



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA EN AA 7075 T6 EN FUNCIÓN DEL  
ENSAYO DE FLEXIÓN ROTATIVO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros Mecánicos

**AUTORES: VICTOR HUGO LÓPEZ VALENCIA  
JONATHAN JAVIER IZA NUÑEZ**

**TUTOR: EDUARDO XAVIER VACA MICHILENA**

Quito – Ecuador  
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Víctor Hugo López Valencia con documento de identificación N° 1724869019 y Jonathan Javier Iza Nuñez, y N° 1724309800; manifestamos que:  
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 27 de marzo de 2023

Atentamente,



Víctor Hugo López Valencia  
1724869019



Jonathan Javier Iza Nuñez  
1724309800

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Victor Hugo López Valencia con el documento de identificación N.º 1724869019 y Jonathan Javier Iza Nuñez, y N.º 1724309800, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: "Análisis de la resistencia a la fatiga en AA 7075 T6 en función del ensayo de flexión rotativo", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de marzo de 2023

Atentamente,



Víctor Hugo López Valencia

1724869019



Jonathan Javier Iza Nuñez

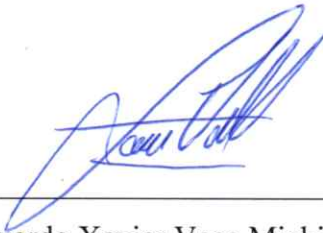
1724309800

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Xavier Vaca Michilena con documento de identificación N° 1721078424 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA EN AA 7075 T6 EN FUNCIÓN DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ROTATIVO, realizado por Victor Hugo López Valencia con el documento de identificación N.° 1724869019 y Jonathan Javier Iza Nuñez, y N.° 1724309800, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 27 de marzo de 2023

Atentamente,



---

Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena, MSc

1721078424

## INDICE DE CONTENIDOS

Introducción .....	1
Antecedentes .....	2
Problema .....	4
Objetivos .....	6
General .....	6
Específicos .....	6
Metodología .....	7
CAPITULO I.....	8
1.Marco Teórico .....	8
1.1.    Aluminio.....	8
1.2.    Aleaciones de aluminio .....	8
1.2.1.    Clasificación de las aleaciones de aluminio .....	9
1.2.2.    Propiedades .....	11
1.2.3.    Aleación de aluminio 7075 T6.....	11
1.2.4.    Propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión .....	13
1.3.    Tratamiento térmico .....	13
1.4.    Ensayo de flexión.....	14
1.4.1.    Ensayo de flexión rotativa .....	14
1.4.2.    Ensayo de flexión por tres puntos .....	14
1.4.3.    Ensayo de flexión por cuatro puntos .....	15
1.5.    Clasificación de máquinas para ensayos a fatiga de flexión rotativa.....	16
1.5.1.    Máquina para ensayo de flexión rotativa R.R. Moore .....	16
1.5.2.    Máquina para ensayo de flexión rotativa Amsler .....	17
1.5.3.    Máquina para ensayo de flexión rotativa Wöhler .....	18

1.6.	Norma ASTM E466-15 .....	19
1.6.1.	Diseño de muestras.....	19
1.6.2.	Dimensiones de la muestra .....	20
1.7.	Curva de Wöhler .....	21
CAPITULO II .....		24
2.	Generalidades .....	24
2.1.	Comprobación de material .....	24
2.2.	Acondicionamiento de la máquina.....	25
2.2.1.	Sistema de sujeción .....	26
2.2.2.	Sistema de pesos .....	30
2.2.3.	Sistema de control de la máquina.....	31
2.2.4.	Sistema de acople entre el eje del motor y el eje de prueba .....	34
2.3.	Experimentación .....	36
2.4.	Preparación de probetas.....	37
2.4.1.	Mecanizado del material.....	38
2.5.	Ensayo de tracción .....	41
2.5.1.	Diseño y norma para la probeta .....	44
2.6.	Ensayo de fatiga.....	45
2.7.	Cálculo de esfuerzo en la sección según el peso .....	46
CAPITULO III .....		51
3.	Análisis de resultados .....	51
3.1.	Resultados de pruebas a tracción .....	51
3.2.	Resultados de ensayo a fatiga por flexión rotativa .....	55
3.3.	Costos.....	58
3.3.1.	Costos de acondicionamiento de la máquina .....	58
3.3.2.	Costos Directos .....	59

3.3.3. Costos Indirectos.....	59
Conclusiones .....	60
Recomendaciones .....	62
Referencias.....	63
Anexos .....	72

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de aleaciones vaciadas de aluminio [16].	10
Tabla 2. Clasificación de aleaciones de aluminio para forja [16]	10
Tabla 3. Composición química de AA7075-T6 [22].	12
Tabla 4. Propiedades mecánicas en tracción [23].	12
Tabla 5. Propiedades físicas de aluminio 7075-T6 [24].	12
Tabla 6. Nomenclatura de cada muestra y especificación del recubrimiento de cada una [44].	22
Tabla 7. Relación de características mecánicas entre proveedores y los resultados obtenidos por el ensayo a tracción.	24
Tabla 8. Análisis entre sistemas de sujeción.	28
Tabla 9. Análisis entre sistemas de control.	34
Tabla 10. Parámetros de corte portaherramientas [52].	39
Tabla 11. Parámetros de corte inserto, [52].	39
Tabla 12. Esfuerzos máximos según la carga sobre la probeta.	50
Tabla 13. Parámetros establecidos por el proveedor ImportCom.	54
Tabla 14. Error porcentual entre el valor real y el valor obtenido por el ensayo de tracción.	54
Tabla 15. Comparación de propiedades mecánicas.	55
Tabla 16. Datos obtenidos por el ensayo de flexión rotativa.	55
Tabla 17. Datos para el cálculo del coeficiente de correlación	56
Tabla 18. Costos de acondicionamiento de la máquina.	58
Tabla 19. Costos directos del proyecto.	59
Tabla 20. Costos indirectos del proyecto.	59



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tratamiento térmico de envejecido artificial T6 [13].	13
Figura 2. Esquema del dispositivo [28].	14
Figura 3. (a) Representación esquemática del ensayo de flexión por tres puntos. (b) Carga aplica en el ensayo de flexión por tres puntos [29].	15
Figura 4. (a) Esquema de flexión en cuatro puntos. (b) Esquema de la mitad de la prueba bajo carga. (c) Deformación detallada [31].	15
Figura 5. Esquema de la máquina R.R. Moore [32].	16
Figura 6. Diagrama de momento y cortante generado en una máquina R.R. Moore que se da en una probeta [34].	17
Figura 7. Máquina Amsler [36].	18
Figura 8. Esquema de una máquina de ensayo de fatiga Wöhler [37].	19
Figura 9. Zona de prueba para un ensayo de flexión rotativa, tomando en cuenta que las medidas son fijas, [40]	20
Figura 10. Espécimen de sección transversal circular con radio continuo entre los extremos, [39].	21
Figura 11. Comparación entre el material de referencia (A7R) y respecto el material con pre tratamiento (A7PR) [44].	23
Figura 12. Comparación entre el material base y las muestras anodizadas a diferentes espesores [44].	23
Figura 13. Máquina de ensayo de metales sometidos por flexión rotativa con capacidad de 30 kgf-m.	25
Figura 14. Vista superior de la máquina de ensayo.	25
Figura 15. Mandril o porta brocas [45].	26
Figura 16. Porta boquilla mango cilíndrico [46].	27
Figura 17. Boquilla tipo ER40, con sus respectivas medidas nominales [46].	27
Figura 18. Plato de mordaza [47].	28
Figura 19. Máquina de flexión rotativa con una capacidad de 295 N.	29
Figura 20. Acercamiento al nuevo sistema de sujeción con una probeta de muestra.	30
Figura 21. Sistema para el uso de pesos para el ensayo de flexión rotativa.	30
Figura 22. Sistema principal de control.	31

Figura 23. Sensor inductivo junto a elemento mecánico acoplado al motor.	32
Figura 24. Switch de fin de carrera, accionado por la placa perteneciente a la zona de ensayo.	32
Figura 25. Placa Arduino uno [48].	33
Figura 26. Ejemplo de un Raspberry pi [49].	33
Figura 27. Sistema de acople original y actual de la máquina.	35
Figura 28. Tipos de acople de matrimonio [50].	35
Figura 29. Acople flexible tipo k [32].	35
Figura 30. Flujo grama del diseño experimental.	37
Figura 31. Torno CNC. Marca EMCOMAT E-200 [51].	38
Figura 32. Máquina Universal Test Resource.	42
Figura 33. Sujeción con mordazas.	43
Figura 34. Rotura de Probeta.	43
Figura 35. Especificaciones para el ensayo de tracción según ASTM E8 [54].	44
Figura 36. Extensómetro Axial 3542-050M-025-ST, [55].	44
Figura 37. Diseño de la probeta de tracción según ASTM E8.	45
Figura 38. Muestras con un radio continuo entre los extremos, [54].	46
Figura 39. Diseño de la probeta de fatiga según ASTM E466 - 15.	46
Figura 40. Diagrama de reacciones y cargas.	47
Figura 41. Diagrama de fuerza cortante, [56].	48
Figura 42. Diagrama de momento flector, [56].	49
Figura 43. Probetas de tracción.	51
Figura 44. Probeta 1 después de ensayo de tracción.	52
Figura 45. Grafica de resultados de la Probeta 1.	52
Figura 46. Probeta 2 después de ensayo de tracción.	52
Figura 47. Grafica de resultados de la Probeta 2.	53
Figura 48. Probeta 3 después de ensayo de tracción.	53
Figura 49. Grafica de resultados de la Probeta 3.	54
Figura 50. Diagrama S-N de AA 7075 T6.	57
Figura 51. Modelo de resistencia a la fatiga mediante Ansys Granta, [58].	58
Figura 52. Factura de boquillas usadas en el sistema de sujeción	72
Figura 53. Factura del porta boquilla y boquillas usadas para el sistema de sujeción	73

Figura 54. Factura Aceros del sur del material usado Duraluminio 7075T6	74
Figura 55. Torno CNC. Universidad Politécnica Salesiana	75
Figura 56. Especificaciones del motor	75
Figura 57. Probetas usadas para pruebas de fatiga	75
Figura 58. Pesos Usados	76
Figura 59. Pulsador adaptado al sistema de mando	76
Figura 60. Proceso de fabricado de probetas	77
Figura 61. Sistema de mando eléctrico	77
Figura 62. Barra de sujeción de peso	78
Figura 63. Probeta en prueba de tracción	78
Figura 64. Contador de Tiempo, revoluciones y velocidad media	79
Figura 65. Control de mando de Torno CNC	79
Figura 66. Probetas numeradas por peso	80
Figura 67. Placa soldada, para mayor estabilidad del peso.	80
Figura 68. Mandril usado en máquina de flexión rotativa.	81

## **INDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1.....	39
Ecuación 2.....	40
Ecuación 3.....	40
Ecuación 4.....	49
Ecuación 5.....	56

## **Resumen**

El propósito de este estudio es mejorar e implementar la máquina de análisis de flexión rotativa de aleación de aluminio 7075 T6 para ensayos de fatiga para que los estudiantes de ingeniería mecánica puedan ampliar experimentalmente sus entendimientos en la rama de la mecánica de recibo a través de prácticas de laboratorio. Dado que el comportamiento de los metales en situaciones de fatiga es un área poco investigada en el laboratorio debido a los desafíos de mantener y actualizar la infraestructura, se desarrolló un plan de rehabilitación para una máquina rotatoria de fatiga flexible para facilitar la recopilación de datos. El plan incluye cambios en el sistema de control, el posicionamiento de los componentes y el sistema de montaje de la máquina, que permitieron realizar las pruebas exitosamente.

Para dar solución a este problema, este trabajo se enfocó en lograr los siguientes objetivos mediante la identificación del material de aleación de aluminio 7075 T6, la cual se llevó a cabo por medio de un ensayo de tracción, usando las normas estandarizadas según el caso. Con ello se pudo usar la máquina de flexión rotativa R. R. Moore para los ensayos de fatiga y poder obtener la curva S-N correspondiente al material de ensayo. El ensayo de fatiga por flexión rotativa demostró una relación invertida entre la labor aplicada a la probeta y el número de etapas hasta el error, ya que, a mayor carga, menor número de ciclos.

*Palabras claves: tracción, fatiga, aleación, esfuerzo*

## **Abstract**

The purpose of this study is to improve and implement the 7075 T6 aluminum alloy rotary bending analysis machine for fatigue testing so that mechanical engineering students can experimentally broaden their understanding in the field of receiving mechanics through practicals from laboratory. Since the behavior of metals in fatigue situations is an under-researched area in the laboratory due to the challenges of maintaining and upgrading the infrastructure, a rehabilitation plan for a flexible fatigue rotating machine was developed to facilitate data collection. The plan includes changes in the control system, the positioning of the components and the assembly system of the machine, which allowed the tests to be carried out successfully.

To solve this problem, this work focused on achieving the following objectives through the identification of the 7075 T6 aluminum alloy material, which was carried out by means of a tensile test, using the standardized norms according to the case. With this, it was possible to use the R. R. Moore rotary bending machine for the fatigue tests and to obtain the S-N curve corresponding to the test material. The rotational bending fatigue test demonstrated an inverted relationship between the work applied to the specimen and the number of steps until the error, since the higher the load, the fewer number of cycles.

*Keywords: traction, fatigue, alloy, stress*

## **Introducción**

Los requerimientos de la industria moderna demandan materiales livianos, con mayor facilidad para su uso y altos parámetros de durabilidad. Las mezclas metálicas de aluminio de la serie 7xxx se utilizan generalmente en las industrias aeroespacial, de defensa y automotriz debido a su alta relación resistencia-densidad [1].

Para lograr la terapia térmica T6, la aleación de aluminio 7075 debe recocerse a 529 °C y luego envejecerse artificialmente a 177 °C durante 2 horas para soportar la tensión máxima [2].

Para demostrar la oposición a la astenia de la mezcla de aluminio 7075 T6, existe una amplia gama de ensayos que pueden utilizarse para determinar valores que suelen corresponder a las fichas técnicas proporcionadas por el proveedor. En este proyecto se utiliza la máquina R.R. Por lo tanto, puede realizar una prueba de flexión torsional con Moore, con la ventaja de una calibración y un control sencillos (R.R. Moore).

El propósito de probar esta aleación de aluminio 7075 es determinar la resistencia a la fatiga utilizando una muestra que define su geometría de acuerdo con los estándares establecidos por organismos internacionales.

## Antecedentes

Debido a su excelente firmeza a la oxidación mecánica y química, las mezclas de aluminio 7075 T6 son materiales estándar en la industria aeroespacial. El objetivo de la investigación sobre este material ha sido durante mucho tiempo mejorar sus propiedades y minimizar las repercusiones adversas sobre el entorno y las personas [3]

La fatiga es el tipo predominante de falla en las estructuras de aluminio, el deterioro de las propiedades de fatiga como resultado del tratamiento superficial es inaceptable. La resistencia a la fatiga está íntimamente relacionada con el tratamiento superficial de la pieza. Pequeños defectos pueden causar límites de resistencia significativos [4]

Las investigaciones realizadas por Simbaña et al [5] muestra que la fatiga por flexión es una de las formas más viables de obtener resultados más confiables dando lugar a diversas teorías y a la creación de máquinas para realizar diversos ensayos de fatiga, siendo la más común la máquina rotativa flexible equipada originalmente con elementos y partes mecánicas. Análogamente, en esta prueba se cuantificó la cantidad de ciclos hasta el fallo. Se requiere un diseño de materiales para obtener información más detallada en experimentos que tengan la necesidad de una máquina con un conjunto de consecución y análisis de datos digitales.

Las pruebas de fatiga de cuatro puntos proporcionan una muestra de momento único entre dos puntos de carga internos, aseguran un nivel de tensión uniforme y proporcionan datos de desplazamiento neto utilizando fuerzas proporcionales. El dispositivo de muestreo reduce los costos de producción de muestras [3].

Con esta prueba, el efecto del acabado superficial se puede correlacionar con la durabilidad y el límite de fatiga, permitiendo un mejor control de grietas y crecimiento. Sin embargo, no existe una norma que proporcione los parámetros necesarios para realizar las prácticas de fatiga en flexión en 4 puntos [6].

El estudio muestra datos para la aleación 7075-T6 que muestran que, según la gravedad de la mancha, la disminución de la resistencia al cansancio puede alcanzar casi el 60 % en 107 ciclos de fatiga. Son entonces muy sensibles a la corrosión superficial por picaduras y por lo tanto



tienen una alta densidad de defectos superficiales que son favorables para la formación de grietas por fatiga.

## Problema

La fatiga de las aleaciones de aluminio no es una propiedad muy favorable para el AA 7075 T6, algunos estudios van encaminados a mejorar su comportamiento a fatiga, lo que amplía el área de aplicación para que se pueda mejorar su comportamiento. Sin embargo, Gong et al afirman que el daño por fatiga es causado por el nivel de tensión, para lo cual analizaron tres estados de envejecimiento del AA 7075, los cuales son: envejecimiento excesivo, donde generalmente disminuye el rendimiento, se reduce la fatiga por corrosión porque en este estado las picaduras son más probablemente debido a la distancia y el tamaño de los escalones, lo que provoca la formación de grietas. El segundo estado es el pico de envejecimiento, en este estado el comportamiento de fatiga por corrosión es mejor en comparación con el estado anterior. Y finalmente, existe el subenvejecimiento donde AA 7075 es más susceptible a la fatiga por corrosión [8].

La resistencia a la fatiga del AA 7075 T6 no es la misma que la del acero, por lo que Tsai et al [8] utilizaron una junta de dos placas AA 7075 T6 con un espesor de 7.62 cm, con esta muestra se roció una corriente con revestido continuo, usando diferentes espesores de película delgada de vidrio metálico a base de circonio, que fueron de 200 nm, 300 nm, 00 nm y 500 nm; incluyendo una capa amortiguadora de titanio de 50 nm[9]

Se ha demostrado que la vida de fatiga del AA 7075 T6 ha aumentado hasta 250 MPa, que es 26 veces su nivel de tensión. Por el contrario, el límite de fatiga aumentó un 56,7% de 150 MPa a 235 MPa.

El recubrimiento a base de circonio que se le dio al AA 7075 T6 evitó la propagación de muescas o grietas porque produce un muy buen esfuerzo de compresión y su fuerte adherencia es notable. Lo que conduce a un excelente potencial en los recubrimientos a base de circonio.

En este trabajo, el AA 7075 T6 se somete a una prueba de flexión cíclica, ya que las empresas actualmente buscan materiales confiables para los sistemas de producción, materiales con una ficha técnica que destaque datos precisos de durabilidad. Las investigaciones sobre fatiga se remontan al siglo XIX, y uno de los pioneros en la materia y en la fabricación de máquinas de ensayo es el ingeniero alemán Wöhler, quien se ocupa de la necesidad de limitar la tensión

máxima correspondiente a la fractura del material y el número de ciclos. Gracias a las variables de tensión y número de ciclos se pueden evitar fallas industriales que podrían derivar en potenciales desastres [10].

Entre los equipos necesarios para realizar el ensayo de fatiga por flexión inversa se encuentra una máquina tradicional de fatiga por flexión inversa en las instalaciones de la Universidad Salesiana de Ciencias Aplicadas. El pre acondicionamiento de la máquina es necesario para completar la prueba, por lo que para obtener una prueba exitosa, se debe cambiar el sistema de control, también se deben probar o reemplazar los sensores si es necesario, y se debe agregar un sistema de pesas, que son cargas puntuales para ayudar a la prueba. El mantenimiento adecuado de una máquina dobladora rotativa convencional puede producir resultados precisos para este documento.

## **Objetivos**

### **General**

Evaluar el análisis de la resistencia a la fatiga en AA 7075 T6 en función del ensayo de flexión rotativa.

### **Específicos**

- Identificar el material de aleación de aluminio 7075 T6 con sus propiedades mecánicas según el proveedor nacional.
- Diseñar un plan de acondicionamiento a la máquina de fatiga para facilitar la obtención de datos enfocados a la aleación de aluminio 7075 T6.
- Aplicar un ensayo de fatiga por flexión rotativa según las normas internacionales estandarizadas en la aleación de aluminio 7075 T6, mediante la aplicación de dos cargas puntuales en la probeta, entre cargas positivas y negativas de igual magnitud.
- Analizar los resultados del ensayo de flexión rotativa, para conocer las propiedades de resistencia a fatiga de la aleación de aluminio 7075 T6.

## **Metodología**

Hay varias pruebas para identificar las propiedades de los compuestos, incluida un test de flexión, que mide la rigidez.

La prueba de la curva tiene varias aplicaciones, dependiendo de si la prueba se realiza en tres, cuatro o incluso seis puntos.

Gracias a la disponibilidad de equipos, dentro del proyecto se realizó un ensayo de fatiga por retroflexión en los centros de experimentación de la Universidad Salesiana de Ciencias Aplicadas. Manuel Navarro desarrolló su labor con la mezcla de aluminio 7075-T6 y evaluó las diferencias en las estrategias de experimentación de fatiga para articulación trasera, flexión rotacional de cuerpos planos y articulación en cuatro puntos. En este caso, el ensayo de flexión inversa muestra que los espesores no afectan negativamente la reacción de fatiga de la mezcla; es decir, muestra que la técnica de ensayo de fatiga afecta la consecuencia numérica de firmeza y umbral de debilidad. Por otro lado, cuando se trabaja con probetas planas en ensayos de fatiga, un crecimiento del espesor de la cobertura anodizado no supone un decremento de los atributos de fatiga e incremento significativamente el margen de fatiga del compuesto [11].

# CAPITULO I

## 1. Marco Teórico

### 1.1. Aluminio

El aluminio, con un tercio de la densidad del acero (2,7 g/cm<sup>3</sup>), es un elemento metálico con estructura reticular FCC y uno de los componentes más comunes en la corteza terrestre.

Es comúnmente utilizado por muchas industrias, como la aeroespacial, automotriz, bebidas y empaques. Su alta flexibilidad también ayuda en la producción, ya que se puede laminar en espesores muy finos. Las aleaciones de aluminio contienen los siguientes componentes: magnesio, litio, cobre, silicio, estaño, manganeso y zinc [12].

### 1.2. Aleaciones de aluminio

Debido a que es blando, maleable y tiene poca resistencia mecánica, el aluminio se usa en su forma básica. Su símbolo químico es Al. Las aleaciones suelen mejorar sus cualidades mecánicas, como la solidez y la firmeza, añadiendo pequeñas cantidades de otros dos elementos químicos.

Debido a su alta firmeza, suavidad, difusividad térmica, Fuerza máxima soportada y otros atributos, el aluminio y sus aleaciones han jugado durante mucho tiempo un papel primordial en la industria del transporte. Estas características también son importantes para la industria de la aviación, también presente en el mercado espacial y en la industria automotriz.

Ti, Zn, Cr, Zr, Fe, Mg, Si, Cu, Li, B, W y Ni son los elementos químicos más utilizados en la producción de aleaciones de aluminio. El uso previsto, los requisitos y las aplicaciones de la mezcla influyen en gran medida en las propiedades resultantes.

Debido a su masa, que reduce el peso del vehículo, y al porcentaje significativamente menor de acero, las aleaciones son conocidas en el mundo industrial como "ligeras". Como resultado, pueden encontrar uso en la industria del transporte, puesto que reduce de forma grave e irreversible la cantidad de gases contaminantes que dañan la atmósfera y reduce el consumo de combustible [13].

Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grandes categorías:

- Aleaciones de aluminio para moldeo.
- Aleaciones de aluminio para conformado.

### **1.2.1. Clasificación de las aleaciones de aluminio**

La clasificación de las aleaciones de aluminio se da por dos métodos diferentes, que son aleaciones vaciadas de aluminio y aleaciones de aluminio para forja, pero dentro de estas clasificaciones, existe una organización que tiene que ver según el elemento que contenga cada aleación, y dentro de esta subclasificación también se toma en cuenta que cada una de estas se agrupa de acuerdo con el endurecimiento al que cada uno haya sido aplicado. Para una mayor explicación de cada número según corresponda la aleación, el primer número tiene relación con el elemento de aleación, el segundo número hace referencia a las modificaciones a la aleación. La serie 1xxx se considera un caso especial, por tanto, en esta el tercer número y el cuarto número indica la porción mínima de aluminio en dicha aleación, para el resto de los casos los dígitos anteriormente mencionados indica las diferentes aleaciones en el grupo. Los procesos por los cuales se obtienen las aleaciones, se va a detallar a continuación [14].

**1.2.1.1. Aleaciones vaciadas de aluminio.** Este tipo de aleación vaciada de aluminio tiende a una mínima formación de grietas en la contracción, también posee una excelente contabilidad. El proceso de fundición en las aleaciones de aluminio vaciadas puede darse en tres tipos: molde de arena, molde metálico y fundición por presión. Uno de estos procesos puede ser elegido dependiendo del diseño y volumen de producción

Las propiedades mecánicas en estas aleaciones de aluminio vaciadas son mejoradas, como la alta resistencia a la corrosión, tensión y ductilidad. Para diferenciar si el vaciado es directo o en lingote, la ANSI ("American National Standards Institute") usa cuatro números, añadiendo un punto decimal en la penúltima posición [15]. Por ello en la Tabla 1 se observa la clasificación de aleaciones de aluminio por vaciado, según el elemento de aleación.

**Tabla 1.** Clasificación de aleaciones vaciadas de aluminio [16].

<b>Aleaciones de aluminio</b>		
Series	Aleaciones	Descripción
1xxx	Aluminio puro	No es endurecible por envejecimiento
2xxx	Al-Cu	Endurecible por envejecimiento
3xxx	Al-Si-Cu o Al-Mg-Si	Algunos endurecibles por envejecimiento
4xxx	Al-Si	No es endurecible por envejecimiento
5xxx	Al-Mg	No es endurecible por envejecimiento
7xxx	Al-Mg-Zn	Endurecible por envejecimiento
8xxx	Al-Sn	Endurecible por envejecimiento

**1.2.1.2. Aleaciones de aluminio para forja.** Su microestructura es diferente a las aleaciones vaciadas de aluminio, dado que estos se conforman por deformación plástica. Esto denota gran diferencia en la producción que se vaya a realizar. La ANSI es encargada de asignar a cada aleación un número de serie como se demuestra en la Tabla 2, el primer número depende del elemento principal de aleación, estos varían del 1xxx al 8xxx. El segundo dígito tiene señalada los límites de impureza, es decir que si este es cero significa que no tiene impureza, al igual que el primer dígito este varía del uno al nueve. Los últimos dígitos son de suma importancia tan solo en la serie 1xxx, en las otras series solo se ocupan para notar la diferencia entre aleaciones [17].

**Tabla 2.** Clasificación de aleaciones de aluminio para forja [16]

<b>Clasificación de aleaciones para forja</b>		
Series	Aleación	Descripción
1xxx	Aluminio puro >99%	No es endurecible por envejecimiento
2xxx	Al-Cu y Al-Cu-Li	Endurecible por envejecimiento
3xxx	Al-Mn	No es endurecible por envejecimiento
4xxx	Al-Si y Al-Mg-Si	Endurecible por envejecimiento si está presente el magnesio
5xxx	Al-Mg	No es endurecible por envejecimiento
6xxx	Al-Mg-Si	Endurecible por envejecimiento
7xxx	Al-Mg-Zn	Endurecible por envejecimiento
8xxx	Al-Li, Sn, Zr o B	Endurecible por envejecimiento



### ***1.2.2. Propiedades***

En este caso, el silicio y el hierro son probablemente las imperfecciones más comunes en el aluminio obtenido. La pureza del aluminio conseguido en el desarrollo de electrólisis en baño de criolita es del 99,5-99,7 por ciento. Las propiedades químicas, físicas y mecánicas del aluminio son muy llamativas [17].

### ***1.2.3. Aleación de aluminio 7075 T6***

El zinc actúa como ingrediente principal en esta mezcla. Comparado con otros metales, es fuerte, fácil de manejar y tiene buena resistencia a la fatiga. Su elevada solidez mecánica, resistencia a la degradación y durabilidad a la fatiga, alta fortaleza y alto índice de solidez son los más importantes.

Las mezclas de aluminio de la serie 7xxx se utilizan en diversas industrias, como la robótica, la automotriz, la aeroespacial y la industria marina. La composición FCC de estas aleaciones es típica. Estas aleaciones se someten a varios tratamientos térmicos como recocido, revenido y envejecimiento para optimizar su microestructura. [18].

Este tipo de aleación es problemática para la industria aeroespacial debido a su microestructura heterogénea, que favorece la propagación de la corrosión. Para contrarrestar la baja resistencia a la corrosión que tiene la aleación de aluminio 7075 T6, se realiza tratamientos termoquímicos como el anodizado, tratamiento que ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión [19].

Existen diversos tipos de aleaciones de aluminio, las cuales tienen en común el tener entre dos a cuatro elementos aleantes para formar una aleación de aluminio. La aleación de aluminio 7075 T6 pertenece a la familia 7xxx, en esta familia los principales elementos aleantes son el Zn y el Cu. En la tabla 3 se presenta la composición química de la aleación de aluminio 7075 T6, además especifica el porcentaje de cada elemento que contiene la aleación de aluminio 7075 T6.

**Tabla 3.** Composición química de AA7075-T6 [22].

<b>Composición química de AA 7075-T6</b>					
	<b>Al (%)</b>	<b>Zn (%)</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Mg (%)</b>	<b>Mn (%)</b>
<b>7075-T6</b>	86.9-91.4	5.1-6.1	1.2-2.0	2.1-2.9	0.30

Las propiedades mecánicas que respectan a la aleación de aluminio 7075 están mejoradas debido al tratamiento térmico T6. Se observa en la tabla 4 las magnitudes correspondientes al esfuerzo máximo, límite de fluencia y el modulo elástico de la aleación de aluminio 7075 T6, siendo estas propiedades superiores con respecto al aluminio en su estado base [21].

**Tabla 4.** Propiedades mecánicas en tracción de Aleación de aluminio 7075 T6 [23].

<b>Propiedades mecánicas en tracción de AA 7075-T6</b>					
<b>Aleación</b>	<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Máximo</b>	<b>Límite de fluencia (MPa)</b>	<b>Alargamiento (%)</b>	<b>50mm E (GPa)</b>
<b>7075-T6</b>	570		505	11	71

Para mayor comprensión de la aleación de aluminio 7075 T6 se presenta en la tabla 5 las propiedades físicas, tales como la densidad, la dureza, el rango de fusión, entre otras.

**Tabla 5.** Propiedades físicas de aluminio 7075-T6 [24].

<b>Propiedades físicas de aluminio 7075-T6</b>	
Densidad ( <i>gr/cm3</i> )	2.80
Rango de fusión (°C)	475-630
Módulo de elasticidad (MPa)	72000
Coefficiente de Poisson	0.33
Calor específico (0 a 1000 °C)	915
Dureza	158 HB/152 - 168 HV
Tenacidad a la Fractura (MPa)	31

#### 1.2.4. Propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión

Debido a sus propiedades como dimensión de plasticidad, límite elástico, inmunidad a la estiramiento y durabilidad, la mezcla de aluminio 7075 T6 es la aleación de aluminio más popular en la industria aeroespacial.

Debido a sus cualidades como constante de elasticidad, borde elástico, resistencia a la tracción y durabilidad, la aleación de aluminio 7075 T6 es la aleación de aluminio más popular en la manufactura aeroespacial.

La durabilidad a la oxidación del aluminio integro es sobresaliente, pero si se agregan Zn, Mg y Cu a la mezcla de aluminio 7075 T6, la durabilidad a la oxidación de la aleación disminuye y la durabilidad aumenta [25].

#### 1.3. Tratamiento térmico

Como se demuestra en la figura 1, la aleación A7075 requiere un envejecimiento artificial a 529 °C después del recocido, por lo que debe pasar dos horas en un horno atmosférico o de sal a 177 °C para lograr la máxima dureza y resistencia a la tracción. Dado que el aluminio A7075-T6 se utiliza en piezas fundidas y aeroespaciales, este proceso de acabado cambia su condición [13].

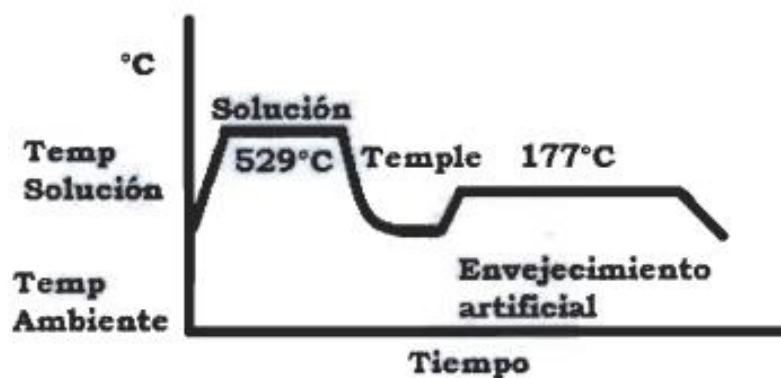


Figura 1. Tratamiento térmico de envejecido artificial T6 [13].

## 1.4. Ensayo de flexión

Este tipo de ensayo es usado para medir la resistencia del material y la rigidez. Este ensayo ayuda a resolver el patrón de flexibilidad, también conocido como módulo de flexión [26].

La flexión es la alteración que se produce en partes mecánicas que están sometidos a cargas que son perpendiculares a su eje longitudinal. Se denomina esfuerzo de flexión puro o simple a los pares de fuerza aplicadas sobre un mecanismo, con la intención de provocar un giro de las secciones transversales [27].

### 1.4.1. Ensayo de flexión rotativa

Las pruebas que se realizan en los diferentes materiales son de ayuda para demostrar propiedades mecánicas en los materiales. El objetivo de este tipo de ensayo es someter a una probeta de sección circular un momento flector que varía linealmente en cada parte de la longitud del eje como se observa en la figura 2. Este tipo de ensayos suele realizarse en secciones circulares que tengan radios menores a 10 mm de diámetro [28].

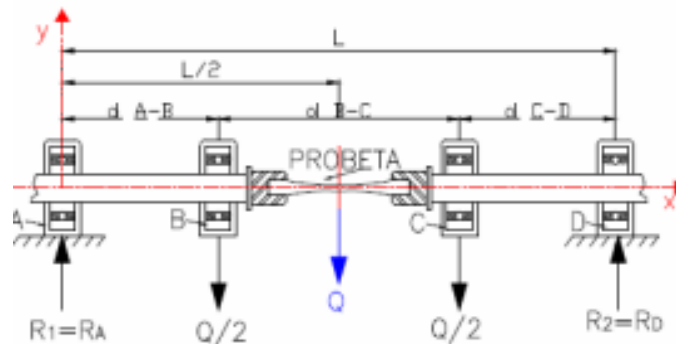
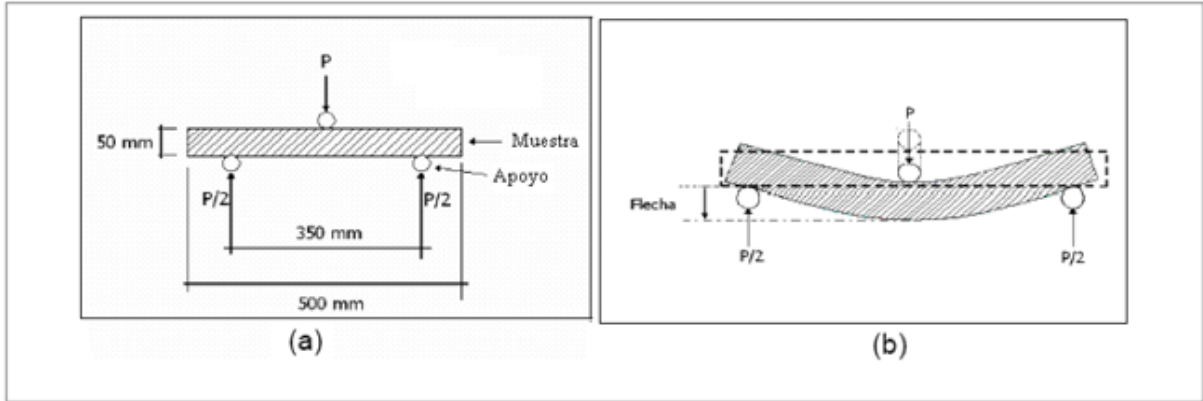


Figura 2. Esquema del dispositivo [28].

### 1.4.2. Ensayo de flexión por tres puntos

La aplicación de una carga transversal durante el experimento de elasticidad en tres puntos revela la deformación y el comportamiento del material. Para lograr la deflexión que se demuestra en la figura 3 (b), la carga transversal P indicada en la figura 3 (a) se aplica a la probeta, considerando que se requieren dos apoyos para lograr la deflexión.

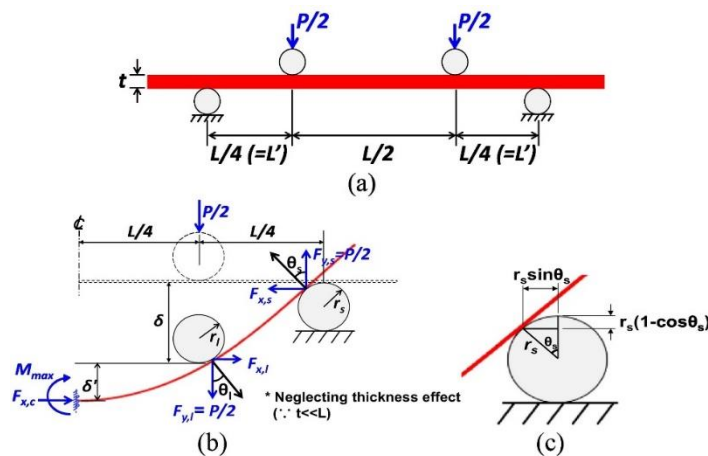


**Figura 3.** (a) Representación esquemática del ensayo de flexión por tres puntos. (b) Carga aplicada en el ensayo de flexión por tres puntos [29].

Además del típico ensayo de fractura del hormigón, el experimento de elasticidad en tres puntos es uno de los más populares en las áreas de la ingeniería civil [30].

#### 1.4.3. Ensayo de flexión por cuatro puntos

En contraste con la verificación de articularon de tres puntos, en esta prueba se aplica una carga  $P$  a dos rodillos de carga, lo que resulta en una carga  $P/2$ , como se demuestra en la figura 4 (a), que afecta la superficie de la tarjeta. Además, cuenta con dos soportes en la base de la probeta. La figura 4 (b) muestra la deflexión que ocurre cuando se aplica la carga, lo que indica que la prueba fue exitosa. Por otra parte, en la figura 4 (c) se ilustra el desplazamiento que se genera cuando la carga ha sido aplicada, tomando como referencia un punto ubicado en la parte superior del eje [31].



**Figura 4.** (a) Esquema de flexión en cuatro puntos. (b) Esquema de la mitad de la prueba bajo carga. (c) Deformación detallada [31].

## 1.5. Clasificación de máquinas para ensayos a fatiga de flexión rotativa

La clasificación de las máquinas para este tipo de ensayos depende de su utilidad, incluyendo las necesidades que cubren los ensayos y su disponibilidad. Los resultados de cada persona pueden ser diferentes en comparación con los demás, por lo tanto, su sistema de trabajo es diferente, por lo que los parámetros también son diferentes.

### 1.5.1. Máquina para ensayo de flexión rotativa R.R. Moore

La característica especial de esta máquina es que aplica la muestra en dos puntos a lo largo de la muestra cuando se fija en ambos lados como se demuestra en la figura 5. Su funcionamiento es que la máquina forma una curva inversa en la muestra, el centro desde el cual se dobla por la carga de flexión  $P$  con constante de momento de flexión [32] [33].

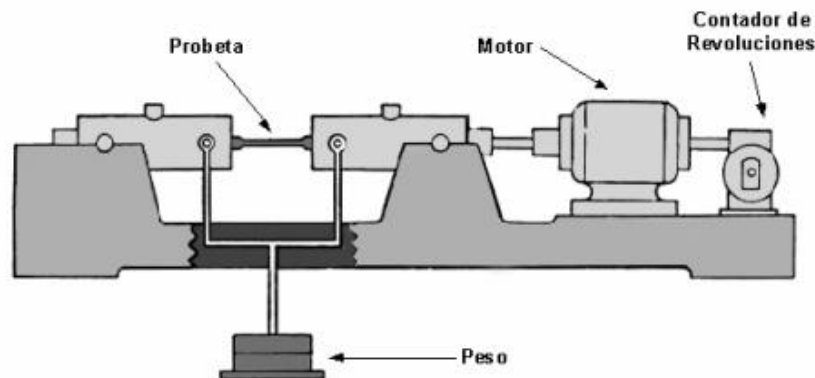
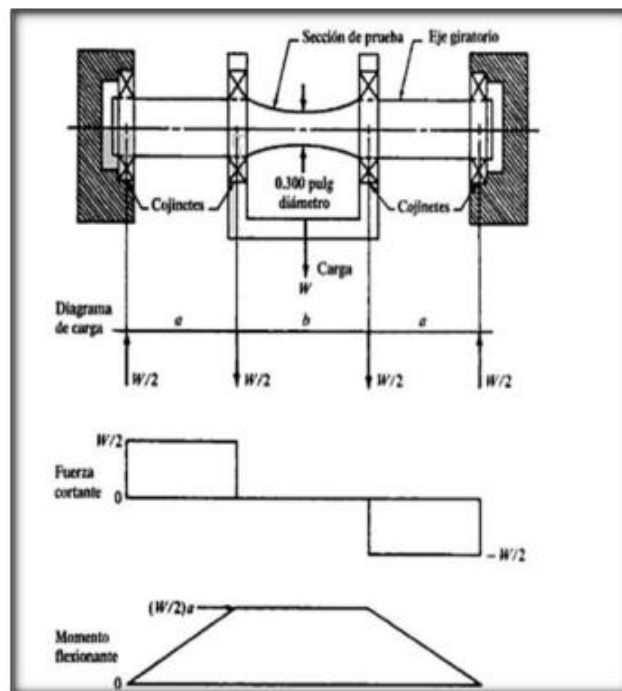


Figura 5. Esquema de la máquina R.R. Moore [32].

En cada media vuelta, la muestra se dobla, lo que hace que los esfuerzos aplicados cambien de tensión a compresión o de compresión a tensión. Esto da como resultado el siguiente diagrama de momento de flexión versus fuerza cortante como se demuestra en la figura 6.



**Figura 6.** Diagrama de momento y cortante generado en una máquina R.R. Moore que se da en una probeta [34].

Como se demuestra en el diagrama de cuerpo libre, el momento que actúa sobre la probeta es:

$$M = \left(\frac{W}{2}\right) \alpha$$

Donde M es el momento que actúa sobre la probeta y su unidad está dada en Newtons por milímetro (N\*mm), W es el peso aplicado a la probeta dado en Newtons (N) y  $\alpha$  es la distancia que se tiene entre cada reacción y esta expresada en milímetros (mm).

### 1.5.2. Máquina para ensayo de flexión rotativa Amsler

Existe dos tipos de esta máquina, uno de estos se denomina máquina de fatiga con pulsador Amsler como se ilustra en la figura 7. Esta trabaja de manera vertical, modo por el cual genera esfuerzos axiales alternados y discontinuos. Su mecanismo es impulsado por un sistema de aceite a presión, la cual tiene una variación entre un límite superior e inferior [35].



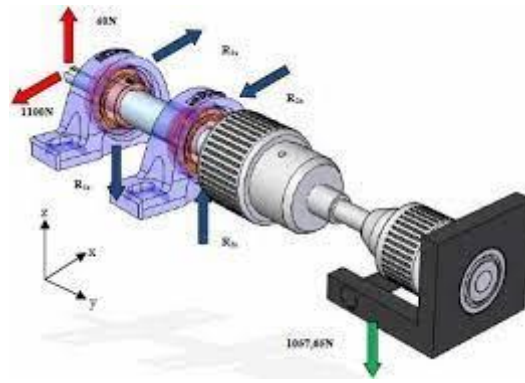
**Figura 7.** Máquina Amsler [36].

El otro tipo de esta máquina para ensayos trabaja de forma horizontal. Su sistema de funcionamiento consiste en que un motor localizado en la zona inferior de la bancada, el cual transmite un movimiento de rotación mediante una polea que acciona un manguito rotador en el cual se encuentra dos probetas, una en cada extremo. Por último, los anillos con pesos que ayudan al ensayo se sitúan al otro extremo de cada probeta [32].

### ***1.5.3. Máquina para ensayo de flexión rotativa Wöhler***

Conocida también como máquina de flexión rotativa en voladizo, su funcionamiento consiste en que se aplica una carga puntual al extremo que se encuentra en voladizo, al otro extremo se sostiene mediante un mandril que tiene conexión directa con el motor, para una mejor apreciación se puede mirar la figura 8.





**Figura 8.** Esquema de una máquina de ensayo de fatiga Wöhler [37].

La probeta no es uniforme según las normas estandarizadas con respecto a ensayos de flexión, la geometría de esta tiene cierta conicidad al inicio. Debido al cambio de diámetro que se presenta en la probeta, existe un esfuerzo constante y en esa zona es donde ocurre la fractura, además es donde alcanza su momento flector máximo [33].

### **1.6. Norma ASTM E466-15**

El entrenamiento requerido para esta tesis se lleva a cabo en el laboratorio de la UPS en una máquina de ensayo de fatiga flexible rotativa diseñada y construida por Chamba et al. Dado que la geometría de la muestra dada contribuye a los resultados que permiten el análisis de los esfuerzos de rotura equivalentes que sufre el material, también se puede dibujar la curva S-N con los resultados, los autores de esta máquina recomiendan utilizar la norma ASTM. E 66-15. Se utiliza en el diseño de especímenes utilizados en ensayos de fatiga por flexión rotacional [38].

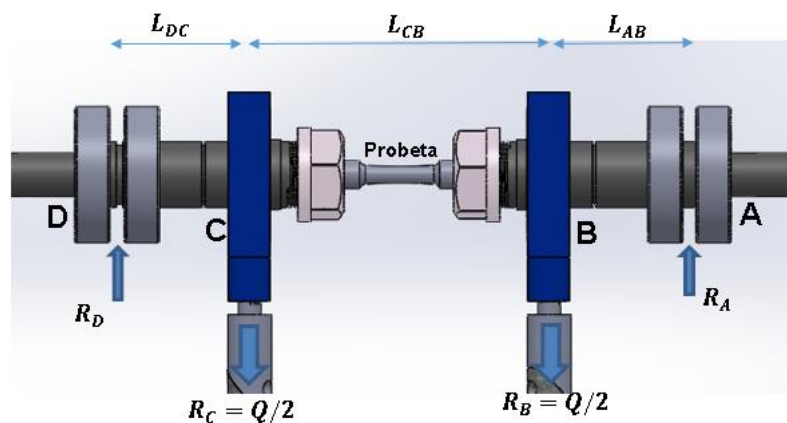
La geometría o el material, así como otros factores que influyen sobre la resistencia a la fatiga de las muestras que se van a emplear para la prueba de fatiga en conjunto con los altos ciclos que se requiere para realizar la prueba de fatiga, esto ayuda a determinar las variaciones según sea el caso, además que este puede ser como una guía para seleccionar el material, dependiendo de la carga usada en la prueba [39].

#### **1.6.1. Diseño de muestras**

El diseño se basa en la máquina que se tiene a disposición en el laboratorio, también en las cargas que se posee, las medidas nominales de la muestra que depende de la zona de prueba de

cada máquina, influyendo así en la geometría de la modelo cómo se aclare en la figura 9. Por ejemplo, la sección de agarre según la norma puede tener algunas variaciones, pero puede ser un problema a la hora de realizar el ensayo, si esta sección es menor a la calculada, entonces la sección de prueba también será afectada directamente.

Otro factor que se debe tomar en cuenta es el análisis de cargas, por tanto con este dato se puede determinar el valor para la sección de prueba con el fin de que ocurra la falla y se logre con éxito la prueba de fatiga, la sección de prueba puede ser circular, rectangular y cuadrada; estas dos últimas no son viables debido a los bordes afilados que estos poseen, dado que en este caso la configuración del material está en contra porque los granos no están confinado por los bordes afilados [39].



**Figura 9.** Zona de prueba para un ensayo de flexión rotativa, tomando en cuenta que las medidas son fijas, [40]

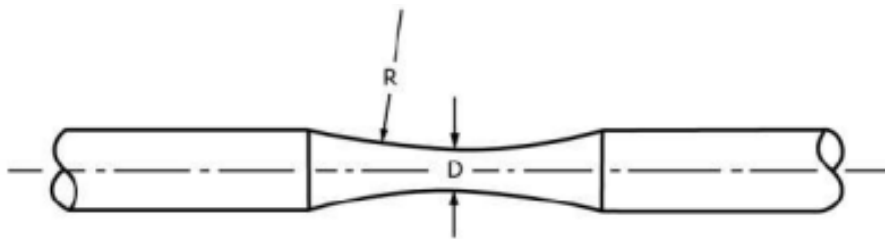
La norma ASTM E466-15 tiene una tolerancia para las dimensiones que se necesita según el cálculo de fuerzas necesarias para la tensión requerida. Para dimensiones iguales o superiores a 5.08 mm se debe medir con una precisión de 0.03 mm y para dimensiones inferiores a 5.08 mm, esta precisión debe ser de 0.013 mm [39].

## 1.6.2. Dimensiones de la muestra

### 1.6.2.1. Secciones transversales circulares.

**1.6.2.1.1. Muestras con un radio continuo entre los extremos.** El diámetro de prueba o diámetro mínimo, debe ser designado según la carga que se vaya a usar, también se debe tener en cuenta la disponibilidad de maquinaria que se tiene para el ensayo, y

los valores para el diámetro mínimo que recomiende el fabricante de la máquina de ensayos. Con el mismo propósito que en el caso anterior, para minimizar  $K_t$ , el radio de curvatura ("R") de la probeta es al menos ocho veces el diámetro de prueba, como se observa en la Figura 10. La longitud de la zona de prueba que compete al ensayo, debe ser mayor o igual a tres veces el diámetro mínimo de la probeta. Si el área de prueba no favorece el cumplimiento de las condiciones establecidas anteriormente, se consideran las dimensiones de las muestras con empalmes conectados tangencialmente entre el cuerpo de prueba y los extremos [39].



**Figura 10.** Espécimen de sección transversal circular con radio continuo entre los extremos, [39].

### 1.7. Curva de Wöhler

El debilitamiento de un material generado por una carga cíclica, causando un daño en la estructura del material, partiendo de una grieta que puede crecer con cada ciclo de carga, este es un claro concepto de fatiga.

La curva de Wohler, también conocida como curva S-N, indica cuánto estrés o fatiga puede soportar un material de prueba. Por otro lado, la abscisa indica cuántos ciclos debe pasar el material de prueba antes de que se rompa, mientras que S representa la resistencia del material al estrés o fatiga. Se sabe que el número de ciclos en esta curva aumenta a medida que disminuye el voltaje aplicado [41] [42].

Toledano et al [43], han realiza pruebas con aleación de aluminio 7075 T6, experimento en el cual se estudia se ha dado un recubrimiento al material, observando la influencia que dicho recubrimiento brinda al material base, usando probetas de geometría plana laminadas con espesor de 2mm, por medio de un experimento de fatiga en articulación en cuatro puntos. Para el análisis se usaron 5 tipos de muestras como se puede observar en la Tabla 6, cada una con un

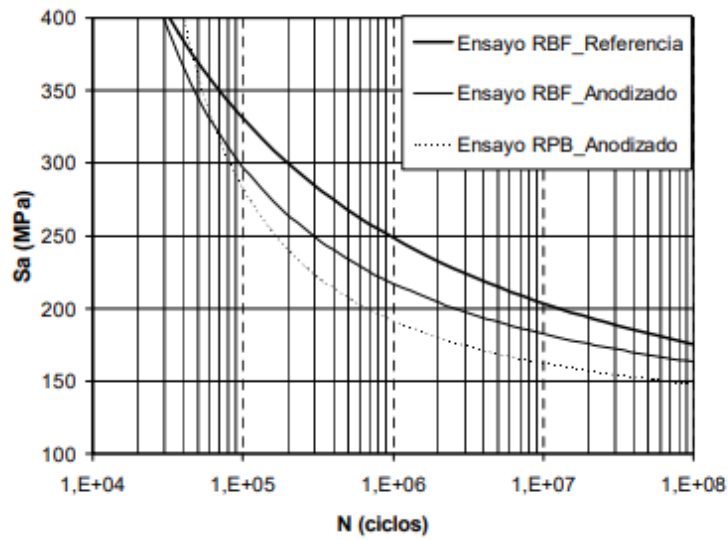
recubrimiento anodizado en ácido sulfúrico a excepción de la muestra que se entiende por material base. La segunda muestra fue sometida a un desengrasado en etanol, después se le dio un baño de hidróxido sódico, finalmente se removieron impurezas en ácido nítrico, siendo esto conocido como un pre tratamiento de decapado. Respecto a las 3 últimas muestras anodizadas, lo que las diferencia entre sí es el espesor de recubrimiento que ha recibido cada una, además estas se dividen en 2, 5 y 10  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 6.** Nomenclatura de cada muestra y especificación del recubrimiento de cada una [44].

<b>Nomenclatura</b>	<b>Recubrimiento</b>
<b>A7R</b>	Sin recubrimiento, material de referencia.
<b>A7PR</b>	Pre tratamiento
<b>A7S2</b>	Anodizado sulfúrico, 2 $\mu\text{m}$
<b>A7S5</b>	Anodizado sulfúrico, 5 $\mu\text{m}$
<b>A7S10</b>	Anodizado sulfúrico, 10 $\mu\text{m}$

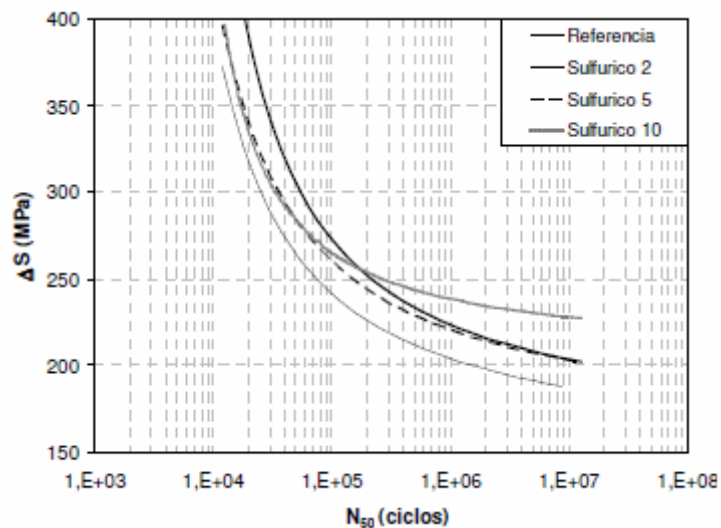
Dando la conclusión de que a mayor espesor de recubrimiento que a mayor espesor de recubrimiento el límite de fatiga en la mezcla metálica de aluminio 7075 T6 se incrementa. Una diferenciación con el material base con respecto a la muestra anodizada con un espesor de 10  $\mu\text{m}$ , el límite de fatiga se incrementa en 11% [44].

En la figura 11 muestra la comparación entre la nomenclatura anteriormente indicada A7R y A7PR, los datos prácticamente se superponen durante el periodo analizado. Sin embargo, el material con pre tratamiento da una mejora en los niveles más altos de carga.



**Figura 11.** Comparación entre el material de referencia (A7R) y respecto el material con pre tratamiento (A7PR) [44].

En la figura 12, en la coordenada de las abscisas entre  $2 \times 10^4$  y  $10^5$  ciclos, se uso este rango para analizar el comportamiento a fatiga, usando el material de referencia y los tres especímenes con recubrimiento anodizado a diferente espesor ( $2 \mu\text{m}$ ,  $5 \mu\text{m}$  y  $10 \mu\text{m}$ ). Teniendo como resultado que mientras aumenta el espesor de recubrimiento anodizado la durabilidad del material mejora [44].



**Figura 12.** Comparación entre el material base y las muestras anodizadas a diferentes espesores [44].

## CAPITULO II

### 2. Generalidades

#### 2.1. Comprobación de material

En el mercado nacional se puede encontrar AA 7075 T6 en proveedores como ACEROS DEL SUR e ImportCom, los cuales brindan certificados de calidad para la autenticación del material. El diámetro que se vaya a usar va a depender de la geometría de la probeta que se genere según la disponibilidad de la máquina de ensayo y la norma a usar para fatiga.

Se ha usado el proveedor ImportCom ya que proporciona la hoja técnica del material, datos que son necesarios como la densidad, el módulo de elástico, entre otras propiedades físicas para la elaboración de ensayos de comprobación, además que dicho proveedor tiene disponibilidad del material y su costo accesible.

En la siguiente Tabla 7 muestra la relación entre proveedores nacionales y los efectos logrados mediante el ensayo de tracción.

**Tabla 7.** Relación de características mecánicas entre proveedores y los resultados obtenidos por el ensayo a tracción.

	<b>ImportCom</b>	<b>Aceros el sur</b>	<b>Ensayo a tracción</b>
Características mecánicas	Valores	Valores	Valores
Límite elástico [MPa]	490	390	557.6
Esfuerzo máximo [MPa]	480-590	490-580	618.5
Módulo de Elasticidad [GPa]	71	71	78.3

Relacionando los valores de los proveedores se puede notar que hay una semejanza de valores correspondientes a las características mecánicas, por otra parte, los valores obtenidos por el ensayo a tracción muestran que estos valores superan los indicados por el proveedor, llegando a la conclusión que los materiales son los indicados para el ensayo.

## 2.2. Acondicionamiento de la máquina

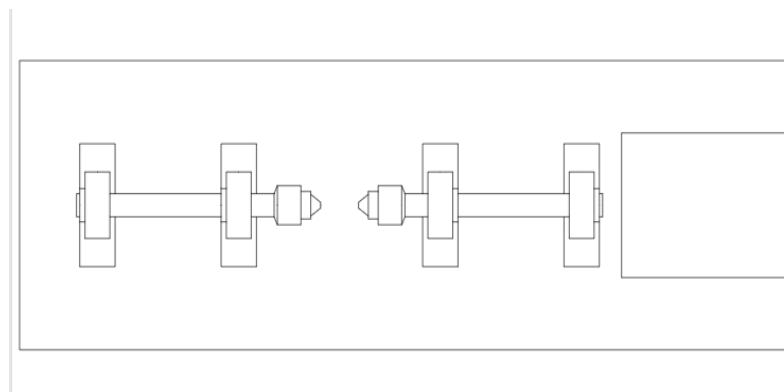
Máquina de ensayo de 30 kgf (295 N), conocida como R.R., utilizada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la UPS de Ciencias Aplicadas. En la figura 13, el área de prueba muestra dos torres separadas 332 mm, diseñadas para montar la probeta del instrumento.

El equipo ha dejado de ser funcional, debido a que el sistema de sujeción está fallando, dado que los extremos de sujeción de la probeta resbalan cuando la máquina empieza a funcionar y esto provoca fallas en los resultados con los cuales se va a elaborar la Curva S-N.



**Figura 13.** Máquina de ensayo de metales sometidos por flexión rotativa con capacidad de 30 kgf-m.

Para tener una observación detallada se puede ilustrar la figura 14, en la cual muestra la vista frontal y superior de la máquina, con sus respectivas medidas y los detalles de cada elemento de la máquina.



**Figura 14.** Vista superior de la máquina de ensayo.

### **2.2.1. Sistema de sujeción**

**2.2.1.1. Mandril.** Este sistema de fijación es el primero utilizado en la máquina prevista para el ensayo de fatiga por flexión inversa. Es un sistema simple que puede contener objetos con geometría prismática y secciones circulares. Su modo de funcionamiento es de apertura y cierre manual mediante una cuerda con un eje puntiagudo en el extremo unido a una base que soporta la torre como se mira en la figura 15.



**Figura 15.** Mandril o porta brocas [45].

**2.2.1.2. Porta boquilla.** El Porta boquilla, es un elemento mecánico usado en tornos y centros de mecanizado, está formado por un material que tiene una dureza alta y por ello puede ser usado para usar como un portaherramientas y mecanizar a altas velocidades. En la figura 16 se nota la geometría de la porta boquilla.





**Figura 16.** Porta boquilla mango cilíndrico [46].

La boquilla tipo ER es la pinza que necesita el porta boquilla para cumplir con su función de sujeción, además estas boquillas cuentan con diferentes diámetros de sección según la utilidad que se requiera. En la siguiente figura 17 se ilustra una boquilla ER40.



**Figura 17.** Boquilla tipo ER40, con sus respectivas medidas nominales [46].

**2.2.1.3. Plato de mordaza.** Este dispositivo de sujeción es el que se usa en todos los tornos y en maquinaria CNC de mecanizado. Su función consiste en sujetar ejes con sus tres mordazas que no son independientes, es decir que estas se abren o se cierran simultáneamente. Es un sistema que puede ser ideal para el funcionamiento de la máquina. En la figura 18 se examina un plato de mordaza.



**Figura 18.** Plato de mordaza [47].

**2.2.1.4. Comparación de opciones para sujeción.** Teniendo en cuenta todas las opciones que se ha analizado para el sistema de sujeción, a continuación, en la tabla 8 se mira un análisis, de precio, utilidad y montaje.

**Tabla 8.** Análisis entre sistemas de sujeción.

Sistema de sujeción	Costo promedio (\$)	Utilidad	Montaje
Mandril	17	La sujeción no es la adecuada, ya que se la probeta se desplaza involuntariamente mientras se realiza el ensayo.	El montaje de este sistema es sencillo, ya que los ejes están acoplados para este dispositivo.
Porta boquilla	50	El sistema tiene una sujeción buena, gracias a la boquilla tipo ER que se usa en la porta boquilla.	Para realizar el montaje, se debe perforar los ejes de la máquina a la medida de la porta boquilla.
Plato de mordaza	200	Es un sistema que cuenta con un excelente sistema de sujeción,	Se debe cambiar totalmente los ejes y las chumaceras, además de que su tamaño externo estorba con respecto a las placas

gracias a sus  
tres mordazas  
simultáneas.

---

Comparando los sistemas, se tiene que el sistema de boquilla es el que se va a usar debido a que puede trabajar en la máquina de ensayos de fatiga sin tener problemas de deslizamiento involuntario, con lo cual no afectara en los datos que se obtenga, además de que su montaje no cuenta de modificaciones altas y su costo es bajo a comparación del sistema de plato de mordazas.

La relación de la máquina con cada elemento de prueba permanece simétrica, por lo que este cambio no afecta los valores correspondientes determinados por el método de fuerza cortante y momento flector. La nueva configuración de la máquina se observa en la figura 19, con todos los componentes modificados para realizar los ensayos con un alto índice de eficiencia.



**Figura 19.** Máquina de flexión rotativa con una capacidad de 295 N.

En la figura 20 se ilustra de manera más acercada el sistema de sujeción nuevo, y en la misma se puede observar el montaje de muestra para realizar pruebas, la cual está nivelada y centrada, dando así una obtención de datos eficaz.



**Figura 20.** Acercamiento al nuevo sistema de sujeción con una probeta de muestra.

### **2.2.2. Sistema de pesos**

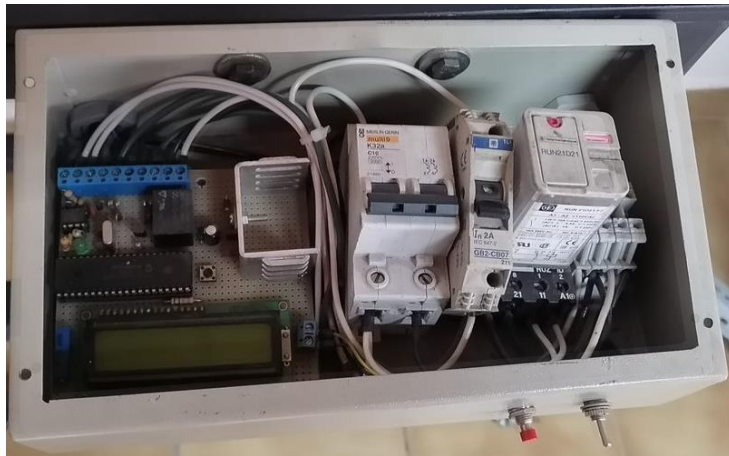
También se ha modificado el mecanismo en el cual se coloca los pesos, en la figura 21 se observa cómo se ha desplazado este mecanismo, dado que el mecanismo de sujeción de la probeta modificó toda la configuración. Como se observa este mecanismo cuenta con una placa en la cual se asienta los pesos y una placa superior conectada a la estructura de la máquina que cuenta con una perforación, esta perforación es de gran ayuda, debido a que cuando el ensayo se está realizando, evita movimientos agresivos que pueda interferir con los datos experimentales.



**Figura 21.** Sistema para el uso de pesos para el ensayo de flexión rotativa.

### 2.2.3. Sistema de control de la máquina

**2.2.3.1. Sistema original de control.** En la figura 22 se observa el sistema de control original, el cual ha presentado fallas al momento de accionarlo, ya que no sirve el encendido, el sensor inductivo como se ilustra en la figura 23 y el switch de final de carrera como se ilustra en la figura 24. Además, como se observa los componentes que han usado ya son obsoletos y la vida útil de cada componente ya ha terminado. Por ello es necesario reparar el sistema o cambiarlo por otro.



**Figura 22.** Sistema principal de control.

En esta investigación se va a enfocar en el sensor inductivo como se muestra en la figura 23, en vista de que este se censa por él envío de un eléctrico del sensor al micro controlador, esto se logra debido a que un elemento mecánico este acoplado al eje del motor, entonces este tiene cierta proximidad con el sensor inductivo, y es por ello por lo que se revela el número de revoluciones que se ha conseguido hasta que la probeta haya fallado.



**Figura 23.** Sensor inductivo junto a elemento mecánico acoplado al motor.

Otro elemento a estudiar que tiene mucha relevancia con respecto a la práctica que se va a realizar, es el switch de fin de carrera, el cual tiene que ver con el sistema de apagado, cuando la probeta se encuentra funcionando en la máquina este proporciona un estado "1", cuando la probeta llega al punto de fractura de la probeta, proporciona un "0" lógico al micro controlador, este switch de fin de carrera se encuentra accionada cuando la placa está en la posición inicial como se mira en la figura 24.



**Figura 24.** Switch de fin de carrera, accionado por la placa perteneciente a la zona de ensayo.



**2.2.3.2. Sistema de control mediante un Arduino.** El Arduino es un micro controlador, es uno de los más usados, ya que su programación es sencilla y su costo no es elevado. En la figura 25 se puede observar una placa de Arduino.



**Figura 25.** Placa Arduino uno [48].

**2.2.3.3. Sistema de control mediante Raspberry Pi.** Es una serie de ordenadores que puede cumplir funciones complejas, por ello es usado en la rama de la informática y robótica, en el mercado nacional son escasos estos dispositivos. Ver figura 26.



**Figura 26.** Ejemplo de un Raspberry pi [49].

**2.2.3.4. Comparación de sistemas de control.** En la tabla 9 se analizan los diferentes sistemas de control, con ello se puede determinar cuál es el adecuado para usar en la máquina de fatiga por flexión rotativa y obtener los datos correctos para su evaluación.

**Tabla 9.** Análisis entre sistemas de control.

<b>Sistema de control</b>	<b>Costo promedio (\$)</b>	<b>Utilidad</b>
Sistema original (reparación)	200	Cumple con el mismo sistema que se ha desarrollado, pero puede presentar fallas a lo largo de su vida útil debido a sus componentes obsoletos.
Arduino	100	Cumple con las funciones que requiere la máquina para el desarrollo del ensayo, además su programación es fácil.
Raspberry Pi	500	Es un sistema muy bueno que puede desarrollar varias funciones, pero para este trabajo solo se necesita que cumpla pocas funciones, su adquisición será innecesaria, además de la escasez de estos dispositivos en el mercado nacional.

El sistema de control mediante el uso de un Arduino es el que se ha elegido, puesto que es uno de los más económicos con respecto a los otros, la facilidad de conseguir los componentes del sistema y es actualizado, ya que el sistema original cuenta con elementos obsoletos.

#### **2.2.4. Sistema de acople entre el eje del motor y el eje de prueba**

**2.2.4.1. Sistema actual.** El acople original de la máquina es un elemento que ha sido extraído de un automóvil, los autores han optado por este sistema debido al movimiento angular que este posee, ya que es necesario cuando la probeta llega al ciclo de fallo y se desplaza la placa donde está sujeta el eje que conecta al motor. Ver figura 27.





**Figura 27.** Sistema de acople original y actual de la máquina.

**2.2.4.2. Acople matrimonio.** Este sistema consiste en dos piezas que da un apriete de forma rígida y es usado cuando se requiere una alineación precisa dando como resultado el rendimiento máximo de la maquina en la que se haya integrado este sistema. Ver figura 28.



**Figura 28.** Tipos de acople de matrimonio [50].

**2.2.4.3. Acople flexible tipo k.** Este dispositivo tiene la característica de absorber la desalineación que se da entre el eje de prueba y la coordenada del motor. Además de que no requiere de lubricación. Pero la disponibilidad en el mercado es muy baja. Ver figura 29.

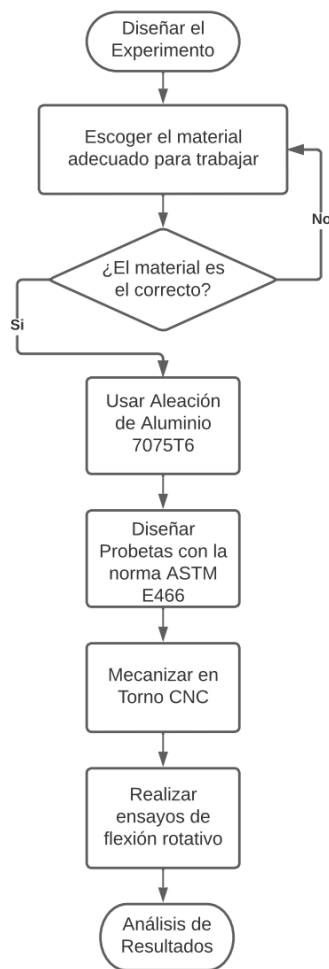


**Figura 29.** Acople flexible tipo k [32].

**2.2.4.4. Comparación de sistemas de acople.** En vista de que se ha estudiado las tres opciones anteriormente mencionadas, se ha optado por el sistema de acople original, ya que su funcionamiento es normal sin novedad. Por otra parte, el sistema de acople matrimonio es un sistema de alienación precisa, y es un factor que no se requiere para la máquina, ya que el eje que está conectado mediante este acople va a sufrir un movimiento angular, por ello no es una opción buena. El sistema de acople tipo k es bueno para el uso en esta máquina, sin embargo, hay una escasez en el mercado nacional.

### **2.3. Experimentación**

Se realizó una validación al comprar Aleación de Aluminio 7075T6, primero se diseñó la probeta para proceder a mecanizar en un torno CNC EMCOMAT E-200, las 15 probetas para realizar los respectivos ensayos de flexión rotativo, donde se obtuvo resultados que se encuentran dentro del rango establecido. Por lo tanto, en la figura 30 se observa un flujo grama de los procesos y el orden de ejecución que se han realizado para realizar los ensayos de fatiga a flexión rotativa.



**Figura 30.** Flujo grama del diseño experimental.

## 2.4. Preparación de probetas

Las probetas y su geometría se han elaborado según el ensayo que se requiera, en este caso se ha hecho dos modelos de probetas tanto para experimento de arrastre como para el ensayo de flexión rotativa. Las normas para cada ensayo también influyen en el diseño, así como la disponibilidad del equipo para realizar el ensayo y la zona de prueba, y en este caso el diámetro que se dispone en las boquillas ER20.

### **2.4.1. Mecanizado del material**

Como se mira en la figura 31, las probetas se fabricaron en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana utilizando tornos CNC EMCOMAT E-200 y también el software EMCO Easy Cycle para crear el perfil de probeta requerido.



**Figura 31.** Torno CNC. Marca EMCOMAT E-200 [51].

**2.4.1.1. Parámetros de mecanizado.** Para el mecanizado de cada probeta se ha usado una porta herramienta SDJCR 2020 K11, esta herramienta facilita el laboratorio de CNC. Por ello se debe considerar las propiedades técnicas que posee cada elemento anteriormente mencionado para definir los parámetros de mecanizado, los cuales están en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Parámetros de corte portaherramientas [52].

---

<b>Parámetros de corte para portaherramientas SDJCR 2020 K11</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Felicidad de corte ( $V_c$ )	> 600 m/min
Advance ( $f_n$ )	0.3-0.5 mm/rev
Profundidad de corte ( $a_p$ )	2-5 mm

---

En la Tabla 11 se hace referencia a los parámetros de cortes establecidos por el fabricante del inserto YD201-DCMT11T304, herramienta que ayudo al mecanizado de las probetas para los ensayos.

**Tabla 11.** Parámetros de corte inserto, [52].

---

<b>Parámetros de corte para inserto YD201-DCMT11T304</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Velocidad de corte ( $V_c$ )	175-460 m/min
Avance ( $f_n$ )	0.1-0.3 mm/rev
Profundidad de corte ( $a_p$ )	1-4 mm

---

**2.4.1.2. Cálculos de parámetros de mecanizado.** Primero se debe preparar el material, mediante las operaciones de cilindrado y refrentado. Luego de esto se debe enfocar en dos operaciones que son de Desbaste y Acabado, las cuales se da cuando se va mecanizando el perfil de la probeta, para ello se debe calcular la velocidad de corte que se presenta en la Ecuación (1), para lo cual se requiere el diámetro de la probeta y la velocidad de revolución.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$V_c$ = Velocidad de corte (m/min)

$D$ = Diámetro de la probeta (mm)

$N$ = Velocidad de rotación (r.p.m.)

Según Tapia et al [52], la velocidad de corte ideal para mecanizar AA 7075 T6 es 360 m/min y avance por revolución de 0.1mm, dado que estos parámetros son ideales porque permiten un excelente acabado debido a la rugosidad baja, en la Ecuación (2) se va a determinar el número de revoluciones:

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

$V_c = 360$  m/min

$D = 8$  mm (diámetro mínimo probeta de fatiga)

Reemplazando:

$$N = \frac{360 \text{ m/min} * 1000}{\pi * 8 \text{ mm}}$$

$$N = 14323.94 \text{ r.p.m.} \approx 3000 \text{ r.p.m. capacidad máxima torno}$$

Se ha obtenido un valor teórico de 14323 r.p.m. Sin embargo, el torno CNC con el que cuenta la Universidad Politécnica Salesiana llega hasta 3000 r.p.m., por ello se ha usado la revolución máxima. Con el número de revoluciones ahora se puede calcular la velocidad de avance para el mecanizado mediante la siguiente ecuación (3):

$$V_f = f_n * z * N \text{ Ecuación 3}$$

Donde:

$V_f =$  Velocidad de avance (mm/min)

$f_n =$  Avance por diente

$Z =$  Número de dientes

$N =$  Velocidad de rotación (r.p.m.)

Teniendo en cuenta que el avance por diente anteriormente definido es 0.1 mm, el número de dientes es 1 porque el inserto cuenta con un solo filo de ataque y la velocidad de rotación es 3000 r.p.m. Reemplazando los datos se tiene:

$$Vf = 0.1 \text{ mm} * 1 * 3000 \text{ r.p.m.}$$

$$Vf = 300 \text{ mm}/\text{min}$$

## **2.5. Ensayo de tracción**

Para verificar que las propiedades mecánicas que posee el material se proceden a realizar un ensayo a tracción en los laboratorios de la UPS. Con este ensayo se quiere relacionar características tales como elongación, resistencia, entre otras.

El esfuerzo de tracción mide la capacidad del material para responder a las fuerzas que se aplican a diferentes materiales como tensión, el esfuerzo de tracción tiende a separar el material de dos extremos y determina la durabilidad del material [53].

El proceso evalúa cómo se expone el material a una determinada carga hasta que se rompe, en cuyo caso se toma de inmediato de acuerdo a la norma ASTM E 8/E8/E8M - 13 [54].

Estas pruebas brindan información sobre las bondades mecánicas (resistencia y fortalecimiento) de los componentes que se pueden aplicar a los procesos de diseño, evaluación comparativa, refinación de aleaciones y control de calidad [54].

Un método importante para conocer el comportamiento mecánico de un material es realizar experimentos de arrastre. Como se mira en la figura 32, la prueba se aplicó en una máquina universal modelo 315 "Test Resource" ubicada en el Laboratorio de Durabilidad de Materiales en el Colegio Salesiano de Ciencias Aplicadas.

La muestra se fija como se observa en la figura 33, y esta máquina utiliza una estructura de cadena para evitar la pérdida de fuerza debido a la presión. Luego, el material es sometido a una carga puntual de tracción como se observa en la figura 34, generando así un esfuerzo en el diámetro de la probeta, provocando la rotura del material.



**Figura 32.** Máquina Universal Test Resource.





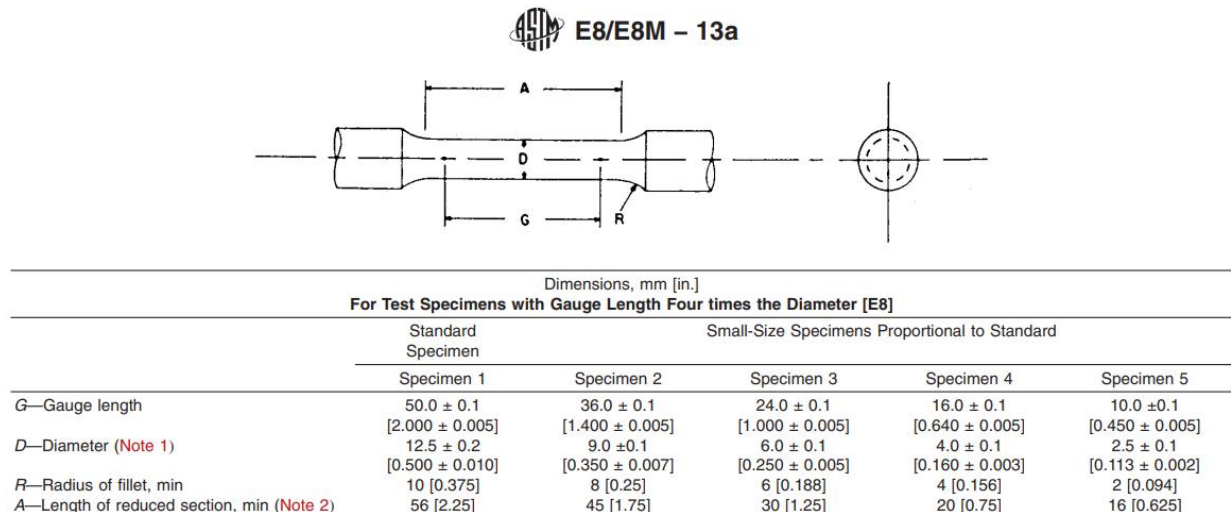
**Figura 33.** Sujeción con mordazas.



**Figura 34.** Rotura de Probeta.

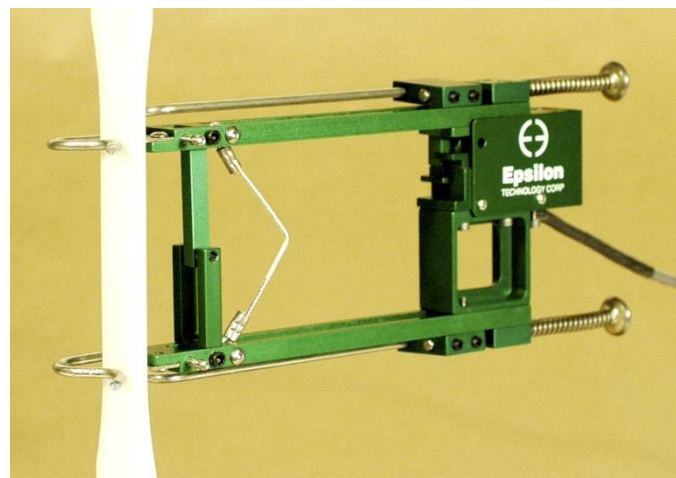
### 2.5.1. Diseño y norma para la probeta de tracción

Anteriormente se mencionó la Norma ASTM E 8 / E8/E8M, para ello se ha seleccionado la sección E8/E8M – 13a, porque esta sección se refiere a secciones transversales circulares, por ello su geometría depende de la misma, se va a analizar las medidas respectivas para mecanizar la probeta para ensayo de tracción como se detalla en la figura 35.



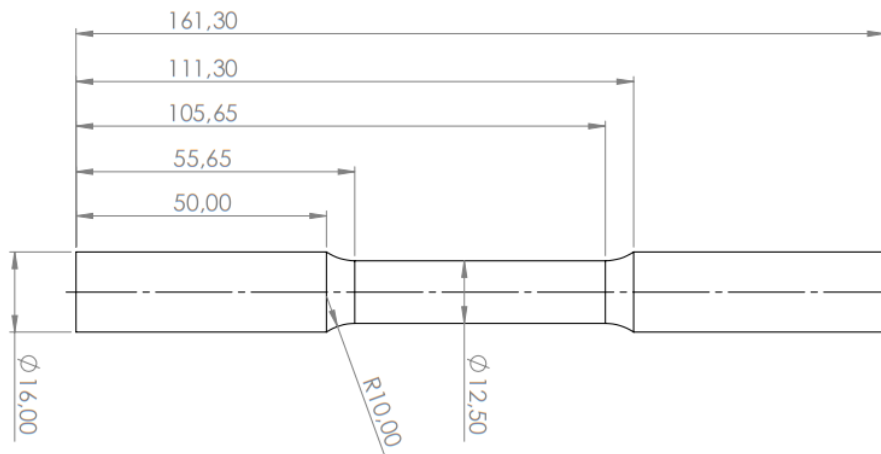
**Figura 35.** Especificaciones para el ensayo de tracción según ASTM E8 [54].

Se debe utilizar la opción "Specimen 1" para el ensayo de tracción, debido a que el equipo de laboratorio de resistencia de materiales incluye un extensómetro axial de 50 mm de largo, marca "Epsilon", modelo 35 2-050M-025-ST, como se muestra en la figura 36.



**Figura 36.** Extensómetro Axial 3542-050M-025-ST, [55].

Cumpliendo con los parámetros establecidos por la figura 35, según la sección "Specimen 1" se ha diseñado la probeta de tracción con la siguiente geometría como se ilustra en la figura 37. Siendo el diámetro de prueba de 12.5 mm, el radio del empalme de 10 mm, la longitud de la zona de prueba de 50 mm y tanto la longitud como el diámetro de los extremos se ha determinado por el equipo para ensayos de tracción del laboratorio de resistencia de materiales.

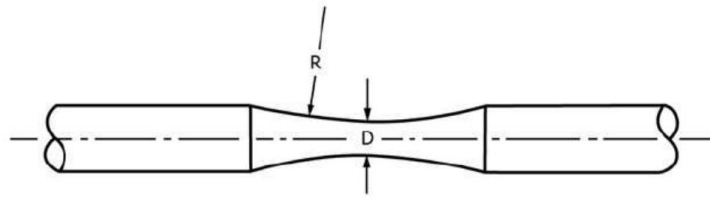


**Figura 37.** Diseño de la probeta de tracción según ASTM E8.

## 2.6. Diseño y norma para el ensayo de fatiga

Anteriormente se analizó todo sobre el ensayo de flexión rotativa, porque es el objetivo principal del proyecto de grado. Los parámetros de mecanizado ya han sido analizados, el objetivo de esta parte es identificar los parámetros para el diseño de la probeta que será sometida a fatiga.

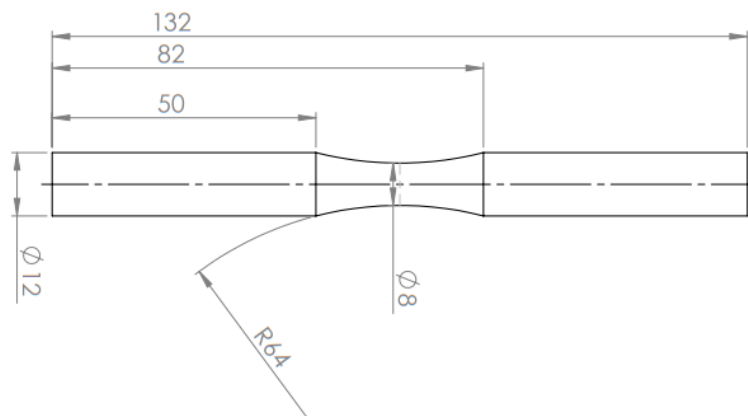
Es indispensable revisar los criterios normados en la ASTM E466 – 15, en la cual presenta cuatro tipos de especímenes para este tipo de ensayo, del cual dos de estos especímenes están comprendidos por una sección transversal circular. De los dos especímenes con sección transversal circular, se ha elegido el espécimen que se ilustra en la figura 38, debido a que este espécimen recomienda el fabricante de la máquina de flexión rotativa.



**Figura 38.** Muestras con un radio continuo entre los extremos, [54].

Las limitaciones de esta probeta son las siguientes: El radio de curvatura denominado "R" debe ser al menos 8 veces el diámetro de la probeta. La longitud de la muestra de ensayo o porción reducida debe ser tres veces el diámetro de la muestra de ensayo. Y finalmente, el diámetro y la longitud de los extremos vienen determinados por el sistema de fijación existente, si el diámetro de los extremos no es igual al diámetro de la probeta.

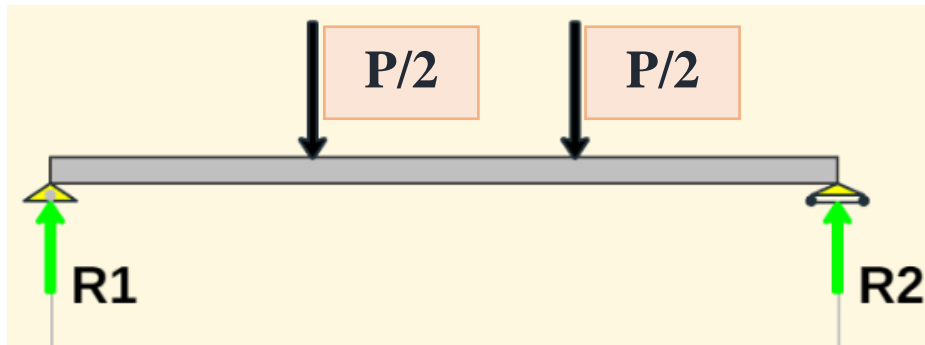
Por consiguiente, el diseño de la probeta que se va a usar para este proyecto se detalla en la figura 39. Cumpliendo con los parámetros establecidos por la norma ASTM E466.



**Figura 39.** Diseño de la probeta de fatiga según ASTM E466 - 15.

## 2.7. Cálculo de esfuerzo en la sección según el peso

Primero se debe realizar el esquema de cargas y reacciones que se tiene. Teniendo en cuenta que la fuerza será dividida en dos, por ende, el peso se distribuye en dos reacciones que en este caso son las chumaceras. Ver figura 40.



**Figura 40.** Diagrama de reacciones y cargas.

Una vez definida la localización de reacciones y cargas, se procede con el cálculo para encontrar  $R1$  y  $R2$ . Para ello se va a tomar como ejemplo una masa de 20 kg y la gravedad en la ciudad de Quito de aproximadamente  $9,83 \text{ m/s}^2$ , con estos datos se puede empezar el cálculo.

Datos:

Masa: 20 kg

Peso: 196.6 N

gravedad:  $9.83 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned}
 + \uparrow \sum F_y &= 0 \\
 R1 - 98.3 \text{ N} - 98.3 \text{ N} + R2 &= 0 \\
 R1 &= -R2 + 196.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Se ha dividido el peso en dos partes como se ha explicado anteriormente, con lo cual se puede encontrar las reacciones por sumatoria de fuerzas, despejando  $R1$  se tiene una ecuación que puede ser resuelta con sumatoria de momentos, y se toma en cuenta las medidas en mm que se tiene en la figura 36.

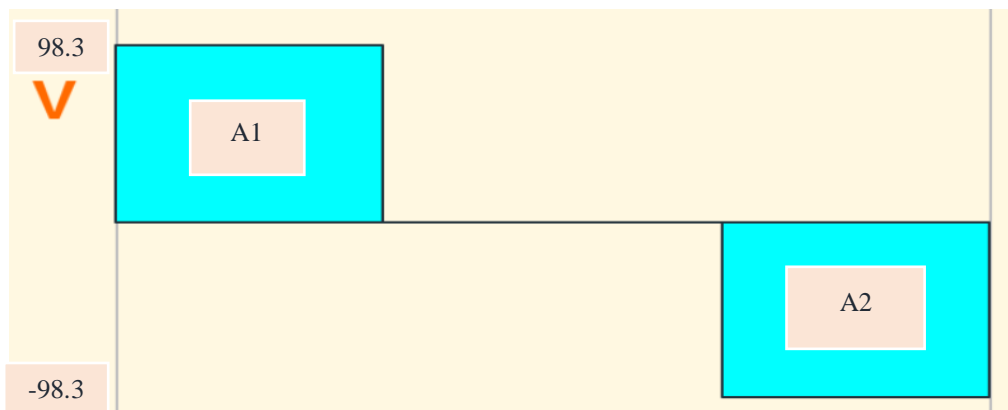
Ahora se va a desarrollar la sumatoria de momentos con respecto a  $R2$ , también se va a usar las medidas en metros y el peso en carga.

$$\begin{aligned}
& + \leftarrow \sum MR2 = 0 \\
& -R1 * 698 \text{ mm} + 98.3 \text{ N} * 485 \text{ mm} + 98.3 * 213 \text{ mm} = 0 \\
& -R1 * 698 \text{ mm} + 47675.5 \text{ N} * \text{ mm} + 20937.9 \text{ N} * \text{ mm} = 0 \\
& R1 * 698 \text{ mm} = 68613.4 \text{ N} * \text{ mm} \\
& R1 = 98.3 \text{ N} = R2
\end{aligned}$$

Ahora se debe transformar la masa dividida de 10 kg a Newtons.

$$10 \text{ kg} * 9.83 \text{ m/s}^2 = 98.3 \text{ N}$$

Con los resultados propuestos hasta el momento, se puede empezar a dibujar el diagrama de fuerza de corte (V) como se puede mirar en figura 41.

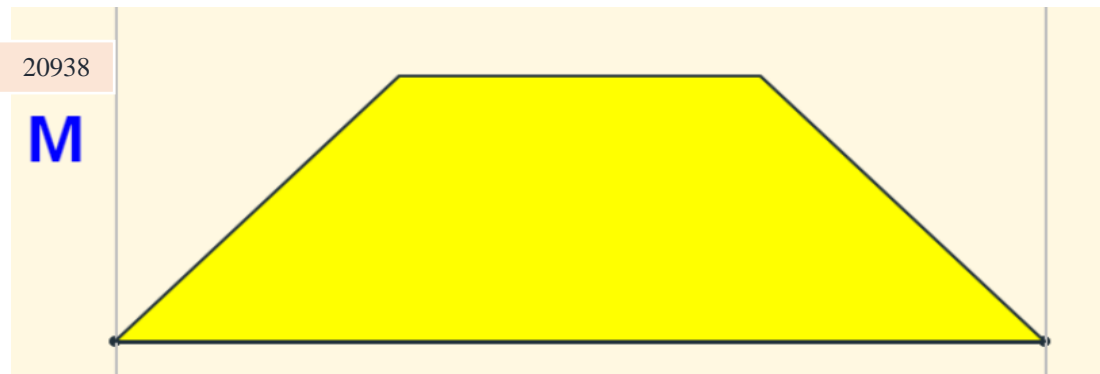


**Figura 41.** Diagrama de fuerza cortante, [56].

Mediante el método de áreas se va a encontrar los valores para desarrollar el diagrama de momento flector.

$$\begin{aligned}
A_1 &= 98.3 \text{ N} * 213 \text{ mm} = 20937.9 \text{ N} * \text{ mm} \\
A_2 &= -98.3 \text{ N} * 213 \text{ mm} = 20937.9 \text{ N} * \text{ mm}
\end{aligned}$$

Y como resultado se tiene el siguiente diagrama de momento flector. Ver figura 42.



**Figura 42.** Diagrama de momento flector, [56].

En los cimientos de los resultados, se concluye que el momento máximo es de 20,93 N\*m. A partir de esta información, se utiliza la fórmula para calcular el esfuerzo de tracción máximo que se produce cuando la muestra se dobla en la sección de prueba:

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad \text{Ecuación 4}$$

Datos

$$\varnothing_{\text{probeta}} = 8\text{mm}$$

$$C = \frac{\varnothing}{2}$$

$$M = 20937.9\text{N} * \text{mm}$$

$$I = \frac{1}{4} * \pi * r^4$$

$$I = \frac{1}{4} * \pi * (4\text{mm})^4$$

$$I = 201.1\text{m}^4$$

$$\sigma = \frac{(20937.9\text{N} * \text{mm}) * (4\text{mm})}{201.1\text{m}^4}$$

$$\sigma = 416.517\text{MPa}$$

La tensión máxima es de 416,517 MPa, que se aplica al módulo transversal de la probeta cuando se le aplica un peso de 20 kg. En la tabla 12 se observa la masa que se va a usar para las probetas de fatiga, y el esfuerzo máximo que se genera según la carga usada en la probeta de fatiga.

**Tabla 12.** Esfuerzos máximos según la carga sobre la probeta.

---

<b>Esfuerzos máximos según la carga sobre la probeta</b>		
Masa [kg]	Carga [N]	Esfuerzo Max. [MPa]
20	196.6	416.5
15	147.4	312.4
10	98.3	208.3
5	49.1	104.1
2,5	24.6	52.1

---

Con esta tabla se puede analizar el esfuerzo vs los ciclos antes de que ocurra la falla, dando así la Curva S-N.



## CAPITULO III

### 3. Análisis de resultados

#### 3.1. Resultados de pruebas a tracción

En los ensayos de tracción se ha utilizado tres probetas. Ver figura 43. Una vez realizados los ensayos de tracción, se ha obtenido la gráfica de esfuerzo y deformación, de la cual se ha usado datos tales como el módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo de la aleación de aluminio 7075 T6.

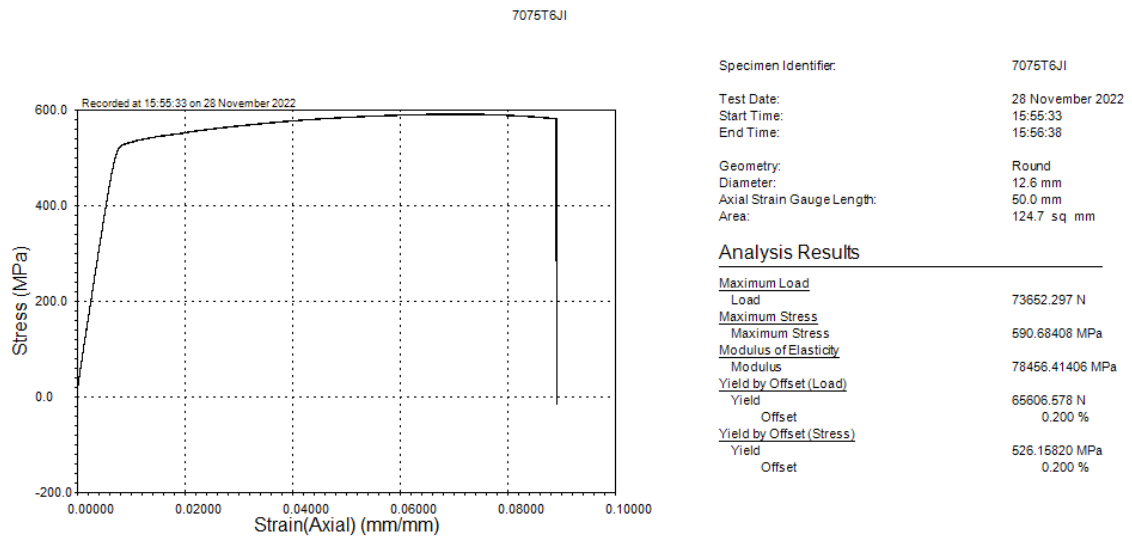


**Figura 43.** Probetas de tracción.

Resultados de la probeta 1. Ver figura 44 y figura 45.



**Figura 44.** Probeta 1 después de ensayo de tracción.



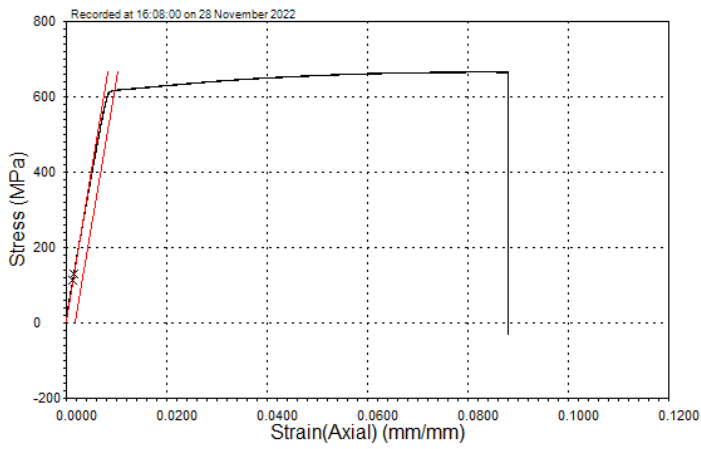
**Figura 45.** Grafica de resultados de la Probeta 1.

Resultados de la probeta 2. Ver figura 46 y figura 47.



**Figura 46.** Probeta 2 después de ensayo de tracción.

7075T6J1 2



Specimen Identifier: 7075T6J1 2  
Test Date: 28 November 2022  
Start Time: 16:08:00  
End Time: 16:09:15

Geometry: Round  
Diameter: 12.7 mm  
Axial Strain Gauge Length: 50.0 mm  
Area: 126.3 sq mm

#### Analysis Results

<u>Maximum Load</u>	
Load	83911.305 N
<u>Maximum Stress</u>	
Maximum Stress	664.49548 MPa
<u>Modulus of Elasticity</u>	
Modulus	78912.21875 MPa
<u>Yield by Offset (Load)</u>	
Yield	77622.281 N
Offset	0.200 %
<u>Yield by Offset (Stress)</u>	
Yield	614.69257 MPa
Offset	0.200 %

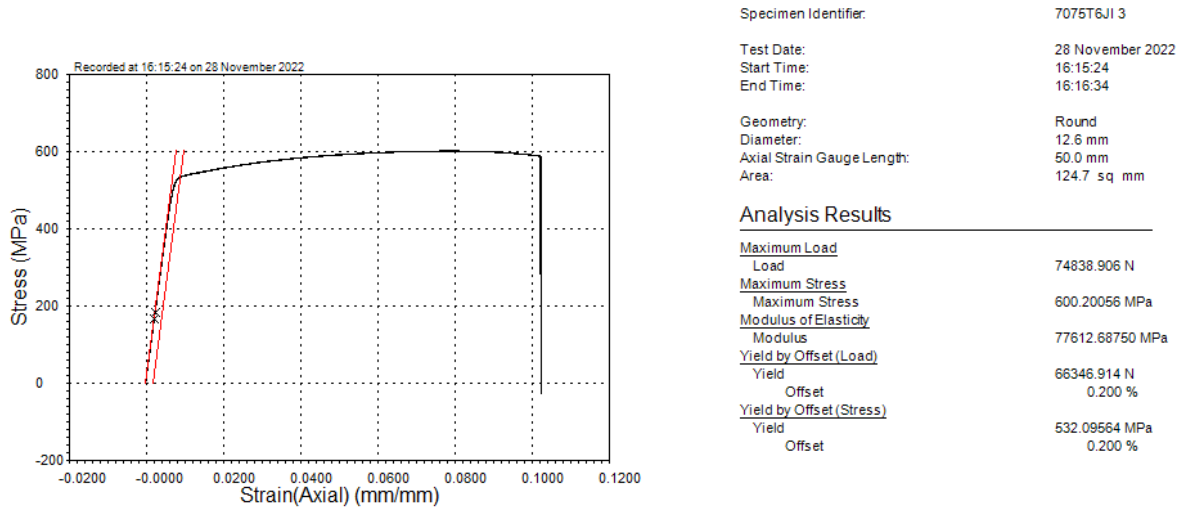
**Figura 47.** Grafica de resultados de la Probeta 2.

Resultados de la probeta 3. Ver figura 48 y figura 49.



**Figura 48.** Probeta 3 después de ensayo de tracción.

7075T6J1 3



**Figura 49.** Grafica de resultados de la Probeta 3.

Con las consecuencias obtenidas por el ensayo de tracción se puede comparar con respecto al proveedor, por la tanto en la tabla 13 se detalla el esfuerzo máximo y la elongación.

**Tabla 13.** Parámetros establecidos por el proveedor ImportCom.

Propiedades AA 7075 T6	Valores típicos	Magnitud
Esfuerzo máximo	540	MPa
Módulo elástico	71	GPa

Con la Tabla 14 se puede calcular el error porcentual respecto a cada probeta analizada, para el esfuerzo máximo se tomará el valor máximo.

**Tabla 14.** Error porcentual entre el valor real y el valor obtenido por el ensayo de tracción.

	Esfuerzo Max. [MPa]			Error porcentual [%]	Módulo Elástico [GPa]		Error porcentual [%]
	Diámetro [mm]	Valor Proveedor	Valor Ensayo		Valor proveedor	Valor Ensayo	
Probeta 1	12.6	590	590.7	0.1	71	78.4	10.5
Probeta 2	12.7	590	664.5	12.6	71	78.9	11.1
Probeta 3	12.6	590	600.2	1.7	71	77.6	9.3

A continuación, se va a realizar una comparación entre AA 7075 T6 y AA 6063 T6. Se ha tomado en cuenta la aleación de aluminio 6063 T6 perteneciente a la serie 6000, debido a que se puede obtener en el mercado nacional, siendo la empresa CEDAL S.A. la mayor importadora de este material. Se va a realizar una comparación entre las propiedades mecánicas que se ha podido obtener gracias a los ensayos de tracción, siendo estas el módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo. En tabla 15 se muestra la comparación entre los valores a través del ensayo y los valores de proveedores.

**Tabla 15.** Comparación de propiedades mecánicas.

Comparación de propiedades mecánicas				
		7075 T6		6063 T6
		Valor Ensayo	Valor Proveedor	Valor Proveedor
Probeta 1	Esfuerzo Máximo	590.7	590	245
	Módulo Elástico	78.4	71	69.5
Probeta 2	Esfuerzo Máximo	664.5	590	245
	Módulo Elástico	78.9	71	69.5
Probeta 3	Esfuerzo Máximo	600.2	590	245
	Módulo Elástico	77.6	71	69.5

### 3.2. Resultados de ensayo a fatiga por flexión rotativa

En la tabla 16 se ilustra los frutos de las muestras puestas al ensayo de flexión inversa, las muestras se clasifican de acuerdo a la carga que se les aplica, exactamente tres muestras por cada carga.

**Tabla 16.** Datos obtenidos por el ensayo de flexión rotativa.

Datos obtenidos por el ensayo de flexión rotativa				
Carga [kg]	# Probeta	Diámetro [mm]	Ciclos [N]	Tiempo [seg]
20	1	8	277	9.4
	2	8.1	316	10.7
	3	8.07	294	9.9
	4	8.1	5151	173.3
15	5	8	5060	170.4
	6	8	5038	169.6
10	7	8.1	13385	450
	8	8.3	15122	509

	9	8.1	13587	456.7
	10	8.07	70401	2420.7
5	11	8	68317	2349
	12	8.03	68540	2356.7
	13	8.02	122586	4215
2,5	14	8	110587	3802.4
	15	8	120317	4137

Con los datos que se ha obtenido se puede calcular el coeficiente de relación para conocer la relación entre dos variables "x" y "y", siendo "x" en este caso los valores del esfuerzo máximo de cada probeta según el peso utilizado para el ensayo, valores que se puede observar en la tabla 12. Por otra parte, la variable "y" representa a los ciclos que han transcurrido antes de la falla, presentados en la tabla 16. En la ecuación 5 se puede ver la fórmula del coeficiente de correlación, el cual será aplicado más adelante con las variables obtenidas.

$$r = \frac{n \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{[n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad \text{Ecuación 5}$$

En la tabla 17 se ha usado las variables para obtener los campos para el cálculo necesario para el coeficiente de correlación.

**Tabla 17.** Datos para el cálculo del coeficiente de correlación

Pesos	Esfuerzo Máx. [MPa]	Nº Ciclos	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	x*y
20	416,5	277	173472,25	76729	115370,5
20	416,5	316	173472,25	99856	131614
20	416,5	294	173472,25	86436	122451
15	312,4	5151	97593,76	26532801	1609172,4
15	312,4	5060	97593,76	25603600	1580744
15	312,4	5038	97593,76	25381444	1573871,2
10	208,3	13385	43388,89	179158225	2788095,5
10	208,3	15122	43388,89	228674884	3149912,6
10	208,3	13587	43388,89	184606569	2830172,1
5	104,1	70401	10836,81	4956300801	7328744,1
5	104,1	68317	10836,81	4667212489	7111799,7
5	104,1	68540	10836,81	4697731600	7135014
2.5	52,1	122586	2714,41	1,5027E+10	6386730,6
2.5	52,1	110587	2714,41	1,2229E+10	5761582,7
2.5	52,1	120317	2714,41	1,4476E+10	6268515,7

SUMA	3280,2	618978	984018,36	5,6724E+10	53893790,1
n	15				

Con los datos, se obtiene un coeficiente de correlación de -0,89, indicando que la correlación es alta. En la siguiente figura 50 se observa la línea de tendencia que se ha generado. Esta gráfica representa la curva S-N de la mezcla de aluminio 7075 T6 con la misma se ha experimentado.

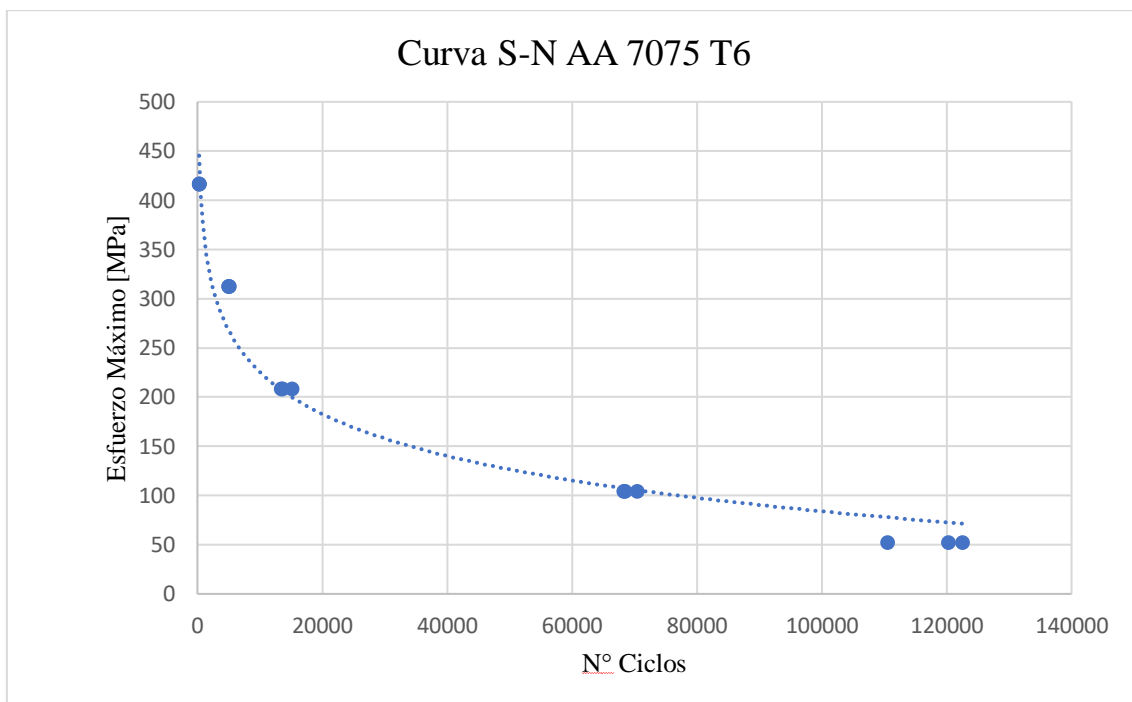
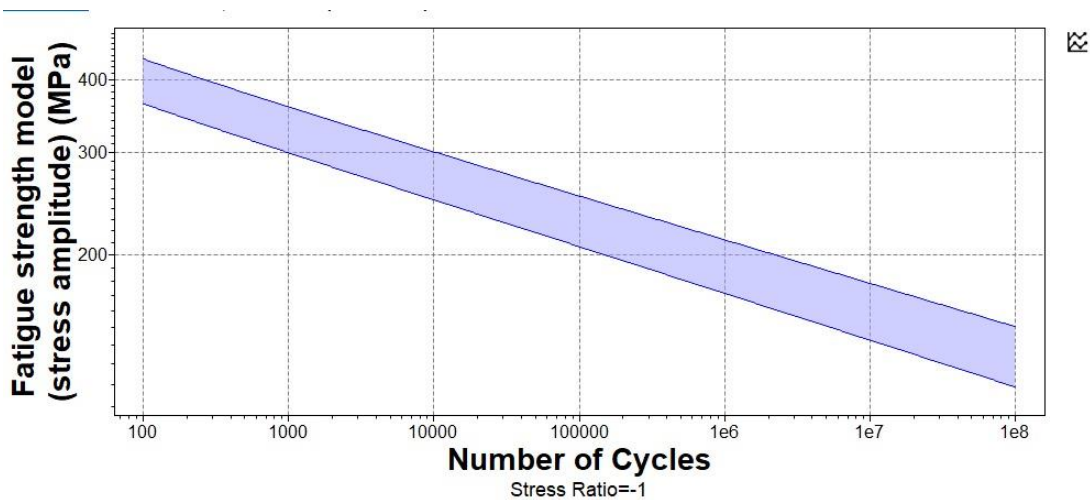


Figura 50. Diagrama S-N de AA 7075 T6.



**Figura 51.** Modelo de resistencia a la fatiga mediante Ansys Granta, [58].

En la figura 51 se ilustra los datos obtenidos mediante el software Ansys Granta, proporcionando la resistencia a la fatiga con relación al número de ciclos que corresponde a la falla del material. Realizando una pequeña comparación entre la imagen anteriormente mencionado y la figura 51 que representa la curva S-N de los obtenidos por los ensayos hechos. Los datos obtenidos con las cargas de 20 kg y 15 kg están dentro del rango que se observa en la gráfica obtenida por Ansys Granta, con respecto al resto de cargas, se encuentran fuera del rango, y estos errores podría ser debido a las diferentes condiciones como las condiciones de fabricación y las condiciones que se presenta para realizar el ensayo. Otra variable que se considera para justificar la variación de datos con respecto a los del proyecto de titulación, es que la gráfica dada por el software Ansys Granta se ha realizado con ensayos sometido a cargas axiales, y el ensayo de flexión rotativa es bajo la presión de dos cargas puntuales y dos reacciones.

### 3.3. Costos

#### 3.3.1. Costos de acondicionamiento de la máquina

En la Tabla 18 se puede describir los costos referentes a todas las modificaciones que se realizó a la máquina de flexión rotativa.

**Tabla 18.** Costos de acondicionamiento de la máquina.

<b>Costos de acondicionamiento de la máquina</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor (USD)</b>
Reparación de sistema de control	1	220
Porta boquilla C20 - ER20 - 100	2	76
Boquilla ER20 de 12mm	2	27
Mecanizado de ejes	2	40
<b>Total</b>		<b>363</b>



### 3.3.2. Costos Directos

En la Tabla 19 se va a demostrar los costos directos, que tienen relación con el desarrollo del ensayo a fatiga, a continuación, se detalla.

**Tabla 19.** Costos directos del proyecto.

<b>Costos directos del proyecto</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor (USD)</b>	
Insertos YD201-DCMT11T304	1	15	
Probetas de AA 7075 T6 Ø 20	1	63	
Torno CNC	6	120	
Mano de obra	1	70	
<b>Total</b>		<b>268</b>	

### 3.3.3. Costos Indirectos

En la Tabla 20 se indica los costos indirectos relacionados con el proyecto de grado.

**Tabla 20.** Costos indirectos del proyecto.

<b>Costos indirectos del proyecto</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor (USD)</b>	
Transporte	1	50	
Insumos	1	20	
Medios tecnológicos	1	40	
<b>Total</b>		<b>110</b>	

## Conclusiones

1. Se ha realizado ensayos de tracción, tomando en cuenta la norma ASTM E8 para determinar la geometría de la probeta de tracción, debido a que esta cumple los requerimientos para la obtener el esfuerzo máximo, que en este caso se ha obtenido un esfuerzo máximo promedio de 618.5 MPa y un módulo elástico promedio de 78.3 GPa, concluyendo que los valores obtenidos redondean los valores otorgados por el proveedor nacional.
2. El sistema de control ha sido configurado para que este pueda controlar el apagado del motor cuando el material falle y se rompa mediante el actuar del switch de fin de carrera, además del sensor inductivo encargado de contar el número de ciclos que han pasado cuando el material ha llegado a la ruptura, con el fin de obtener datos para la elaboración de la Curva S-N como se muestra en la figura 46. Por otra parte, se ha configurado el sistema de sujeción de los extremos de la probeta, ya que al inicio se usaba un sistema de mandriles. Ver figura 46. El cual solo aplicaba sujeción en tres puntos de la sección circular de la probeta, causando que haya un desplazamiento involuntario de la probeta, provocando fallas en los datos, por lo tanto se ha usado un sistema de porta boquillas C20 – ER20 conjunto con una boquilla ER20, ya que este sistema aplica sujeción en toda la sección transversal circular de probeta, logrando una lectura de datos exitosa.
3. Los parámetros con respecto a la geometría para el ensayo de fatiga por flexión rotativo, fueron tomados de la norma ASTM E466-15, así como el diámetro de prueba de 8 mm y el diámetro del extremo de la probeta de 12 mm, debido a que se trata de realizar ensayos de fatiga controlados por cargas puntuales sobre la probeta de ensayo, durante un numero de ciclos antes de que ocurra la falla y así poder obtener la resistencia del material que se vaya analizar.
4. Se han realizado 15 probetas a fatiga por flexión rotativa, puesto que se usaron 5 cargas, tales como 20 kg, 15 kg, 10 kg, 5 kg y 2.5 kg. Esto quiere decir que se ha realizado 3 probetas por cada carga. Los datos arrojados por las 15 pruebas realizadas muestran un coeficiente de correlación alto, concluyendo que se ha obtenido datos congruentes.
5. El equipo con el cual se ha realizado los ensayos de fatiga por flexión rotativa, como se indica anteriormente ha sido acondicionado para realizar el proyecto de titulación presente, pero

algunas variables como el ajuste del péndulo en la barra móvil que se conecta con las pesas que se usa para los ensayos, disminuye su confiabilidad, como resultado un 80% de confiabilidad.

6. Se concluye que para obtener datos con mayor precisión, se debe tomar en cuenta la repetitividad de cada ensayo realizado según la carga a la cual este sometida, y así se puede contar con un rango mayor de datos y lograr un testeo exitoso.

## Recomendaciones

1. Antes de realizar los ensayos se debe verificar las condiciones de cada probeta que se vaya a usar, en vista de que puede causar variaciones en el cálculo de las revoluciones por parte de la máquina, estos pueden tener consecuencias en los datos que arrojan y tener resultados poco confiables.
2. Antes de realizar las pruebas, verifique el funcionamiento de la máquina para evitar sobrecalentamientos y mal funcionamiento, para evitar daños en el motor.
3. Al realizar pruebas de estrés, se deben usar reglas apropiadas para obtener datos correctos.
4. Para el correcto uso de la máquina en el sistema fijo se debe comprobar el nivel de cada boquilla que se adhiere a la probeta, ya que su movilidad es independiente, su abuso puede dar datos falsos en cualquier ensayo de fatiga.
5. La máquina debe ser objeto de mantenimiento periódico, como la comprobación de las conexiones eléctricas, para evitar daños mayores.
6. Para hacer pruebas donde el número de ciclos debe llegar a  $10^6$ , se debe cambiar el motor, ya que actualmente solo permite que los ciclos lleguen a  $10^5$ , ya que el motor tiende a sobrecalentar todo el sistema. lecturas.

## Referencias

- [ R. Lara, E. Guel, G. Ruiz, R. Campos, J. Ramírez y R. Sánchez, «Síntesis de un compuesto  
1 de aleación de aluminio 7075-grafito mediante molienda mecánica y extrusión en caliente.,»  
] [En línea]. Available:  
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1205/1/ART%2027%20ROGELIO.pdf>. [Último acceso: 26 05 2022].
- [ A. Cardona, «ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO METALÚRGICO Y  
2 PROPIEDADES MECÁNICAS EN UNIONES DE ALEACIONES DE ALUMINIO 6061  
] T6 Y 7075 T6 PARA APLICACIONES EN INDUSTRIA DE TRANSPORTE UNIDAS  
MEDIANTE EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW,» 12 2015. [En línea]. Available:  
<https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/121/1/TESIS-ETSI-DELACRUZ.CARDONA%20%287%29.pdf>. [Último acceso: 26 05 2022].
- [ R. P. P. S. S. Wernick, «<https://link.springer.com/>,» 01 Octubre 2008. [En línea]. Available:  
3 [https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06945G\\_Sample.pdf](https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06945G_Sample.pdf).  
] [Último acceso: 19 02 2022].
- [ M. S. J. L. C. M. R. Chieragatti, «[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com),» 12 Diciembre 2008. [En línea].  
4 Available:  
] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142112308001692?via%3Dihub#!>  
. [Último acceso: 21 02 2022].
- [ S. S. R. MARCELO, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA  
5 REALIZAR ENSAYO DE FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA,» Escuela Politécnica  
] del Ejercito , Ecuador-Latacunga , 2012.
- [ N. B. D. Puja Kadolkar, «[fdocuments.net](http://fdocuments.net),» 31 12 2001. [En línea]. Available:  
6 [https://fdocuments.net/document/effect-of-processing-parameters-on-the-cohesive-](https://fdocuments.net/document/effect-of-processing-parameters-on-the-cohesive-strength-of-laser-surface-engineered.html?page=1)  
] [strength-of-laser-surface-engineered.html?page=1](https://fdocuments.net/document/effect-of-processing-parameters-on-the-cohesive-strength-of-laser-surface-engineered.html?page=1). [Último acceso: 21 02 2022].
- [ L. J. Ramírez Medina, «[ruc.udc.es](http://ruc.udc.es),» 20 10 2010. [En línea]. Available:  
7 [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/7323/RamirezMedina\\_LeidyJaneth\\_TD\\_2](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/7323/RamirezMedina_LeidyJaneth_TD_2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y)  
] [010.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/7323/RamirezMedina_LeidyJaneth_TD_2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y). [Último acceso: 22 02 2022].

- [ B. Gong, Z. Zhang, J. Hou, Q. Duan, X. Wang y F. Zhang, «Effect of aging state on corrosion  
8 fatigue properties of 7075 aluminum alloy,» *International Journal of Fatigue*, vol. 161, nº  
] 106916, 2022.
- [ P. Tsai, T. Li, K. Hsu, J. Ke, J. Jang y J. Chu, «Coating thickness effect of metallic glass  
9 thin film on the fatigue-properties improvement of 7075 aluminum alloy,» *Thin Solid Films*,  
] vol. 677, pp. 68-72, 2019.
- [ M. Suárez, «MÁQUINA DE FATIGA FLEJO ROTATIVA PARA ENSAYOS DE  
1 FATIGA,» [En línea]. Available:  
0 <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7153/2/ART%C3%8DCULO%20.pdf>.  
] [Último acceso: 25 05 2022].
- [ M. G. Navarro Rodríguez, «Efecto del tratamiento térmico de rehomogenizado y  
1 renevejecido rra en la microestructura y dureza de un aluminio 7075-T6,» 11 02 2018. [En  
1 línea]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11031>. [Último acceso:  
] 27 02 2022].
- [ J. Newell, «Aluminio y sus aleaciones.,» de *Ciencia de Materiales: Aplicaciones en*  
1 *Ingeniería*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2009, pp. 135-136.  
2  
]
- [ A. D. L. C. CARDON, «comimsa.repositorioinstitucional.mx,» 11 12 2015. [En línea].  
1 Available: [https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/121/1/TESIS-](https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/121/1/TESIS-3)  
3 [ETSI-DELACRUZ.CARDONA%20%287%29.pdf](https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/121/1/TESIS-3). [Último acceso: 23 05 2022].  
]
- [ M. A. Caiza y A. D. Mayorga, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES  
1 MECÁNICAS A TRACCIÓN EN PROBETAS DE ALUMINIO CON VARIACIÓN DEL  
4 PORCENTAJE DE AA 7075-T6 RECICLADO OBTENIDAS MEDIANTE FUNDICIÓN  
] EN DIRECCIÓN PARALELA Y PERPENDICULAR AL MOLDE DE ARENA.,» 23 09  
2020. [En línea]. Available:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19293/1/UPS%20-%20TTS169.pdf>.  
] [Último acceso: 30 12 2022].
- [ M. A. d. R. Palas, «RECONOCIMIENTO DE FASES EN ALEACIONES DE ALUMINIO  
1 EN ESTADO MODELADO,» 08 2012. [En línea]. Available:

- 5 [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1726/IME\\_163.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1726/IME_163.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 06 06 2022].
- [ D. Hernández García, 15 04 2016. [En línea]. Available: 1 <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/8/1/DANIELA%20HERNANDEZ%20GARCIA.pdf>. 6 ]
- [ M. A. d. R. P. Zúñiga, «Universidad de piura,» 21 08 2012. [En línea]. Available: 1 [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1726/IME\\_163.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1726/IME_163.pdf). [Último acceso: 20 7 05 2022]. ]
- [ M. Butt, S. Ullah, M. Khan, S. Ahmad y S. Ilyas, «Effect of thermal exposure on the strength 1 and stress relaxation response of AA-7075-T6 material,» 15 09 2021. [En línea]. Available: 8 <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2230/science/article/pii/S0254058421005745>. [Último ] acceso: 23 02 2022].
- [ E. Puchi, C. Villalobos, I. Irausquín, J. La Barbera y G. Mesmacqued, «Fatigue behavior of 1 a 7075-T6 aluminum alloy coated with an electroless Ni–P deposit,» 12 12 2006. [En línea]. 9 Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2230/science/article/abs/pii/S014211230600017X>. ] [Último acceso: 23 02 2022].
- [ N. Zavaleta, E. Polo-Briceño, N. Ñique y H. De Cicco, «Efecto del tratamiento térmico sobre 2 la resistencia mecánica, corrosión interangular y exfoliación de la aleación de aluminio 0 7075.,» 20 09 2017. [En línea]. Available: ] <https://www.scielo.br/j/rmat/a/hCkzQYNXHGFgc6R8z3VjfbP/?lang=es> . [Último acceso: 28 01 2023].
- [ D. Martínez, «Capacidad de absorción de energía al impacto en soldadura de una aleación de 2 aluminio 7075-T651,» 06 2013. [En línea]. Available: 1 [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16701/TESIS- \] DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16701/TESIS-DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y) . [Último acceso: 28 01 2023].
- [ S. E.-M. y E. Hoyos-Pulgarín, «Obtención de juntas disímiles de la aleación de aluminio 2 AA7075 – T6 y polietileno de alta densidad (HDPE) empleando el proceso Friction Stir 2 Welding (FSW),» Escuela de Ingeniería y Ciencias básicas, Universidad EIA, Colombia, ] 2019.

- [ R. M. Zarzuela, «modelización y análisis de un conjunto atornillado mediante abaquis,»  
2 Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica , España, 2013.  
3  
]
- [ aluminios y Metales Unicornio, «aluminios y Metales Unicornio,» Aluminios y Metales  
2 Unicornio, S.A. de C.V. , México, 2019.  
4  
]
- [ L. Ramirez, «FATIGA DE ALEACIONES DE ALUMINIO AERONAUTICO CON  
2 NUEVOS TIPOS DE ANONIZADO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL Y VARIOS  
5 ESPESORES DE RECUBRIMIENTO.,» 06 2010. [En línea]. Available:  
] [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/7323/RamirezMedina\\_LeidyJaneth\\_TD\\_2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/7323/RamirezMedina_LeidyJaneth_TD_2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y). [Último acceso: 23 02 2022].
- [ C. Sánchez, «Ensayo de flexión,» [En línea]. Available:  
2 [https://www.academia.edu/28039935/ENSAYO\\_DE\\_FLEXI%C3%93N](https://www.academia.edu/28039935/ENSAYO_DE_FLEXI%C3%93N). [Último acceso:  
6 23 02 2022].  
]
- [ N. Muñoz, «ENSAYO DE FLEXIÓN,» 21 02 2017. [En línea]. Available:  
2 [https://rita.udistrital.edu.co:23604/Documentos/Guias\\_de\\_laboratorio/resistencia/GL-  
7 RE02.pdf](https://rita.udistrital.edu.co:23604/Documentos/Guias_de_laboratorio/resistencia/GL-7RE02.pdf). [Último acceso: 24 02 2022].  
]
- [ UMI, «MÁQUINA PARA ENSAYOS DE FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA modelo  
2 RFB-200-500.,» 04 2019. [En línea]. Available: [https://www.umi.es/wp-  
8 content/uploads/2019/04/FLEXION-ROTATIVA-RFB-200-500.pdf](https://www.umi.es/wp-content/uploads/2019/04/FLEXION-ROTATIVA-RFB-200-500.pdf). [Último acceso: 28 02  
] 2022].
- [ F. Toro, M. Gordillo, S. Delvasto y J. H. Savastano, «Modelación del módulo de la  
2 resistencia a la flexión de un material compuesto cementicio a partir de propiedades en  
9 estado fresco,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 29, nº 1, 2014.  
]



[ C. Tian, Z. Zhishan y W. Xiaosheng, «A new fracture toughness calculation method for 3 cementitious materials in the three-point bending test based on the transverse force,» *Case 0 Studies in Construction Materials*, vol. 17, 2022.

]

[ M. Tsai y P. Huang, «Correction factors to strength of thin silicon die in three- and four- 3 point bending tests due to nonlinear effects,» *Microelectronics Reliability*, vol. 128, n° 1 114424, 2022.

]

[ J. Córdova y H. Loayza, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA 3 REALIZAR ENSAYOS DE FATIGA POR FLEXIÓN PARA LOS DIFERENTES 2 ACEROS,» 12 2010. [En línea]. Available: ] <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6299/1/08078.pdf>. [Último acceso: 28 02 2022].

[ M. Di Brico y C. Mollerach, «Máquina de ensayos de fatiga tipo Schenk,» [En línea]. 3 Available: 3 [https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/166/500926\\_DiBrico\\_Mollerach.pdf?seq](https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/166/500926_DiBrico_Mollerach.pdf?sequence=1&isAllowed=y) ] [uence=1&isAllowed=y](https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/166/500926_DiBrico_Mollerach.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 28 02 2022].

[ J. D. Escandon, «AJUSTE DE UNA MAQUINA R.R. MOORE, Y OBTENCION DE 3 FACTORES QUE MODIFIQUEN LA VIDA SEGÚN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL 4 PARA UN ACERO SAE1045,» 2018. [En línea]. Available: ] <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/38983/u820758.pdf?sequence=1> . [Último acceso: 08 06 2022].

[ J. Enríquez y J. Jácome, «AUTOMATIZACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE LA 3 MÁQUINA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN HORIZONTAL MARCA AMSLER DEL 5 LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS ] FUERZAS ARMADAS - ESPE,» 08 01 2018. [En línea]. Available: [http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13916/T-ESPE-](http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/13916/T-ESPE-057531.pdf?sequence=1&isAllowed=y) 057531.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 07 06 2022].

[ ZWICKROELL, «HV 25 de segunda mano, 25 kN,» [En línea]. Available: 3 [https://www.zwickroell.com/es/productos/maquinas-de-ensayos-de-segunda-mano/hv-25-](https://www.zwickroell.com/es/productos/maquinas-de-ensayos-de-segunda-mano/hv-25-de-segunda-mano-25-kn/) de-segunda-mano-25-kn/. [Último acceso: 28 01 2023].

6

]

[ G. Jiménez, «Fatiga de los metales. Generalidades,» 09 2011. [En línea]. Available: 3 [https://www.monografias.com/trabajos88/fatiga-metales-generalidades/fatiga-metales-](https://www.monografias.com/trabajos88/fatiga-metales-generalidades/fatiga-metales-7-generalidades) 7 generalidades. [Último acceso: 08 06 2022].

]

[ L. Chamba y J. Páez, «Diseño y construcción de una máquina de ensayo de metales 3 sometidos por fatiga por flexión rotativa con capacidad de 30 kgf-m.,» 07 2009. [En línea]. 8 Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6686> . [Último acceso: 29 01 2023].

]

[ ASTM INTERNATIONAL, «Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant 3 Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials,» West Conshohocken, 2015.

9

]

[ S. Quintana y O. delos Rios, «Diseño de un banco de pruebas de fatiga en flexión rotativa 4 para evaluar el comportamiento a cargas cíclicas,» 18 09 2018. [En línea]. Available: 0 <https://www.redalyc.org/journal/849/84959041003/html/>. [Último acceso: 03 01 2023].

]

[ Material Properties, «¿Qué es Fatigue Life?,» [En línea]. Available: [https://material-](https://material-properties.org/es/que-es-fatigue-life-curva-s-n-curva-de-woehler-definicion/) 4 [properties.org/es/que-es-fatigue-life-curva-s-n-curva-de-woehler-definicion/](https://material-properties.org/es/que-es-fatigue-life-curva-s-n-curva-de-woehler-definicion/). [Último 1 acceso: 07 01 2023].

]

[ R. Budynas y K. Nisbett, «Fatiga,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* , New 4 York, McGrawHill, 2011, pp. 261-262.

2

]

[ M. Toledano, P. Torres, Á. M. Arenas y A. Conde, «Influencia del espesor de las capas 4 anódicas en la vida a fatiga,» *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. 32, 3 n° 1, pp. 121-128, 2012.

]

- [ M. A. A. G. L. R. S. B. C. M. M. Toledano, «researchgate.net,» 14 03 2010. [En línea].  
4 Available: [https://www.researchgate.net/profile/A-4-Conde/publication/266294145\\_RESISTENCIA\\_A\\_FATIGA\\_DE\\_LA\\_ALEACION\\_DE\\_4-ALUMINIO\\_7075-T6\\_EN\\_FUNCION\\_DEL\\_TIPO\\_DE\\_ENSAYO\\_Y\\_ESPESOR\\_DEL\\_RECUBRIMIENTO/links/547ef6550cf2c1e3d2dc36da/RESISTENCIA-A-FATIGA-DE-LA-ALEACION-DE-ALUM](https://www.researchgate.net/profile/A-4-Conde/publication/266294145_RESISTENCIA_A_FATIGA_DE_LA_ALEACION_DE_4-ALUMINIO_7075-T6_EN_FUNCION_DEL_TIPO_DE_ENSAYO_Y_ESPESOR_DEL_RECUBRIMIENTO/links/547ef6550cf2c1e3d2dc36da/RESISTENCIA-A-FATIGA-DE-LA-ALEACION-DE-ALUM). [Último acceso: 21 02 2022].
- [ SALESIANO CESCAL, «Acoplamiento para herramientas: el mandril o portabrocas,» [En  
4 línea]. Available: <https://mecanicacescal.wordpress.com/2013/05/24/acoplamiento-para-5-herramientas-el-mandril-o-portabrocas/>. [Último acceso: 29 01 2023].  
]
- [ DAVICOM, «Portabrocas mango cilíndrico,» [En línea]. Available:  
4 <http://davicom.com.ec/productos/portabrocas-mango-cilindrico/>. [Último acceso: 08 01  
6 2023].  
]
- [ EcuRed, «Plato de sujeción,» [En línea]. Available:  
4 [http://www.ecured.cu/Plato\\_de\\_sujeci%C3%B3n](http://www.ecured.cu/Plato_de_sujeci%C3%B3n). [Último acceso: 29 01 2023].  
7  
]
- [ «Arduino UNO,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/arduino-uno/>. [Último acceso: 29  
4 01 2023].  
8  
]
- [ MOUSER ELECTRONICS, «RPI4-MODBP-2GB-BULK,» [En línea]. Available:  
4 <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Raspberry-Pi/RPI4-MODBP-2GB-9-BULK?qs=vtpzqDgAobldsHM6Ts7y%2Fw%3D%3D>. [Último acceso: 29 01 2023].  
]
- [ Infoguia, «¿Qué es un Acoplamiento Mecánico?,» 15 08 2019. [En línea]. Available:  
5 <https://infoguia.com/infotip.asp?t=que-es-un-acoplamiento-mecanico&a=1603>. [Último  
0 acceso: 29 01 2023].  
]

[ Direct INDUSTRY, «EMCO GmbH,» [En línea]. Available:  
5 <https://www.directindustry.es/prod/emco-gmbh/product-7241-873731.html>. [Último  
1 acceso: 08 01 2023].

]

[ D. Tapia y G. Gualoto, «Anàlisis de la rugosidad superficial por influencia de la velocidad  
5 y profundidad de corte en el torneado de AA7075 - T6 mecanizado en un torno CNC.,» 08  
2 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17459>. [Último  
] acceso: 08 01 2023].

[ L. G. Ortiz Gómez, «tesis.ucsm.edu.pe,» 22 12 2021. [En línea]. Available:  
5 <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12920/11402>.

3

]

[ American Society for Testing and Materials/ ASTM, *Standard Test Methods for Tension*  
5 *Testing of Metallic Materials*, EE.UU: EE.UU, 2015.

4

]

[ EPSILON technology corp, «Axial Extensometer - Model 3542,» [En línea]. Available:  
5 <https://www.epsilontech.com/products/axial-extensometer-model-3542/>. [Último acceso:  
5 09 01 2023].

]

[ Descartes JS, «DIAGRAMAS DE MOMENTO FLECTOR Y CORTANTE,» 2014. [En  
5 línea]. Available:

6 [https://proyectodescartes.org/ingenieria/materiales\\_didacticos/estructuras-JS/caso2.htm](https://proyectodescartes.org/ingenieria/materiales_didacticos/estructuras-JS/caso2.htm).

] [Último acceso: 09 01 2023].

[ economíasimple.net, «Definición de Coeficiente de correlación lineal,» 30 01 2019. [En  
5 línea]. Available: [https://www.economiasimple.net/glosario/coeficiente-de-correlacion-](https://www.economiasimple.net/glosario/coeficiente-de-correlacion-7-lineal)  
7 lineal. [Último acceso: 01 02 2023].

]

[ G. Enriquez, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÀQUINA DE ENSAYOS DE FATIGA  
5 A FLEXIÓN PURA PARA MATERIALES POLIMERICOS REFORZADOS CON  
FIBRA.,» 2018-2019. [En línea]. Available: chrome-

8 extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/54296/1/TFG\_GUILLER  
] MO\_LEBOREIRO\_ENRIQUEZ.pdf. [Último acceso: 10 01 2023].

[ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL, «Tracción estática de metales,» 2010. [En  
5 línea]. Available:

9 [http://www.eis.unl.edu.ar/apuntes/Laboratorio/5\\_year/Traccion\\_estatica\\_%20de\\_metales.p](http://www.eis.unl.edu.ar/apuntes/Laboratorio/5_year/Traccion_estatica_%20de_metales.pdf)  
] df. [Último acceso: 07 06 2022].

[ Mecapedia, «Factor de concentración de tensiones,» 27 07 2022. [En línea]. Available:

6 [http://www.mecapedia.uji.es/pages/factor\\_de\\_concentracion\\_de\\_tensiones.html#:~:text=El  
0 %20factor%20te%C3%B3rico%20de%20concentraci%C3%B3n,fe%C3%B3n%20de%20concentraci%C3%B3n%20de%20tensiones..](http://www.mecapedia.uji.es/pages/factor_de_concentracion_de_tensiones.html#:~:text=El%20factor%20te%C3%B3rico%20de%20concentraci%C3%B3n,fe%C3%B3n%20de%20concentraci%C3%B3n%20de%20tensiones..)  
] e%20concentraci%C3%B3n%20de%20tensiones.. [Último acceso: 04 01 2023].

## Anexos

Página: 1/1



### DAVILA INDUSTRIA Y COMERCIO

DAVICOM CIA LTDA

**DIR. MATRIZ:** AV. JOHN F. KENNEDY N70-45 E ISIDRO LOZA  
QUITO - PICHINCHA

**DIR. SUCURSAL:** Av. El Rey 1436 y Av. Andes Ambato-Tungurahua

**OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD:** SI

**RUC:** 1792098254001

## FACTURA

**No.** 001-002-000011195

### NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

2211202201179209825400120010020000111955275231015

**AMBIENTE** PRODUCCION

**EMISIÓN:** NORMAL



2211202201179209825400120010020000111955275231015

**RAZÓN SOCIAL/ NOMBRES Y APELLIDOS:** IZA NUÑEZ JONATHAN JAVIER

**IDENTIFICACIÓN:** 1724309800

**FECHA DE EMISIÓN:** 22/11/2022

**GUÍA DE REMISIÓN:** 001-002-000011195

CÓD. PRINCIPAL	CÓD. AUXILIAR	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	PRECIO TOTAL
8-311-4120-1	C.A0412	1,00	BOQUILLA ER20 DE 12MM	13,44	0,00	13,44

**INFORMACIÓN TERCEROS**  
**DIRECCIÓN:** LOMA DE PUENGASI  
**TELÉFONO:** **CORREO** jizaranj98@gmail.com

**INFORMACIÓN ADICIONAL**  
 AGENTE DE RETENCIÓN según Resolución No. NAC-DNCRASC20-00000001 DAVILA INDUSTRIA Y COMERCIO DAVICOM CIA LTDA  
 Por favor enviar retenciones de Quito al correo contabilidad.davicom@hotmail.com y de Ambato al correo ventas.amb@davicom.ec  
 Relacionado con el pedido: 001-002/0011470

<b>SUBTOTAL 12%</b>	13,44
<b>SUBTOTAL 0%</b>	0,00
<b>SUBTOTAL NO OBJETO DE IVA</b>	0,00
<b>SUBTOTAL EXENTO DE IVA</b>	0,00
<b>SUBTOTAL SIN IMPUESTOS</b>	13,44
<b>DESCUENTO</b>	0,00
<b>ICE</b>	0,00
<b>IVA 12%</b>	1,61
<b>IRBPNR</b>	0,00
<b>PROPINA</b>	0,00
<b>VALOR TOTAL</b>	15,05

FORMA DE PAGO	TOTAL	PLAZO	TIEMPO
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	15,05		

**Figura 52.** Factura de boquillas usadas en el sistema de sujeción



**DAVILA INDUSTRIA Y COMERCIO**

DAVICOM CIA LTDA

**DIR. MATRIZ:** AV. JOHN F. KENNEDY N70-45 E ISIDRO LOZA  
QUITO - PICHINCHA

**DIR. SUCURSAL:** Av. El Rey 1436 y Av. Andes Ambato-Tungurahua

**OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD:** SI

**RUC:** 1792098254001

**FACTURA**

**No.** 001-002-000011162

**NÚMERO DE AUTORIZACIÓN**

1811202201179209825400120010020000111623199718318

**AMBIENTE** PRODUCCION

**EMISIÓN:** NORMAL



1811202201179209825400120010020000111623199718318

**RAZÓN SOCIAL/ NOMBRES Y APELLIDOS:** IZA NUÑEZ JONATHAN JAVIER

**IDENTIFICACIÓN:** 1724309800

**FECHA DE EMISIÓN:** 18/11/2022

**GUÍA DE REMISIÓN:** 001-002-000011162

CÓD. PRINCIPAL	CÓD. AUXILIAR	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	PRECIO TOTAL
8-321-4142-1	S.C20-ER20-100	2,00	PORTABOQUILLA C20-ER20-100	37,80	3,78	71,82
8-311-4120-1	C.A0412	1,00	BOQUILLA ER20 DE 12MM	13,44	0,67	12,77

<b>INFORMACIÓN TERCEROS</b>	
<b>DIRECCIÓN:</b>	LOMA DE PUENGASI
<b>TELÉFONO:</b>	
<b>CORREO:</b>	jizanj98@gmail.com
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>	
AGENTE DE RETENCIÓN según Resolución No. NAC-DNCRASC20-00000001 DAVILA INDUSTRIA Y COMERCIO DAVICOM CIA LTDA Por favor enviar retenciones de Quito al correo contabilidad.davicom@hotmail.com y de Ambato al correo ventas.amb@davicom.ec Relacionado con el pedido: 001-002/0011437	

<b>SUBTOTAL 12%</b>	84,59
<b>SUBTOTAL 0%</b>	0,00
<b>SUBTOTAL NO OBJETO DE IVA</b>	0,00
<b>SUBTOTAL EXENTO DE IVA</b>	0,00
<b>SUBTOTAL SIN IMPUESTOS</b>	84,59
<b>DESCUENTO</b>	4,45
<b>ICE</b>	0,00
<b>IVA 12%</b>	10,15
<b>IRBPNR</b>	0,00
<b>PROPINA</b>	0,00
<b>VALOR TOTAL</b>	94,74

FORMA DE PAGO	TOTAL	PLAZO	TIEMPO
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	94,74		

**Figura 53.** Factura del porta boquilla y boquillas usadas para el sistema de sujeción



**VIVANCO JIMENEZ GRACE DEL ROCIO**  
**ACEROS DEL SUR**

Matriz Cusubamba  
 grace.vivanco@acerosdelsur.com  
 2686510 - 0958991238

Obligado a llevar Contabilidad SI  
 EMISIÓN: NORMAL  
 Agente de Retención Resolución 1

## Factura

RUC 1710196104001  
 No. 001-001-000002993

**Autorización**  
 3011202201171019610400120010010000029931234567811

**Fecha y Hora Autorización**  
 2022-11-30T12:31:14-05:00

**Ambiente** PRODUCCIÓN



3011202201171019610400120010010000029931234567811

<b>Razón Social / Nombres :</b>	JONATHAN JAVIER IZA NUÑEZ	<b>Fecha de Emisión:</b>	30/11/2022
<b>Identificación:</b>	1724309800	<b>Guía de Remisión:</b>	
<b>Dirección:</b>	LOMA DE PUENGASI		
<b>Teléfono:</b>	0958903664		
<b>Correo:</b>	jizanj98@gmail.com		

Cod. Principal	Cant	Descripción	Precio Unitario	Descto	Subtotal
CR 7075 - 20	1.00	Duraluminio - CR 7075 - 20 X20CM	\$ 6.25	\$ 0.00	\$ 6.25

Información Adicional					
<b>Provincia</b>	Sin Especificar			<b>Subtotal 12%</b>	\$ 6.25
<b>Ciudad</b>	Sin Especificar			<b>Subtotal 0%</b>	\$ 0.00
				<b>Subtotal no objeto de IVA</b>	\$ 0.00
				<b>Subtotal Exento de IVA</b>	\$ 0.00
				<b>Subtotal Sin Impuestos</b>	\$ 6.25
				<b>Descuento</b>	\$ 0.00
				<b>ICE</b>	\$ 0.00
				<b>IVA 12%</b>	\$ 0.75
				<b>IRBPNR</b>	\$ 0.00
				<b>Propina</b>	\$ 0.00
				<b>Valor Total</b>	\$ 7.00

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	\$ 7.00		

Comprobante Electrónico Creado en [www.azur.com.ec](http://www.azur.com.ec)

**Figura 54.** Factura Aceros del sur del material usado Duraluminio 7075T6





**Figura 55.** Torno CNC. Universidad Politécnica Salesiana



**Figura 56.** Especificaciones del motor



**Figura 57.** Probetas usadas para pruebas de fatiga



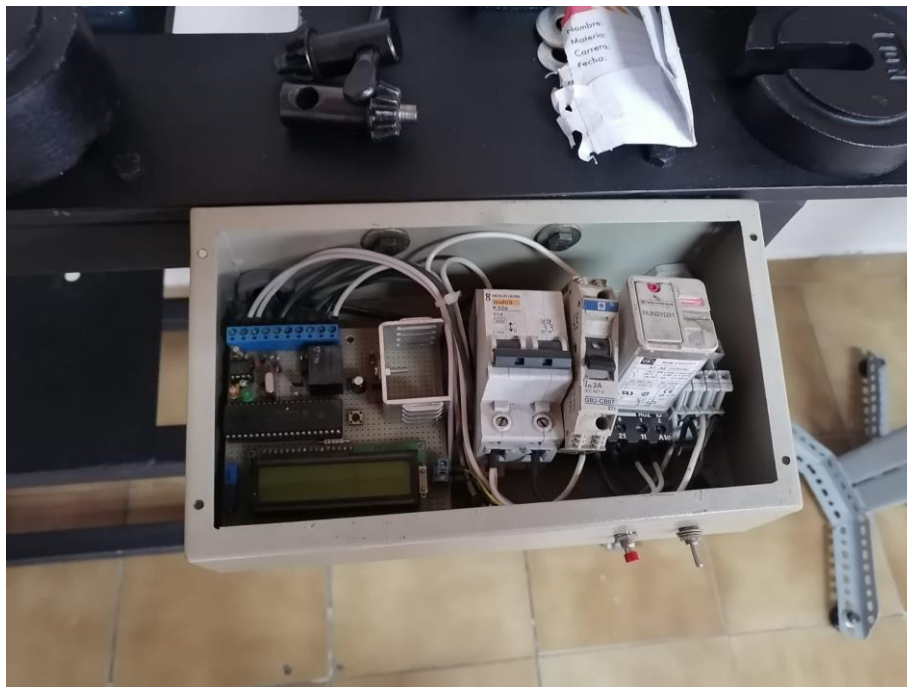
**Figura 58.** Pesos Usados



**Figura 59.** Pulsador adaptado al sistema de mando



**Figura 60.** Proceso de fabricado de probetas



**Figura 61.** Sistema de mando eléctrico



**Figura 62.** Barra de sujeción de peso



**Figura 63.** Probeta en prueba de tracción



**Figura 64.** Contador de Tiempo, revoluciones y velocidad media



**Figura 65.** Control de mando de Torno CNC



**Figura 66.** Probetas numeradas por peso



*Figura 67. Placa soldada, para mayor estabilidad del peso.*





**Figura 68.** Mandril usado en máquina de flexión rotativa.