser considerada como apta son las siguientes: un esfuerzo a la tracción máximo no menor a 200 MPa, poseer una deformación máxima mayor al 7%, su dureza Brinell no deber ser menor a 75 HB y la carga máxima en operaciones de doblado o plegado, no debe superar las tres toneladas, que es la capacidad máxima de trabajo que poseen los equipos de la empresa.

Una vez obtenido los esfuerzos máximos para la aleación, se procede a determinar la carga correspondiente a fin de compararla con la capacidad de carga máxima que requiere la empresa EXTRUDAL y así verificar si sus equipos son capaces de plegar y/o doblar dichas aleaciones.

Para determinar la carga de doblado, se hace uso de la Ec. 10 vista en el Capítulo 2, tomando en consideración la configuración de la matriz de doblado y espesores de los materiales, al igual que el esfuerzo de fluencia conseguido en las pruebas de tracción para ambas aleaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Cumpliendo con los procesos metodológicos de esta investigación, se realizaron los ensayos necesarios para la caracterización del material, de allí se obtuvieron una serie de datos, que permitieron, por medio de análisis, comparaciones y observaciones, caracterizar el material y así evaluar el comportamiento mecánico y microestructural de una aleación de aluminio utilizada en la industria manufacturera de puertas y ventanas.

4.1 Caracterización de la aleación de aluminio a estudiar mediante análisis químico y ensayos mecánicos.

4.1.1 Caracterización química de la aleación en estudio.

La realización de este ensayo se logró a través de la Empresa EXTRUDAL, C.A. Luego de haber sometido la probeta al ensayo espectrométrico (ver figura 31), se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 2.

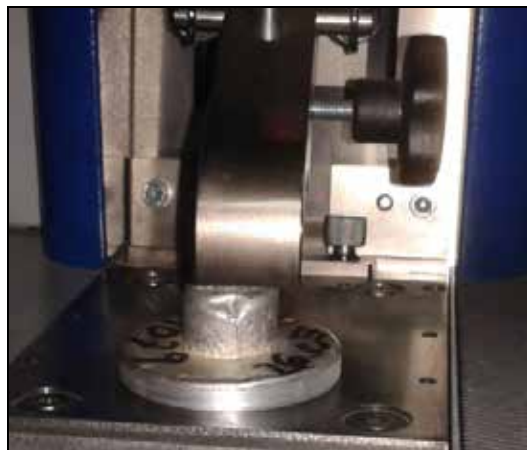


Figura 31: Probeta de ensayo espectrométrico.

Fuente: Laboratorio de fundición en la empresa EXTRUDAL, C.A. (2.018)

Tabla 2: Datos obtenidos del ensayo espectrométrico.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.529	0.244	0.263	0.0243	0.862	0.103	<0.0010	<0.0010
2	0.517	0.242	0.257	0.0242	0.835	0.103	<0.0010	<0.0010
3	0.521	0.261	0.261	0.0243	0.849	0.104	<0.0010	<0.0010
4	0.526	0.259	0.260	0.0239	0.842	0.103	<0.0010	<0.0010
	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Co
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0464	<0.00010	0.0017	<0.00010	<0.0010	0.0031	<0.00010	<0.0010
2	0.0459	<0.00010	0.0013	<0.00010	<0.0010	0.0029	<0.00010	<0.0010
3	0.0533	<0.00010	0.0023	<0.00010	<0.0010	0.0043	<0.00010	<0.0010
4	0.0499	<0.00010	0.0014	<0.00010	<0.0010	0.0027	<0.00010	<0.0010
	Hg	La	Li	Na	P	Pb	Sn	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0023	<0.00050	<0.0010	0.00100	<0.00010	0.0037	<0.00050	<0.00010
2	<0.0020	<0.00050	<0.0010	0.00087	<0.00010	0.0040	<0.00050	<0.00010
3	<0.0020	<0.00050	<0.0010	0.00120	<0.00010	0.0037	<0.00050	<0.00010
4	<0.0020	<0.00050	<0.0010	0.00091	<0.00010	0.0033	<0.00050	<0.00010
	V	Zr	Al	Ga				
	%	%	%	%				
1	0.0101	0.0025	97.9	0.0054				
2	0.0103	0.0025	97.9	0.0054				
3	0.0105	0.0025	97.9	0.0057				
4	0.0103	0.0026	97.9	0.0053				

Fuente: Peroza F. (2.018)

Se ensayaron 4 muestras para la aleación y de los resultados se obtuvo un promedio de la composición química. En la tabla 3 se observa el valor promedio de la aleación estudiada.

El catálogo sobre composición química de Sabater-Fundimol muestra que la aleación en estudio corresponda a una aleación 6061 y su composición química es señalada en la tabla 4. Por otra parte, el Metal Handbook de la ASM, muestra los valores característicos para la aleación de aluminio 6061 y también se puede observar en la tabla 4.

Tabla 3: Promedio de la composición química de la aleación de aluminio en estudio

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
<x>	0.5233	0.2515	0.2603	0.0242	0.8470	0.1033	<0.0010	<0.0010
	Ti	Ag	B	Be	Bi	Ca	Cd	Co
	%	%	%	%	%	%	%	%
<x>	0.0489	<0.00010	0.0017	<0.00010	<0.0010	0.0033	<0.00010	<0.0010
	Hg	La	Li	Na	P	Pb	Sn	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
<x>	0.0020	<0.0010	<0.0010	0.0010	<0.00010	0.0037	<0.00050	<0.00010
	V	Zr	Al	Ga				
	%	%	%	%				
<x>	0.0103	0.0025	97.9	0.0055				

Fuente: Peroza F. (2.018)

Tabla 4: Composición química característica de la aleación de aluminio 6061.

Fuente	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Sabater-Fundimol	0,4 – 0,8	0,7	0,15 – 0,40	0,15	0,8 – 1,2	0,04 – 0,35	0,25	0,10
ASM	0,6		0,27		1	0,2		

Fuente: Peroza F. (2.018)

Como se puede observar, la composición química de la aleación estudiada, se encuentra dentro del rango establecido correspondiente a la aleación de aluminio 6061, según el catálogo consultado en la referencia Sabater-Fundimol (2.017) y según lo especificado en el Metal Handbook de la ASM.

4.1.2 Caracterización por ensayo de tracción

Para la caracterización de la aleación por medio del ensayo de tracción, se practicó la prueba a tres probetas, preparadas según norma ASTM B557-84 (ver figura 32) obteniéndose como resultado sus esfuerzos de fluencia, esfuerzo máximo, esfuerzo de rotura y deformación a la rotura de la aleación. La tabla 5 muestra cada uno de estos valores para las probetas ensayadas, mientras que en la figura 33 se aprecian las curvas características de las distintas probetas ensayadas.



Figura 32: Probetas para ensayo de tracción.

Fuente: Peroza F. (2.018)

Tabla 5: Propiedades a tracción de la aleación de aluminio ensayada.

Probeta	fluencia MPa	máximo MPa	rotura MPa	%
1	138	237	170	16
2	150	244	160	17
3	144	230	143	17
Promedio	144	237	157,6	16,66

Fuente: Peroza F. (2.018)

Al obtener los valores promedios de los esfuerzos de fluencia, máximo y porcentaje de alargamiento, se hizo una comparación exhaustiva con los valores referidos en el ASM Handbook, en el cual se pudo observar que los valores encontrados en la aleación en estudio, se aproximan con un margen mínimo de diferencia a los señalados en dicha referencia y que se corresponden a las aleaciones de aluminio 6061-T4-T451 para la aleación estudiada. La tabla 6 muestra los valores especificados en el ASM Handbook para dicha aleación.

Tabla 6: Propiedades mecánicas de la aleación 6061 con tratamientos T4 y T6

Aleación	fluencia MPa	máximo MPa	%
6061 T4-T451	145	240	22
6061 T6-T651	255	290	12

Fuente: Peroza F. (2.018)

La figura 33 muestra la curva de esfuerzo-deformación, construida en excel utilizando los datos obtenidos en el ensayo de tracción que se muestran en la tabla 5.

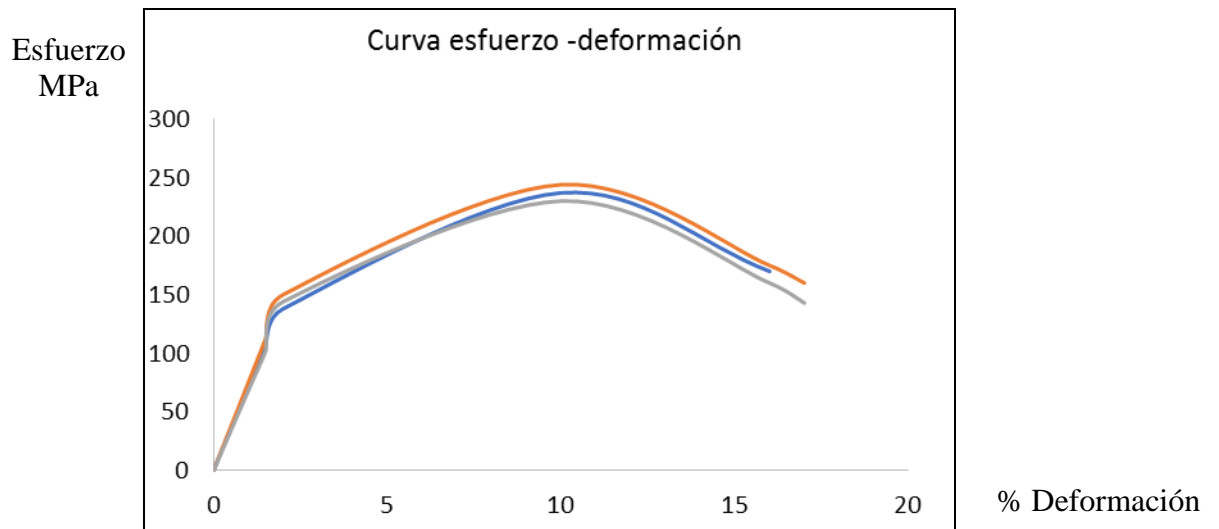


Figura 33: Curvas esfuerzo deformación para la aleación estudiada

Fuente: Peroza F. (2.018)

Como se puede observar, los valores de esfuerzos de fluencia y máximo de la aleación estudiada, están muy próximos a los valores referenciados por la ASM, mientras que en la elongación máxima hay una discrepancia, pero que puede ser admisible dentro de los parámetros aceptables.

4.1.3 Determinación de la dureza de las aleaciones de aluminio

La dureza de la aleación se determinó a fin de verificar sus valores y así comprobar si también se mantiene la tendencia esperada. A pesar de que en el alcance de esta investigación se definió que se realizaría ensayo de microdureza. Para el aluminio y sus aleaciones es común obtener su dureza en las escalas Brinell y Rockwell H, mientras la microdureza Vickers prácticamente no es utilizada. La Rockwell H es una de las escalas de dureza comúnmente utilizadas para el aluminio y sus aleaciones.

Para la microdureza Vickers se utilizó el equipo perteneciente al Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo, aplicando una carga de 60 gramos mientras que para la dureza Rockwell H se utilizó el durómetro del INCE Metalminero, ubicado en Maracay estado Aragua, en el cual se utilizó una precarga de 60 kgf y un diámetro de bola del Identador de 1/16". Para

la dureza Brinell se utilizó un diámetro de bola de 10 mm y una carga de 500 kgf, según norma ASTM E-10. La tabla 7 muestra los valores de las ocho indentaciones que se le hicieron a dos muestras de la aleación, en las diferentes escalas de dureza.

Tabla 7: Valores obtenidos de la Microdureza Vickers.

Probeta	Microdureza Vickers (HV)								
	Id1	Id2	Id3	Id4	Id5	Id6	Id7	Id8	Promedio
1	45,2	47,0	46,5	46,6	45,8	45,6	47,7	46,8	46,4
2	47,7	48,1	48,6	49,2	49,2	48,8	49,2	49,7	48,81
Probeta	Dureza Rockwell (H)								
	Id1	Id2	Id3	Id4	Id5	Id6	Id7	Id8	Promedio
1	98,5	99	97,7	100	99,7	98,7	99,7	99,2	99,06
2	99	98,5	100	97,7	99,7	99,2	100	99,7	99,23
Probeta	Dureza Brinell (HB)								
	Id1	Id2	Id3	Id4	Id5	Id6	Id7	Id8	Promedio
1	62,5	62,7	63,2	63,1	63,2	63,1	62,5	62,8	62,89
2	62,7	62,6	63,1	62,8	63,1	63,2	62,7	63,1	62,91

Fuente: Peroza F. (2018)

A pesar de que micro estructuralmente se pudo inferir que la aleación corresponde a una aleación de la serie 6061, existen divergencias en los valores de dureza, por tal razón se puede deducir que las propiedades mecánicas de la aleación, pudieran variar por el tiempo de servicio o por un tratamiento desconocido.

4.1.4 Caracterización metalográfica

La caracterización metalográfica se realizó una vez preparadas las muestras según lo descrito en el capítulo anterior. Este ensayo se llevó a cabo según la norma ASTM E-340 en donde las probetas fueran sometidas a un ataque químico con el reactivo

denominado Tuckers (Ver ANEXO F) durante 15 segundos para revelar los granos y microestructuras presentes, a temperatura ambiente, el cual fue aplicado mediante la frotación de la superficie con un hisopo mojado en la mezcla de ácidos.

A continuación, se presentan las micrografías obtenidas en las dos (2) probetas.

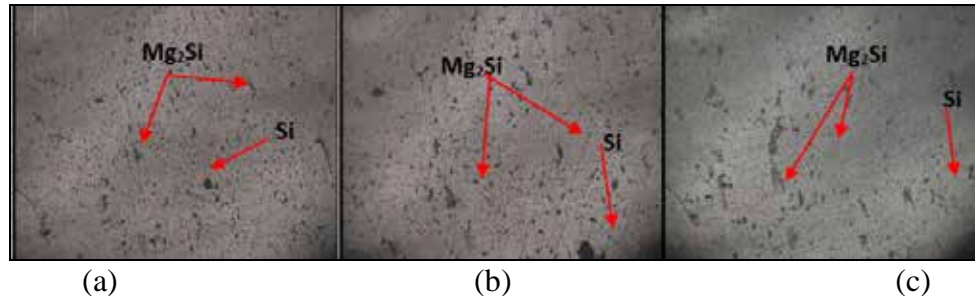


Figura 34: Microscopía de la probeta 1 de la aleación de aluminio en estudio. (a) 100 X. (b) 200 X y (c) 400 X
Fuente: Peroza F. (2018)

En las micrografías de la probeta 1 se observan precipitados de siliciuros de magnesio (Mg_2Si) caracterizados por formaciones alargadas dentro de la matriz al igual que precipitados de silicio (Si) los cuales vienen definidos por formaciones globulares dentro de la matriz. Estas formaciones son típicas de los aluminios al magnesio – Silicio, característicos de los aluminios de la serie 6000 así como también de la aleación 2024. La distribución de estos precipitados es uniforme a lo largo de las muestras ensayadas, por lo que se puede inferir que las propiedades del material son uniformes en toda la muestra.

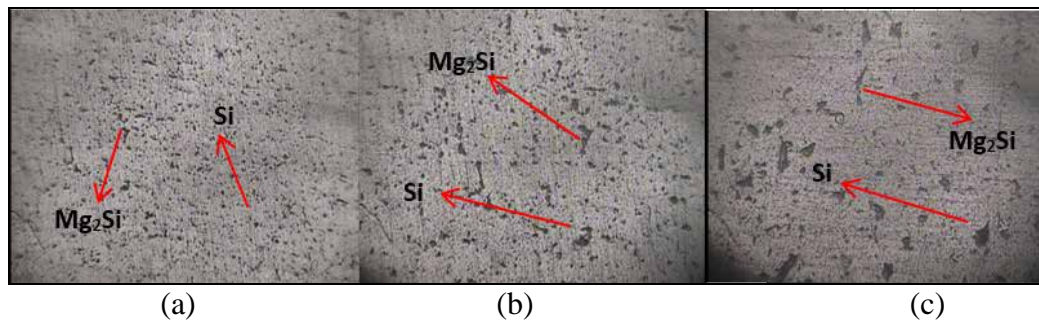


Figura 35: Microscopía de la probeta 2 de la aleación de aluminio en estudio. (a) 100 X. (b) 200 X y (c) 400 X
Fuente: Peroza F. (2018)

La muestra 2 presenta una concentración similar de los precipitados de siliciuro de magnesio y de silicio a lo largo de toda la matriz en comparación de la muestra 1. Al comparar con las micrografías presentadas en el ASM Metals Handbook vol 9, Metallography_and_Microstructures, se puede apreciar la similitud que se encuentra con la aleación 2024-0 y también con aleaciones de la serie 6000.

4.2 Determinar por medio del ensayo de doblado las cargas de inicio de deformación y la carga máxima durante la deformación, así como los esfuerzos.

Con este ensayo de doblado guiado con tres puntos de apoyo se pretende conocer las cargas de inicio de deformación y carga máxima durante la deformación. Para ello se hizo uso de la matriz de doblado guiado con tres puntos de apoyos perteneciente a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo y que fue mostrado en el Capítulo 3.

También se hizo uso de una prensa hidráulica de la misma Escuela de Ingeniería Mecánica y en la cual se pudo conocer los esfuerzos de inicio de la deformación y el esfuerzo máximo al cual fueron sometidas las aleaciones durante el ensayo. La figura 36 muestra las probetas dobladas una vez concluido el ensayo.



Figura 36: Probetas de doblado de la aleación de aluminio en estudio

Fuente: Peroza F. (2018)

A continuación, en la tabla 8 se muestran los esfuerzos de inicio de deformación y los esfuerzos máximos alcanzados durante el ensayo de doblado.

Tabla 8: Esfuerzos de doblado en las muestras de aluminio

	Esfuerzo de Inicio de deformación (Psi)	Esfuerzo máximo (Psi)
1	936	1966
2	960	1943
3	915	1928
4	903	1934
5	912	1941
6	974	1940
Promedio	933,38	1942

Fuente: Peroza F. (2018)

En resumen, la tabla 9 se muestra los valores promedio en Psi y en MegaPascal (MPa) de los esfuerzos al inicio de la deformación y máximo del doblado.

Tabla 9: Resumen de los esfuerzos promedio al inicio y máximo durante el ensayo de doblado.

Esfuerzo al inicio de deformación		Esfuerzo máximo	
Psi	MPa	Psi	MPa
933,38	6,43	1942	13,38

Fuente: Peroza F. (2018)

Una vez obtenido los esfuerzos máximos para cada aleación, se procede a determinar la carga correspondiente a fin de compararla con la capacidad de carga máxima que requiere la empresa y así verificar si sus equipos son capaces de plegar y/o doblar dichas aleaciones.

Como se mencionó en el planteamiento del problema, las propiedades que debe poseer la aleación en estudio, para ser consideradas como aptas son las siguientes: un esfuerzo a la tracción máximo no menor a 200 MPa, poseer una deformación máxima

mayor al 7%, su dureza Brinell no deber ser menor a 75 HB y la carga máxima en operaciones de doblado o plegado, no debe superar las tres toneladas, que es la capacidad máxima de trabajo que poseen los equipos de la empresa.

Para determinar la carga de doblado, se hace uso de la Ec. 10 vista en el Capítulo 2, tomando en consideración la configuración de la matriz de doblado y espesores de los materiales, al igual que el esfuerzo de fluencia conseguido en las pruebas de tracción para ambas aleaciones.

$$F = \frac{2 \times \sigma_d \times b \times t^2}{3 \times L} \quad \text{Ec. 10}$$

La tabla 10 muestra los parámetros necesarios para determinar las cargas de doblado promedio requeridas para cada aleación y la carga de doblado promedio que se utilizó durante los ensayos respectivos.

Tabla 10: Carga de doblado para la aleación en estudio

Parámetro	Aleación
σ_y MPa (kgf/mm ²)	144 (14,68)
σ_d MPa (kgf/mm ²)	288 (29,36)
Ancho b mm	38
Espesor s mm	6,35
Distancia apoyos L mm	100
$\sigma_{m\acute{a}x}$ doblado MPa	13,38
Fuerza doblado F kgf (teórica)	299,91
Fuerza doblado F kgf (ensayo)	329,44

Fuente: Peroza F. (2018)

Como se puede observar de los resultados encontrados durante los ensayos y los resultantes de aplicar el modelo matemático de la Ec. 10, tienen un margen de dispersión muy bajo, por lo que el modelo es bastante preciso a los valores esperados.

Por otra parte, la carga máxima que se encontró durante los ensayos, no supera la capacidad máxima de los equipos de la empresa, lo que ratifica que dicha aleación pueden conformarse según lo requerido para elaborar sus productos.

4.3 Analizar por medio de ensayos de impacto Charpy la energía de impacto que puede absorber dicha aleación de aluminio a temperatura ambiente.

El estudio de la energía absorbida por impacto por medio del ensayo Charpy no se realizó con la finalidad de caracterizar al material sino con la finalidad de conocer la energía promedio que puede absorber dicho material, en caso de que pudiese someterse a cargas de impacto, y de esta forma tener un aporte adicional al presente trabajo de investigación.

Como se mencionó en el capítulo 3, se utilizó el péndulo Charpy perteneciente al Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Carabobo. Inicialmente se dejó caer la masa en vacío para observar cual es la pérdida debido a la fricción en el mecanismo del péndulo y de esta forma restar dicho valor a los valores encontrados durante el ensayo. La energía en vacío de este equipo es de 1,74 joule; dicha energía hay que restarla a la energía que se obtiene durante el ensayo y de esta manera poder obtener la energía real que absorbe la probeta al ser ensayada. Las probetas para el ensayo se muestran en la figura 36.

La tabla 11 muestra los valores obtenidos de la energía absorbida por impacto para cada aleación en estudio. Cabe mencionar que los ensayos se realizaron según lo establecido en la norma ASTM E-23.



Figura 37: Probetas para ensayo Charpy.

Fuente: Peroza F. (2018)

Tabla 11: Energía neta absorbida por impacto de la aleación de aluminio

Probeta/ Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Energía en Joule	7,23	8,25	6,76	7,35	7,87	7,00	8,12	8,32	7,68	7,88	7,65

Fuente: Peroza F. (2018)

En relación a la tenacidad, ésta se determinó como el cociente de la energía absorbida y el área de la sección transversal de la probeta, tomando en consideración la disminución de 2 mm correspondiente a la profundidad de la entalla. Por lo que el área es el producto del ancho de 10 mm por la altura de (10 mm – 2 mm de la entalla), obteniéndose un área de 80 mm².

4.4 Comparar si las propiedades encontradas en la aleación analizada cumple con los requerimientos necesarios para los productos manufacturados por la empresa.

Una vez concluidos los ensayos programados, se obtienen los resultados y análisis respectivos para identificar la aleación de aluminio en estudio y verificar si cumple con los requerimientos establecidos por la empresa.

En primer lugar se realizó el análisis químico para identificar la composición química de la aleación, mediante un espectrómetro de masas en la Empresa EXTRUDAL, C.A., dando como resultado valores que coinciden con una aleación de la serie 6000 que contiene como principales componentes el magnesio con un valor de 0.8470% y silicio de 0.5233%.

Luego se realizó la caracterización del aluminio mediante ensayos de tracción y mediante los resultados obtenidos se observó que los valores de los esfuerzos de fluencia y máximo, están muy próximos a los valores referidos en el ASM Handbook; los valores encontrados en la aleación en estudio, corresponden a las aleaciones de aluminio 6061-T4-T451 para la aleación estudiada, mientras que en la elongación

máxima existe una diferencia respecto a lo referenciado por la ASM pero que puede ser admisible dentro de los parámetros aceptables.

Luego se determinó la dureza Rockwell H y Brinell de la aleación a fin de verificar y comprobar que estas variables reflejaran la tendencia esperada.

De la microdureza Vickers se puede inferir que la aleación corresponde a una aleación de la serie 6061, en la cual se puede deducir que las propiedades mecánicas de la aleación, pudieran variar por el tiempo de servicio o por un tratamiento desconocido.

Se determinó por medio del ensayo de doblado guiado con tres puntos de apoyo las cargas de inicio de deformación y el esfuerzo máximo durante la deformación al cual fueron sometidas las aleaciones durante el ensayo. Una vez obtenido los esfuerzos máximos para cada aleación, se determinó la carga correspondiente a fin de compararla con la capacidad de carga máxima que requiere la empresa y así verificar si sus equipos son capaces de plegar y/o doblar dichas aleaciones según lo requerido para elaborar sus productos.

Luego se determinó la energía absorbida por la aleación en estudio mediante impacto Charpy, se determinó la tenacidad como el cociente de la energía absorbida y el área de la sección transversal de la probeta, tomando en consideración la disminución de 2 mm correspondiente a la profundidad de la entalla. Como mencionamos anteriormente conocer la energía promedio que puede absorber dicho material, tiene un aporte adicional al presente trabajo de investigación, en caso de que pudiese someterse a cargas de impacto.

Posteriormente para verificar si las aleaciones en estudio cumplen o no con los requerimientos de la empresa, se realizó una tabla comparativa y de allí observar si se cumplían los requerimientos exigidos. La tabla 12 muestra los valores especificados por la empresa y los valores obtenidos de las muestras en los ensayos respectivos.

Tabla 12 Resultados de los distintos ensayos a la aleación en estudio

	Requerimiento de la empresa	Aleación En estudio
Esfuerzo máximo $\sigma_{m\grave{a}x}$ (MPa)	>200	237
Elongación máxima $\epsilon_{m\grave{a}x}$ (%)	>7	16,66
Dureza Brinell (HB)	>75	62,89
Carga máxima de doblado $P_{m\grave{a}x}$ (kg)	< 3000	329,44
Energía absorbida por impacto (J)	Sin especificar	7,64
Tenacidad al impacto (kJ/m ²)	Sin especificar	150,51

Fuente: Peroza F. (2018)

De la tabla anterior se puede notar que en la aleación estudiada, todos los valores encontrados en los ensayos cumplen con los requerimientos de la empresa, a excepción de la dureza, la cual está en 16,14% por debajo de la requerida, por lo tanto no cumple totalmente con los requerimientos de la empresa, y quedaría de parte de ellos evaluar si esa diferencia en la dureza es muy significativa o no para sus productos.

CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo de investigación realizado aplicando todos los procesos metodológicos y cumpliendo paso a paso con los objetivos propuestos, se concluye:

Mediante la caracterización de la aleación de aluminio se determinó que se trata de una aleación 6061, con tratamiento térmico. Tratado térmicamente por disolución y envejecido naturalmente. Su composición química es básicamente la misma de un 6061 y su microestructura igualmente corresponde con esta aleación. En cuanto a la energía de impacto que puede absorber, se pudo establecer que el material estudiado contiene un buen comportamiento al momento de ser sometido a esfuerzos de choque o golpes lo cual es una característica importante que debe ser tomada en cuenta en la industria manufacturera.

Además se realizaron ensayos mecánicos, donde se obtuvieron valores que permitieron realizar una comparación entre las propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio, a pesar de que hubo coincidencia con algunas propiedades de otras aleaciones, se pudo notar que las propiedades mecánicas son determinantes para la identificación de una aleación de aluminio.

Se pudo constatar que la composición química de un material, junto a la microscopia que lo caracteriza, van directamente relacionados con la identificación del material, y que las propiedades mecánicas de este, son consecuencia directa de la composición química y microestructura del material.

Las propiedades mecánicas de un material se pueden ver afectadas por los tratamientos térmicos que pudo haber presentado el material, y las condiciones (temperatura) y tiempo de servicio.

Con respecto al ensayo de tracción, la discrepancia que presento el aluminio se presume que la aleación presentaba un tratamiento térmico en el cual faltó tiempo o temperatura en su aplicación por lo cual su elongación máxima no es la descrita en el ASM Handbook pero de igual manera entra entre los parámetros establecidos.

RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones complementarias a este trabajo se pueden resumir en lo siguiente.

1. Ampliar el estudio añadiendo una microscopía electrónica de barrido y un análisis EDS para identificar de manera más precisa los diferentes precipitados que existen en las aleaciones en estudio, además de obtener la composición química de las mismas por este medio y así comparar los valores, respecto a los obtenidos por medio de la espectroscopia.
2. Evaluar si con esa diferencia del 16,14% en cuanto a la dureza, realmente no se puede utilizar dicha aleación para los fines funcionales y prácticos de los productos desarrollados por la empresa, y si no es posible utilizarlos, evaluar la posibilidad de someter a la aleación al tratamiento T6 – T651, a fin de incrementar su dureza y así poder utilizarlo.
3. Evaluar nuevas aleaciones de aluminio que puedan ser utilizadas por la empresa a fin de tener mayores posibilidades u opciones de materia prima, en vista a la situación que atraviesa el país actualmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F (2012). **“El proyecto de investigación. Introducción a la Metodología Científica”**. Caracas, 6ta. Edición Editorial Episteme.
- ASM. (1.972). **“Metals Handbook. Atlas of microstructures of industrial alloys”**. Volume 7. Octava edición. Ohio. U.S.A.
- ASM International. **“ASM Handbook. Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials”**. Volume 2. Décima edición. Ohio. U.S.A. 1992.
- Beltran C., Aguilar A. **“Análisis de la resistencia al impacto del aluminio 6061 – T6 a una temperatura de 170°C durante tiempos de 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas”**. Trabajo especial de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Chapinero, Colombia. 2005
- Campbell. F. C. (2.010) **“Structural Composite Materials.”** ASM International.
- Coca, P. (2004). **“Manual del aluminio. Volumen 2”**. Segunda edición. Barcelona, España. Editorial Reverté S.A.
- De Frenza J., Leañez M. (2.005). **“Evaluación de la tenacidad de impacto de las aleaciones de aluminio 8011 y 6063 sometidas a un tratamiento térmico de envejecimiento”**. Trabajo especial de grado. Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación. Facultad de ingeniería. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Groover, M. (2007). **“Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas,”** 3era edición, México: McGraw-Hill.
- Giachino, J & Weeks, W. (2.007). **“Técnica y práctica de la soldadura”**. Barcelona, España.
- Giner, E. **“Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales”**. Universidad politécnica de Valencia. Valencia. España. 2017. [Consultado 14/10/2017]. Disponible en www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_7.html.
- Kalpakjain, S. y Schmid, S.R. (2008) **“Manufactura, Ingeniería y Tecnología”**, 5ta edición. Editorial Pearson Prentice Hall. México. D.F.

Ortega, Y. (2005). **“Prueba de impacto: Ensayo Charpy”**. Tercera edición. Barcelona, España. Editorial Beta, S.A.

Román A., Pineda Y. (2008). **“Evaluación de las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio AA-6061, sometida a un tratamiento térmico de envejecimiento”**. Trabajo especial de grado. Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación. Facultad de ingeniería. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Sabater-Fundimol. (2.017). **“Composición química de las aleaciones de aluminio más utilizadas para forja”**.

Disponible en www.sabater-fundimol.com/clientes/recursos/pdf/catalogo_sabater-fundimol_p8y9.pdf. Recuperado el 15/10/2017.

Vásquez Méndez Magdalena. **“Espectrómetro de emisión por chispa”**. La UPCT de Tenerife. [Consultado 08/07/2017]. Disponible en <http://www.upct.es/sait/es/tecnicas-espectrometricas-y-afines/espectrometro-de-emision-por-chispa>

ANEXOS

ANEXO A



Designation: B 557M – 02a

METRIC

Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products [Metric]¹

This standard is issued under the fixed designation B 557M; 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 superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 These test methods cover the tension testing of wrought and cast aluminum- and magnesium-alloy products, excepting aluminum foil², and are derived from Test Methods E 8M, which cover the tension testing of all metallic materials.

Note 1—These metric test methods are the equivalents of those in Test Methods B 557, and are compatible in technical content except for the requirement of longer gage lengths for round specimens.

Note 2—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material.

1.2 *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 The following documents of the issue in effect at the time of reference form a part of these test methods to the extent referenced herein:

2.2 ASTM Standards:

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing³

E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]³

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁴

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer³

E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil³

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading³

3. Terminology

3.1 The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods.

4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments and have been used extensively in the trade for this purpose.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

5.2 *Gripping Devices*:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured load applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen must coincide with the centerline of the heads of the testing

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee B07 on Light Metals and Alloys and are the direct responsibility of Subcommittee B07.05 on Testing.

Current edition approved Oct. 10, 2002. Published January 2003. Originally published as B 557M – 76. Last previous edition B 557M – 02.

² For test methods of tension testing of aluminum foil, see Test Methods E 345.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (load divided by cross-sectional area).

Note 3—The effect of this eccentric loading may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 12.50-mm diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.025 mm of eccentricity. This error increases to about 2.3 percentage points/0.025 mm for a 9-mm diameter specimen and to 3.25 percentage points/0.025-mm for a 6-mm diameter specimen.

Note 4—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 Wedge Grips—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long bars of ductile metal. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be supported over their entire length by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 1. For short specimens it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 Grips for Threaded and Shouldered Specimens—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 2, while Fig. 3 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as large as feasible.

5.2.4 Grips for Sheet Materials—The self-adjusting grips shown in Fig. 4 have proved satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 Grips for Wire—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 4 and Fig. 5 or flat wedge grips may be used.

5.3 Dimension-Measuring Devices—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

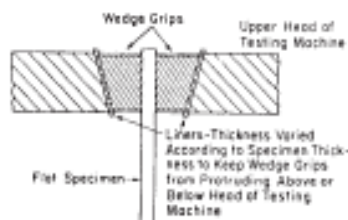


FIG. 1 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

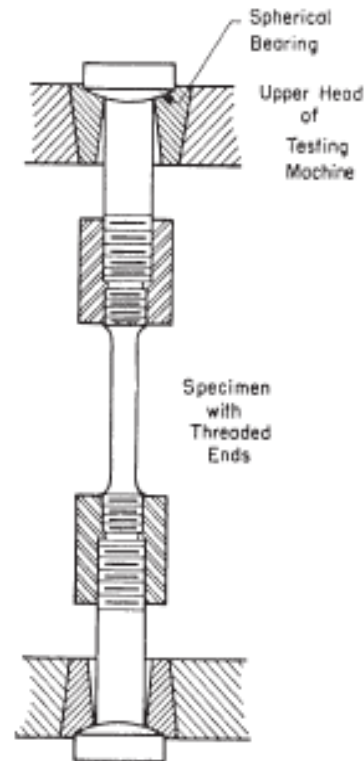


FIG. 2 Gripping Device for Threaded-End Specimens

5.4 Extensometers—Extensometers used in tensile testing shall conform to the requirements of Practice E 83 for the classifications specified by the procedure section of these test methods. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as "G-Gage Length" in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

6. Test Specimen

6.1 General:

6.1.1 Test specimens shall be of the full section of the material whenever practical. Otherwise, machined specimens of rectangular or round cross section shall be used.

6.1.2 Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to ensure the desired precision and bias in test results.

6.1.3 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture

 B 557M - 02a



	Dimensions, mm	
	Standard Specimen Sheet-Type 12.5 mm Wide	Subsize Specimen 6 mm Wide
G—Gage length	50.00 ± 0.10	25.00 ± 0.10
W—Width (Note 1 and Note 2)	12.50 ± 0.05	6.01 ± 0.05
T—Thickness (Note 3)	thickness of material	thickness of material
R—Radius of fillet, min	12.5	6
L—Overall length, min (Note 4)	200	100
A—Length of reduced section, min	57	32
B—Length of grip section, min (Note 5)	50	30
C—Width of grip section, approximate (Note 2 and Note 6)	20	10

Note 1—The ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.06 mm for the 50.00-mm gage length specimens or 0.025 mm for the 25.00-mm gage length specimens. There may be a gradual taper in width from the ends of the reduced section to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % greater than the width at the center.

Note 2—For each of the specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used. If the width of the material is less than W, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

Note 3—The dimension T is the thickness of the test specimen as stated in the applicable material specifications. Maximum nominal thicknesses of 12.5-mm and 6-mm wide specimens shall be 12.5 mm and 6 mm, respectively.

Note 4—To aid in obtaining axial loading during testing of 6-mm wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm.

Note 5—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 12.5-mm wide specimens is over 9 mm longer, grips and correspondingly longer grip sections of the specimens may be necessary to prevent failure in the grip section.

Note 6—The grip-end centerline of the 12.5-mm wide and 6-mm wide specimens shall coincide with the centerline of the reduced section within 0.2 mm and 0.1 mm, respectively.

FIG. 6 Rectangular Tension Test Specimens

6.2 Type, Direction, and Location in Wrought Products—
This paragraph and subparagraphs provide the standard requirements for the testing of wrought products for the purpose of quality control and lot release testing. Additions or exceptions to these requirements may need to be made in individual specifications for a particular material or product.

Note 5—These requirements also do not preclude the use of these test methods for purposes other than quality control as desired for research, material evaluation, or other purpose utilizing other test locations, test directions, and test specimen sizes. In these cases, the general requirements in 6.1 should be followed for specimen type and the requirements in Sections 5 and 7 shall be followed for test apparatus, testing, and analysis.

6.2.1 Sheet and Plate:

6.2.1.1 Rectangular specimens shall be used for thicknesses of 12.50 mm and less, and round specimens for all others.

6.2.1.2 For thicknesses over 12.50 mm through 40 mm, in-plane specimens shall be taken from the center of the thickness; for larger thicknesses, they shall be taken midway from the center to the surface. Short transverse specimens shall be taken so that the midpoint of their axis lies on the plate mid-thickness.

6.2.1.3 For non-heat-treatable aluminum alloys, specimens shall be taken parallel to the direction of rolling.

6.2.1.4 For heat-treatable aluminum alloys, specimens shall be taken perpendicular to the direction of rolling (long-transverse) unless otherwise specified in the material specification. For widths too narrow for long-transverse standard rectangular or 12.50-mm diameter specimens, specimens shall be taken parallel to the direction of rolling.

6.2.1.5 For magnesium alloys, specimens shall be taken parallel to the direction of rolling.

6.2.2 Wire, Rod, and Bar:

6.2.2.1 Full-section specimens shall be used when practical.

It is permissible to reduce the section slightly throughout the test section in order to ensure fracture within the gage length. Otherwise, round specimens shall be used, except that for rectangles of 12.50 mm and less in thickness, rectangular specimens of the full thickness may be used.

6.2.2.2 Specimens shall be taken in the longitudinal direction from the locations specified in Table 2.

6.2.3 Extrusion Profiles:

6.2.3.1 Round specimens shall be used whenever it is not practical to use full-section specimens, except that for extrusion profiles 12.50 mm and less in thickness, rectangular specimens may be used.

ANEXO B



Designation: E384 - 11¹

Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials¹

This standard is revised under the final designation E384, the number immediately following the designation indicates the year of original approval or the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript option to indicate an editorial change since the last revision is appropriate.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

¹ ASTM—Sections 3.3 and A.1.1.1 were editorially corrected in March 2012.

1. Scope²

1.1 This test method covers determination of the Knoop and Vickers hardness of materials, the verification of Knoop and Vickers hardness testing machines, and the calibration of standardized Knoop and Vickers test blocks.

1.2 This test method covers Knoop and Vickers hardness tests made utilizing test forces in micro ($>9.807 \times 10^{-6}$ to 9.807×10^{-1}) (1 to 1000 gf) and macro (>9.807 to 1176.80 N) (>1 kg to 120 kgf) ranges.

² 1.1—Previous versions of this standard limited test forces to 0.007 N (1 kgf).

1.3 This test method includes all of the requirements to perform macro Vickers hardness tests as previously defined in Test Method E92, Standard Test Method for Vickers Hardness Testing.

1.4 This test method includes an analysis of the possible sources of errors that can occur during Knoop and Vickers testing and how these factors affect the accuracy, repeatability, and reproducibility of test results.

² 1.2—While Convention E39 is primarily concerned with metals, the test procedures described are applicable to other materials.

1.5 *Units*—When Knoop and Vickers hardness tests were developed, the force levels were specified in units of gram-force (gf) and kilogram-force (kgf). This standard specifies the units of force and length in the International System of Units (SI), that is, force in Newtons (N) and length in mm or μm . However, because of the historical precedent and continued common usage, force values in gf and kgf units are provided for information and much of the discussion in this standard as well as the method of reporting the test results refers to these units.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E38 on Metallurgy and is the direct responsibility of Subcommittee E38.02 on Macro-Indentation Hardness Testing. With this revision the test method was expanded to include the requirements previously defined in E2991, Standard Test Method for Vickers Hardness Testing of Metallic Materials that were under the jurisdiction of E38.04.

² Current edition approved Aug. 1, 2011. Published August 2011. Originally approved in 1999. Last previous edition approved in 2004 as E384 - 10¹. DOI: 10.1520/E384-11.00.

1.6 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*³

C1326 Test Method for Knoop Indentation Hardness of Advanced Ceramics

C1327 Test Method for Vickers Indentation Hardness of Advanced Ceramics

E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens

E7 Terminology Relating to Metallography

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines

E92 Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials (Withdrawn 2010)⁴

E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness

E175 Terminology of Microscopy

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

E766 Practice for Calibrating the Magnification of a Scanning Electron Microscope

³ 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.

⁴ The last approved version of this standard is referenced on the website.

2.2 ISO Standards:⁴
 ISO 6507-1 Metallic Materials—Vickers hardness Test—
 Part 1: Test Method
 ISO/IEC 17011 Conformity Assessment—General Require-
 ments for Accreditation Bodies Accrediting Conformity
 Assessment Bodies
 ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of
 Testing and Calibration Laboratories

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For the standard definitions of terms used in this test method, see Terminology E7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

3.2.1 *calibrating, v*—determining the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.2.2 *Knoop hardness number, HK, n*—an expression of hardness obtained by dividing the force applied to the Knoop indenter by the projected area of the permanent indentation made by the indenter.

3.2.3 *Knoop indenter, n*—a rhombic-based pyramidal-shaped diamond indenter with edge angles of $\angle A = 172.5^\circ 30'$ and $\angle B = 130^\circ 0'$ (see Fig. 2).

3.2.4 *macroindention hardness test, n*—a hardness test using a calibrated machine to force a diamond indenter of specific geometry into the surface of the material being evaluated, in which the test forces are 9.807×10^{-3} to 9.807 N (1 to 1000 gf) and the indentation diagonal, or diagonals are measured with a light microscope after load removal; for any test, it is assumed that the indentation does not undergo elastic

recovery after force removal. The test results are normally in the Knoop or Vickers scales.

3.2.5 *macroindention hardness test, n*—a hardness test using a calibrated machine to force an indenter of specific geometry into the surface of the material being evaluated, in which the test forces are normally higher than 9.807 N (1 kpf). Macroindention test scales include Vickers, Rockwell and Brinell.

Note 3—Use of the term macroindention should be avoided because it implies that the hardness, rather than the force or the indentation size, is very low.

3.2.6 *verifying, v*—checking or testing the instrument to assure conformance with the specification.

3.2.7 *Vickers hardness number, HV, n*—an expression of hardness obtained by dividing the force applied to a Vickers indenter by the surface area of the permanent indentation made by the indenter.

3.2.8 *Vickers indenter, n*—a square-based pyramidal-shaped diamond indenter with face angles of 136° (see Fig. 1).

3.2.9 *scale, n*—a specific combination of indenter (Knoop or Vickers) and the test force. For example, HV10 is a scale defined as using a Vickers indenter and a 10 kpf test force and HK 0.1 is a scale defined as using a Knoop indenter and a 100 gf test force. See 5.8 for the proper reporting of the hardness level and scale.

3.3 *Formulas*—The formulas presented in 5.5 and 5.6 for calculating Knoop and Vickers hardness are based upon an ideal tester. The measured value of the Knoop and Vickers hardness of a material is subject to several sources of errors. Based on Fig 1-9, variations in the applied force, geometrical variations between diamond indenters, and human errors in measuring indentation lengths can affect the calculated material hardness. The influence each of these parameters has on the calculated value of a Knoop or Vickers measurement is discussed in Section 10.

⁴ Available from International Organization for Standardization (ISO), 1, rue de la Bâle-Chevre, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland. http://www.iso.org

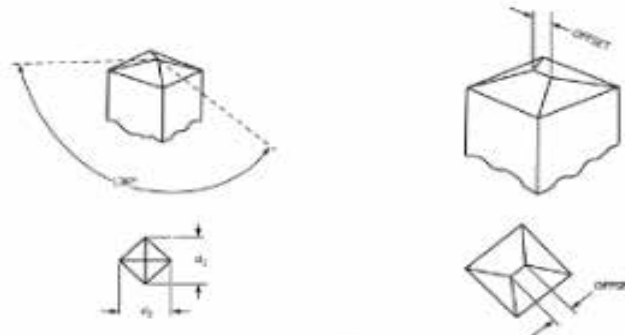


FIG. 1 Vickers Indenter

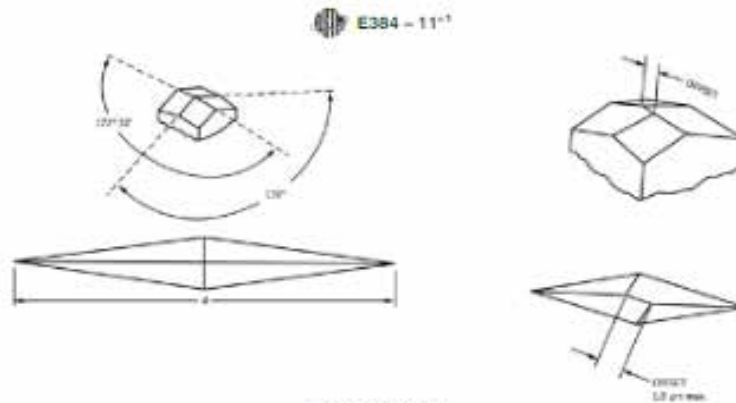


FIG. 2 Knoop Indenter

ANEXO C



ALUMINIOS Cuadros Generales Composición química

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO MÁS UTILIZADAS PARA FORJA

Aleaciones de aluminio. Serie 6000. Al Mg Si

Designación de la aleación		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	Notas	Ti	Otras		Aluminio mín.
Numerica EN AW	Simbólica EN AW													Cada uno	Total	
6101	EAl MgSi	0,30-0,7	0,50	0,10	0,03	0,35-0,8	0,03	...	0,10	...	...	0,06 B	...	0,03	0,10	Resto
6101A	EAl MgSi(A)	0,30-0,7	0,40	0,05	...	0,40-0,9	...	...	...	...	...	...	...	0,03	0,10	Resto
6101B	EAl MgSi(B)	0,30-0,6	0,10-0,30	0,05	0,05	0,35-0,6	...	0,10	...	...	...	...	...	0,03	0,10	Resto
6201	EAl Mg0,7Si	0,50-0,9	0,50	0,10	0,03	0,6-0,9	0,03	...	0,10	...	...	0,06 B	...	0,03	0,10	Resto
6401	Al 99,9MgSi	0,35-0,7	0,04	0,05-0,20	0,03	0,35-0,7	...	...	0,04	...	...	...	0,01	0,01	...	Resto
6003	Al Mg1Si0,8	0,35-1,0	0,6	0,10	0,8	0,8-1,5	0,35	...	0,20	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6005	Al SiMg	0,6-0,8	0,35	0,10	0,10	0,40-0,8	0,10	...	0,10	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6005A	Al SiMg(A)	0,50-0,9	0,35	0,30	0,50	0,40-0,7	0,30	...	0,20	...	0,12-0,50 Mn+Cr	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6005B	Al SiMg(B)	0,45-0,8	0,30	0,10	0,10	0,40-0,8	0,10	...	0,10	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6106	Al MgSiMn	0,30-0,6	0,35	0,25	0,05-0,20	0,40-0,8	0,20	...	0,10	...	...	...	...	0,05	0,10	Resto
6011	Al Mg0,8Si0,8Cu	0,6-1,2	1,0	0,40-0,8	0,8	0,6-1,2	0,30	0,20	1,5	...	...	...	0,20	0,05	0,15	Resto
6012	Al MgSiPb	0,6-1,4	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,30	...	0,30	...	0,7 B; 0,40-2,0Pb	...	0,20	0,05	0,15	Resto
6013	Al Mg1Si0,6CuMn	0,6-1,0	0,50	0,6-1,1	0,20-0,8	0,8-1,2	0,10	...	0,25	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6015	Al Mg1Si0,3Cu	0,20-0,40	0,10-0,30	0,10-0,25	0,10	0,8-1,1	0,10	...	0,10	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6018	Al Mg1SiPbMn	0,50-1,2	0,7	0,15-0,40	0,30-0,8	0,6-1,2	0,10	...	0,30	...	...	...	0,20	0,05	0,15	Resto
6351	Al Si1Mg0,5Mn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8	...	...	0,20	...	...	...	0,20	0,05	0,15	Resto
6351A	Al Si1Mg0,5Mn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-0,8	0,40-0,8	...	...	0,20	...	...	...	0,20	0,05	0,15	Resto
6051	Al MgSi0,3Cu	0,20-0,50	0,8	0,15-0,40	0,10	0,40-0,8	...	...	0,20	...	...	...	...	0,05	0,15	Resto
6056	Al Si1MgCuMn	0,7-1,3	0,50	0,50-1,1	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	...	0,10-0,7	...	...	...	...	0,05	0,15	Resto

(continúa)



ALUMINIOS Cuadros Generales Composición química

Aleaciones de aluminio. Serie 6000. Al Mg Si

Designación de la aleación		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ga	V	Notas	Ti	Otras		Aluminio mín.
Numerica EN AW	Simbólica EN AW													Cada uno	Total	
6060	Al MgSi	0,30-0,6	0,10-0,30	0,10	0,10	0,35-0,6	0,05	...	0,15	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6061	Al Mg1SiCu	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	...	0,25	...	...	...	0,15	0,05	0,15	Resto
6061A	Al Mg1SiCu(A)	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	...	0,25	...	...	...	0,15	0,05	0,15	Resto
6061	Al Mg1SiCuMn	0,40-0,7	0,40	0,15-0,40	0,20-0,35	0,7-1,0	0,10	...	0,20	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6062	Al Mg1SiPb	0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,14	...	0,25	...	...	...	0,15	0,05	0,15	Resto
6083	Al Mg0,7Si	0,20-0,6	0,35	0,10	0,10	0,45-0,9	0,10	...	0,10	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6063A	Al Mg0,7Si(A)	0,30-0,6	0,15-0,35	0,10	0,15	0,6-0,9	0,05	...	0,15	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6463	Al Mg0,7Si(B)	0,20-0,6	0,15	0,20	0,05	0,45-0,9	...	...	0,05	...	...	...	...	0,05	0,15	Resto
6081	Al Si0,9MgMn	0,7-1,1	0,50	0,10	0,10-0,45	0,6-1,0	0,10	...	0,20	...	...	...	0,15	0,05	0,15	Resto
6181	Al Si1Mg0,8	0,6-1,2	0,45	0,10	0,15	0,6-1,0	0,10	...	0,20	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6082	Al Si1MgMn	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	...	0,20	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto
6082A	Al Si1MgMn(A)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,40-1,0	0,6-1,2	0,25	...	0,20	...	...	...	0,10	0,05	0,15	Resto

ANEXO D



Designation: E290 – 14

Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility¹

This standard is issued under the fixed designation E290; 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 superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover bend testing for ductility of materials. Included in the procedures are four conditions of constraint on the bent portion of the specimen; a guided-bend test using a mandrel or plunger of defined dimensions to force the mid-length of the specimen between two supports separated by a defined space; a semi-guided bend test in which the specimen is bent, while in contact with a mandrel, through a specified angle or to a specified inside radius (r) of curvature, measured while under the bending force; a free-bend test in which the ends of the specimen are brought toward each other, but in which no transverse force is applied to the bend itself and there is no contact of the concave inside surface of the bend with other material; a bend and flatten test, in which a transverse force is applied to the bend such that the legs make contact with each other over the length of the specimen.

1.2 After bending, the convex surface of the bend is examined for evidence of a crack or surface irregularities. If the specimen fractures, the material has failed the test. When complete fracture does not occur, the criterion for failure is the number and size of cracks or surface irregularities visible to the unaided eye occurring on the convex surface of the specimen after bending, as specified by the product standard. Any cracks within one thickness of the edge of the specimen are not considered a bend test failure. Cracks occurring in the corners of the bent portion shall not be considered significant unless they exceed the size specified for corner cracks in the product standard.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. Inch-pound values given in parentheses were used in establishing test parameters and are for information only.

1.4 *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 appro-*

priate 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

E8/E8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E190 Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds

3. Summary of Test Methods

3.1 Four methods for ductility testing employing bending are included in these test methods. Three methods have subgroups with specific procedures.

3.1.1 *Guided Bend:*

3.1.1.1 Guided Bend, No Die,

3.1.1.2 Guided Bend, U-Bend,

3.1.1.3 Guided Bend, V-Bend,

3.1.1.4 Guided Bend, V-Bend for cold rolled sheet,

3.1.2 *Semi-guided Bend:*

3.1.2.1 *Arrangement A*, specimen held at one end.

3.1.2.2 *Arrangement B*, for thin material.

3.1.2.3 *Arrangement C*, mandrel contact force in the bend.

3.1.3 *Free-Bend:*

3.1.3.1 *Type 1*, 180° bend.

3.1.3.2 *Type 2*, bend flat on itself.

3.1.4 *Bend and Flatten:*

3.2 A guided-bend test for ductility of welds is described in Method E190 and may be used for flat-rolled materials when specified by the product standard. The essential features of this bending method are employed in 3.1.1.2, Guided Bend, U-Bend.

3.3 Bend tests are made in one of two directions relative to the principal working direction employed in production processing of the material.

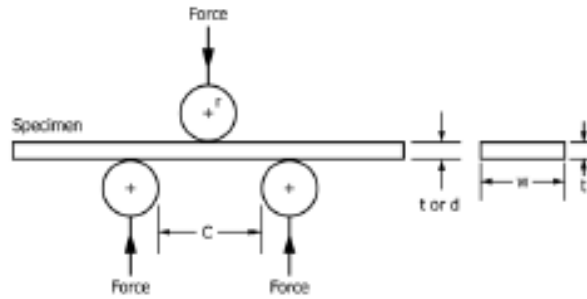
¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.02 on Ductility and Formability.

Current edition approved May 1, 2014. Published September 2014. Originally approved in 1966. Last previous edition approved in 2013 as E290 – 13. DOI: 10.1520/E0290-14.

²For 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.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2929, United States



$$C = 2r + 3t \pm t/2$$

NOTE: 1—C = distance between lower supports,
 r = radius of the end of the mandrel or plunger,
 t = sheet specimen thickness,
 d = round specimen diameter, and
 w = sheet specimen width.

FIG. 3 Schematic Fixture for the Guided Bend, No Die Test

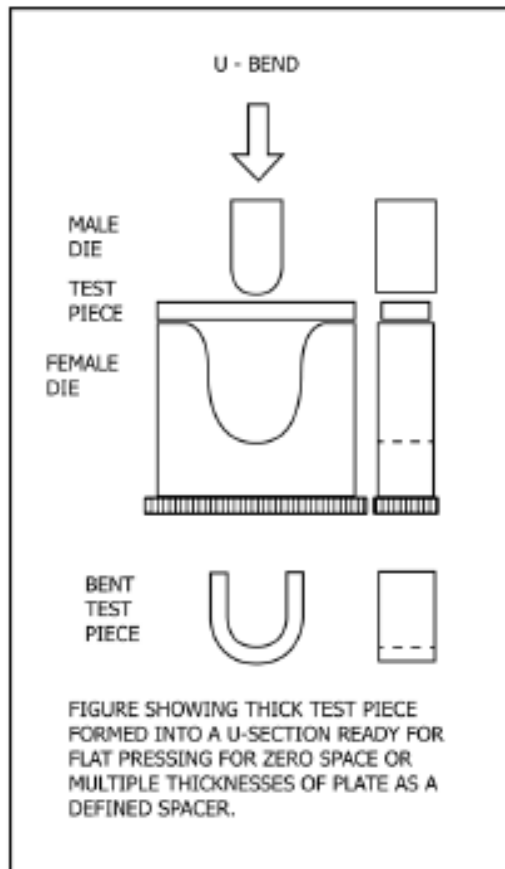


FIG. 4 Schematic Fixture for the Guided Bend, U-bend Test

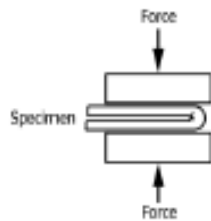


FIG. 14 Bend and Flatten

other surface irregularities during one continuous bend. No reversal of the bend force shall be employed when conducting these tests.

4.2 The type of bend test used determines the location of the forces and constraints on the bent portion of the specimen, ranging from no direct contact to continuous contact.

4.3 The test can terminate at a given angle of bend over a specified radius or continue until the specimen legs are in contact. The bend angle can be measured while the specimen is under the bending force (usually when the semi-guided bend test is employed), or after removal of the force as when performing a free-bend test. Product requirements for the material being tested determine the method used.

4.4 Materials with an as-fabricated cross section of rectangular, round, hexagonal, or similar defined shape can be tested in full section to evaluate their bend properties by using the procedures outlined in these test methods, in which case relative width and thickness requirements do not apply.

5. Apparatus

5.1 To prevent the introduction of uncontrolled forces while accomplishing the bend, the following clamping and force application devices shall be used.

5.2 *Guided-Bend Test*—The shape of the material during bending is controlled by employing a pair of pins, rollers, or flat surfaces with end radii, to support the specimen while a guided plunger bends the material at its mid-length, as shown schematically in Fig. 3. A more detailed description of a fixture used for this test is given in Method E190.

5.2.1 When the guided-bend test is to be finished by bending through a 180° bend that cannot be achieved using the fixture shown in Fig. 3 or Fig. 4, a fixture shown schematically in Fig. 7 can be used to position the ends of the specimen and prevent it from being ejected while a compression force is applied to bring the legs of the specimen together until they are parallel to each other. A spacer with a thickness equal to twice the required radius is inserted at the bend to stop the force at the specified spacing.

5.3 *Semi-guided Bend Tests*—For a semi-guided bend, the inside of the bend is controlled by contact with a pin or mandrel having a defined radius.

5.3.1 *Semi-guided Bend—Arrangement A*—This arrangement involves holding one end of the specimen while a reaction pin, or mandrel, bears against the specimen at an intermediate location, usually the mid-length. A device (as

shown schematically in Fig. 8) is used to apply the bending force near the free end of the specimen.

5.3.2 *Semi-guided Bend—Arrangement B for thin material*—The specimen is placed against a support with a suitable end radius and clamped in a bench vise, as shown schematically in Fig. 9. This controls the location of the bend away from the clamping force.

5.3.3 *Semi-guided Bend—Arrangement C*—The specimen is held at one end while a reaction pin, or mandrel, contacts the inside surface of the specimen at the location of the bend. A rotating device applies the bending force against the opposite side of the specimen to make it conform to the pin, or mandrel, as shown schematically in Fig. 10.

5.4 *Free Bend Tests*—No bending force is applied directly to the bend area in a free bend test during the final bending. An initial bend can be made using a semi-guided bend device.

5.4.1 A uniaxial force, such as a clamping vise, or a compression testing machine, is used to bend the specimen. A support (as shown in Fig. 11) may be necessary to initiate the bend. No tension loading along the length of the specimen is permitted.

5.5 *Bend and Flatten Test*—The outer surfaces of the legs of the specimen in the flat sections near the bend are subjected to a compressive force during a flattening test.

5.5.1 The test is initiated in the same manner as the free bend. A compressive force is then applied to the bend portion of the specimen. The force shall be sufficient to close the eye of the bend until the two outer surfaces of the bend are parallel, exclusive of the outer radius of the bend (as shown in Fig. 14.)

5.6 The radius of any pin, mandrel, or roller, used in each arrangement of the several bend test methods shall not differ by more than $\pm 5\%$ of the specified nominal value for the radius.

5.7 The length of all pins, mandrels, rollers, and radiused flats used in bend testing shall exceed the width of the specimen. They shall be strong enough and sufficiently rigid to resist significant deformation.

6. Sampling

6.1 Sampling for a bend test shall be performed in accordance with the requirements of relevant standards, specifications, and codes.

7. Test Specimens

7.1 Specimens shall be selected from the material to be tested using one of the following procedures:

7.1.1 *Full-Cross-Section Specimens*—If the smallest dimension of the cross-section is equal to or less than 38 mm (1½ in.), the specimen can be of the full thickness provided there is sufficient specimen length to permit bending to the specified angle.

7.1.2 *Full-Thickness Specimens*—Any material that is tested for ductility in the as-fabricated condition may be subjected to a bend test, provided the specimen width and length are sufficient.

7.1.2.1 When it is not practicable to test full-cross-section specimens, but when it is still practicable to test full-thickness specimens from materials not exceeding 38 mm (1½ in.)

ANEXO E



Designation: E23 – 16b

An American National Standard

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E23; 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 superscript letter in parentheses indicates editorial changes since the last revision of the standard.

This standard has been approved by the approval of the U.S. Department of Defense.

1. Scope²

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), designation of test specimen orientation (see Terminology E1821), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A4). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), and methods of measuring the center of strike (see Appendix X2).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below -196°C (77 K).

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

1.3.1 *Exception—Sections 8 and Annex A4 provide individual units for information only.*

1.4 *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. Specific precautionary statements are given in Section 5.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards³

B025 Practice for Production and Preparation of Powder Metallurgy (PM) Test Specimens

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

E1821 Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing
E2208 Test Method for Instrumented Impact Testing of Metallic Materials

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), a set of anvils, and specimen supports on which the test specimen is placed to receive the blow of the striking mass; a striking mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.1 and A2.3. The terms listed in A2.2 must be inspected annually.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E23 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E23.07 on Impact Testing.

Current edition approved June 1, 2016. Published June 2016. Originally approved in 1939. Last previous edition approved 2016 as E23 – 16a. DOI: 10.1520/E023-16b.

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

6.2.2 The procedures to verify Charpy machines indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified directly and indirectly annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.³ The Charpy specimen designations are V-notch and U-notch.

Note 1—Keyhole notch specimen is similar to U-notch, except the notch width is 1.6 mm or less.

7.1.4 The specimens commonly found suitable for powder metallurgy materials are shown in Figs. 3 and 4. Powder metallurgy impact test specimens shall be produced following the procedure in Practices B925. The impact test results of these materials are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction. For powder metallurgy materials the impact test results are reported as unnotched absorbed impact energy.

7.1.5 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

7.2 Specimen Machining

7.2.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that the impact properties of specimens machined before heat treatment are identical to those machined after heat treatment.

7.2.2 Notches shall be smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, adhering to the tolerances given in Fig. 1 is necessary (Appendix X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on V-notch specimens).

³ Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-7 on Cast Irons, Proceedings, ASTM, Vol. 31 Part 1, 1943.

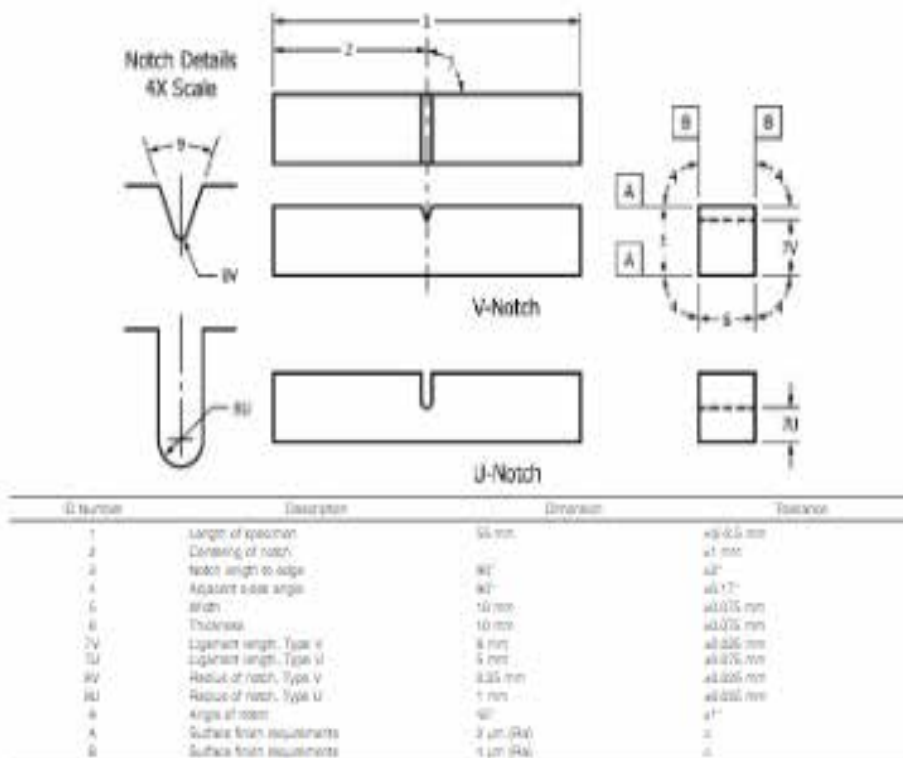


FIG. 1 Charpy (Simple-Swain) Impact Test Specimens, V-Notch and U-Notch

ANEXO F

Reactivos de ataque micrográfico.

ALEACION	REACTIVO	CONDICIONES	CARACTERISTICAS
ACEROS	100 ml Alcohol etílico 96% 1-10 ml Ácido nítrico NITAL	Segundos a minutos	Utilizable para aceros al carbono, aceros aleados y fundición gris. Las segregaciones pueden producir un ataque irregular.
	100 ml Alcohol etílico 96% 2-4 g Ácido pícrico PICRAL	Segundos a minutos PRECAUCIÓN	Reactivo para todo tipo de aceros, con o sin tratamiento térmico.
	100 ml Alcohol etílico 96% 20 ml Ácido clorhídrico	5 a 10 minutos	Distinguir entre martensita cúbica y tetragonal. Aceros al Ni.
	45 ml Glicerol 15 ml Ácido nítrico 30 ml Ácido clorhídrico VILELLA	Segundos a minutos PRECAUCIÓN	Aceros inoxidables con alto contenido en Cr. Aceros moldeados al Cr-Ni.
COBRE	100-200 ml Alcohol etílico 20-50 ml Ácido clorhídrico 5-10 g Cloruro férrico	Segundos a minutos	Cobre y todos los tipos de cuproaleaciones. Contrasta el grano.
	80 ml Agua destilada 5 ml Ácido sulfúrico 10 g Dicromato potásico	3 a 30 segundos Inmediatamente antes de su uso añadir dos gotas de ácido clorhídrico	Cobre y todos los tipos de cuproaleaciones. Se puede usar después del reactivo anterior.
ALUMINIO	190 ml Agua destilada 5-10 ml Ácido nítrico 3-6 ml Ácido clorhídrico 2-4 ml Ácido fluorhídrico	10 a 30 segundos Usar recién hecho	Para la mayoría de las aleaciones de aluminio. Excepto las que tengan alto contenido de silicio.
	100 ml Agua destilada 1-2 g Hidróxido sódico	5 a 10 segundos a 50 °C	Aluminio puro y Cu-Al, Mg-Si-Al, Mg-Al y Zn-Al.
ZINC	100 ml Agua destilada 20 ml Oxido de cromo (VI) 1.5 g Sulfato sódico	2 a 3 minutos	Uso general en aleaciones de zinc.
NIQUEL	20-100 ml Agua destilada 2-25 ml Ácido clorhídrico 5-8 g Cloruro férrico	5 a 6 segundos	Aleaciones Ni-Fe, Ni-Cu y Ni-Ag. Superaleaciones base Ni-Monel
CADMIO	98 ml Alcohol etílico 96% 2 ml Ácido nítrico	Segundos a minutos	Uso general en aleaciones de cadmio.
MAGNESIO	100 ml Alcohol etílico 96% 1-8 ml Ácido nítrico	Segundos a minutos	Uso general en aleaciones de magnesio.

ANEXO G

Table 1(b) Typical solution and precipitation heat treatments for Mg-Si aluminum alloys (6xxx series alloys)

Alloy	Product form	Solution heat treatment ^(a)			Precipitation heat treatment			
		Metal temperature ^(b)		Temper designation	Metal temperature ^(b)		Time ^(c) , h	Temper designation
6061 ^(f)	Sheet	530	985	T4	160	320	18	T6
				T42	160	320	18	T62
	Rolled or cold finished wire, rod, and bar	530	985	T4	160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T6
					160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T89 ^(j)
					160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T93 ^(k)
					160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T913 ^(k)
					160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T94 ^(k)
				T42	160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T62
				T451 ^(h)	160 ⁽ⁱ⁾	320 ⁽ⁱ⁾	18	T651 ^(h)
	Extruded rod, bar, shapes, and tube	530 ^(d)	985 ^(d)	T4	175	350	8	T6
				T4510 ^(h)	175	350	8	T6510 ^(h)
				T4511 ^(h)	175	350	8	T6511 ^(h)
		530	985	T42	175	350	8	T62

ANEXO H

ANÁLISIS QUÍMICO										03/10/2017 08:26:04
										SPECTRO
Número: 00104										CONFIDENTIAL
Composición: Pure AL										Tipo de muestra:
Tipo de muestra: 35-0003 EN										
TIPO DE MUESTRA:										ALEACIÓN
DOLADA 9181 H262										AA 6062
EMPRESA:										OPERADOR
EXTRINSA:										CAMBERO
	Si	Fe	Si	Mg	Al	Cr	Mn	Zn	Cu	
1	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	