



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN  
EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS EMPLEADAS PARA  
EL ANÁLISIS METALOGRAFICO EN EL LABORATORIO DE  
RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS  
FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA**

**AUTORA: ACOSTA CHANATÁSIG, ERIKA MONSERRATH**

**DIRECTOR: ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR COCHISE**

**LATACUNGA**

**2019**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS METALOGRAFICO EN EL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA**” fue realizado por **Acosta Chanatásig, Erika Monserrath** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos, y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de julio de 2019

ING. HECTOR TERÁN

C.C: 050268046-5



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Acosta Chanatásig Erika Monserrath** declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS METALOGRAFICO EN EL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 25 de julio de 2019

  
**Acosta Chanatásig Erika Monserrath**  
C.C: 050338700-3



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### AUTORIZACIÓN

Yo, **Acosta Chanatásig Erika Monserrath** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS METALOGRAFICO EN EL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA**”: en el Repositorio Institucional cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 25 de julio de 2019

  
**Acosta Chanatásig Erika Monserrath**  
C.C: 050338700-3

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a DIOS y a mi abuelito Basilides Acosta que, aunque no se encuentra en este momento con nosotros fue fundamental en mi desarrollo como profesional, quien me brindo su sabiduría, consejos y fuerzas para continuar y jamás rendirme al conseguir un sueño.

A mis padres Nicolás y Elvia por darme la vida, por creer en mí y luchar día a día para lograr y conquistar este peldaño en mi vida.

A mi hermano Alex que ha estado incondicionalmente para mí en todo momento a pesar de la distancia.

***Erika Monserrath Acosta Chantásig***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por estar en cada momento de mi vida y saber guiarme por el buen camino.

A mis padres que han sabido velar por mi bienestar, siendo mis pilares fundamentales en mi formación académica; a mi hermano Alex a Natali mi prima mi abuelita María mis tías Angélica y Beatriz que son parte de mi querida familia y han sabido apoyarme siempre para conquistar mis sueños.

Un gran agradecimiento al Ing. Héctor Terán, quien me ha brindado la confianza y la asesoría necesaria para la realización de este proyecto, como también por la comprensión y la presta disposición a ayudar durante las adversidades que ha presentado esta investigación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, que con sus instalaciones, profesores, compañeros y amigos han sido partícipes de nuestro desarrollo personal y profesional.

**Erika Monserrath Acosta Chanatásig**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### PORTADA

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Antecedentes.....	3
1.4. Área de influencia.....	5
1.5. Justificación e importancia. ....	5

1.6. Objetivos.....	6
1.6.1.Objetivo general:.....	6
1.6.2.Objetivos específicos .....	6

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

2. Estado del arte .....	7
2.1. Metalografía.....	7
2.2. Máquinas – herramientas .....	7
2.3. Secuencia completa para la preparación de una muestra .....	7
2.4 Acabado Superficial .....	8
2.5. Sistema de refrigeración .....	9
2.6. Tipos de lubricación .....	10
2.7. Sistema de pulimiento.....	10
2.8. Tamaño de muestra metalográfica .....	11
2.9. Fluidos de corte .....	11
2.10 Motores paso a paso .....	12
2.11.Driver TB6560.....	12
2.12. Arduino Mega.....	13
2.13. Display LCD 20X4.....	13

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1. Introducción .....	14
3.2. Diseño por calidad.....	14
3.3. Casa de la calidad o QFD (quality function deployment).....	14
3.4. Determinación de parámetros .....	15
3.5. Conclusión de la casa de la calidad .....	16
3.6. Matriz de evaluación.....	19
3.7. Matriz morfológica.....	20
3.8. Funcionamiento.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.8. Manufactura .....	22
3.8.1 Etapa del sistema de corte .....	24
3.8.2. Etapa de lijado .....	29
3.8.3. Etapa de pulido .....	33
3.9. Diseño mecánico .....	35
3.10. Etapa de automatización .....	57
3.11. Tiempos óptimos de manufactura. ....	60

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLAJE E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Construcción de las etapas mecánicas.....	62
4.1.1. Estructura base .....	62

4.1.2. Etapa de lijado .....	63
4.2. Implementación del sistema eléctrico y electrónico .....	66

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS**

5. Validación de hipótesis .....	67
5.1. Hipótesis .....	67
5.2. Comprobación de hipótesis .....	67
5.3. Variables de la investigación .....	83

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1. Conclusiones: .....	89
6.2. Recomendaciones .....	90
REFEENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Selección de materiales a usar en el equipo metalográfico .....	19
<b>Tabla 2</b>	Selección de tipos de transmisión.....	20
<b>Tabla 3</b>	Tarjetas electrónicas consideradas.....	20
<b>Tabla 4</b>	Selección del tipo de Arduino.....	21
<b>Tabla 5</b>	Referencias de nombres de la maquina .....	22
<b>Tabla 6</b>	Parámetros de corte de diferentes materiales .....	26
<b>Tabla 7</b>	Selección de disco.....	28
<b>Tabla 8</b>	Parámetros de corte en Aceros al Carbón AISI 1018 y Aleado AISI 308.29	
<b>Tabla 9</b>	Bandas, velocidades y platos para lija en banda.....	30
<b>Tabla 10</b>	Parámetros de lijado de acuerdo l tipo de grano .....	31
<b>Tabla 11</b>	Paños de pulido con adhesivo .....	34
<b>Tabla 12</b>	Velocidad y Rpm pra pulido .....	35
<b>Tabla 13</b>	Referencia nombres de las partes de la etapa .....	35
<b>Tabla 14</b>	Parámetros de corte de un Acero AISI 1018 .....	67
<b>Tabla 15</b>	Parámetros de corte de un Acero AISI 308 .....	68
<b>Tabla 16</b>	Parámetros en la etapa de lijado grano 220 acero AISI 1018.....	69
<b>Tabla 17</b>	Parámetros en la etapa de lijado grano 220 acero inoxidable AISI 308	70

<b>Tabla 18</b>	Parámetros del lijado grano 400 de un AISI 1018 .....	71
<b>Tabla 19</b>	Parámetros del lijado grano 400 de un AISI 308 .....	72
<b>Tabla 20</b>	Parámetros del lijado grano 600 de un AISI 1018 .....	74
<b>Tabla 21</b>	Parámetros del lijado grano 600 de un AISI 308 .....	75
<b>Tabla 22</b>	Parámetros de pulido de los aceros AISI 1018 y AISI 308.....	76
<b>Tabla 23</b>	valores del ciclo de obtención de probetas de Acero AISI 1018 .....	77
<b>Tabla 24</b>	Valores del ciclo de obtención de probetas de Acero AISI 308.....	78
<b>Tabla 25</b>	Valores rugosidad (Ra) [ $\mu\text{m}$ ] para algunas aplicaciones .....	79
<b>Tabla 26</b>	Parámetros del proceso experimental y automático de Acero AISI 101881	
<b>Tabla 27</b>	Valores de niveles de confianza.....	82
<b>Tabla 28</b>	Datos obtenidos de los tiempos de producción .....	85
<b>Tabla 29</b>	Valores del resultado del cálculo de frecuencia esperada .....	86
<b>Tabla 30</b>	Valores del cálculo del Chi-cuadrado.....	87

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> Driver Microstepper TB6560.....	12
<b>Figura 2</b> Arduino Mega.....	13
<b>Figura 3</b> DISPLAY 20X4 .....	13
<b>Figura 4</b> Diseño Casa de la Calidad .....	18
<b>Figura 5</b> Diseño completo del equipo .....	24
<b>Figura 6</b> Información sobre disco de corte.....	25
<b>Figura 8</b> <i>Velocidad lineal de la lija</i> .....	32
<b>Figura 8</b> Diagrama de cuerpo libre según Norma ASTM E-3.....	33
<b>Figura 9</b> Diseño etapa corte.....	36
<b>Figura 10</b> Platina para motores.....	36
<b>Figura 11</b> Diagrama de fuerza y momento máximos de la platina para motores. 38	
<b>Figura 12</b> análisis de Esfuerzos de Platina.....	39
<b>Figura 13</b> Análisis de Factor de Seguridad Platina para motores .....	40
<b>Figura 14</b> Plataforma para motor del disco de corte.....	40
<b>Figura 15</b> Diagrama de la fuerza cortante y momento flector máximo.....	42
<b>Figura 16</b> Análisis de Esfuerzo del porta disco.....	43
<b>Figura 17</b> Análisis de Factor de Seguridad del porta disco .....	44

<b>Figura 18</b> Platina para motor a paso y rieles .....	44
<b>Figura 19</b> Diagrama de fuerza y momento máximos de la platina para motores. 46	
<b>Figura 20</b> Análisis de Esfuerzo de platina para motor a paso y rieles .....	47
<b>Figura 21</b> Análisis de Factor de Seguridad <i>Base del Motor paso a paso</i> .....	48
<b>Figura 22</b> Barra para lijas.....	48
<b>Figura 23</b> Diagrama de fuerzas y momento flector.....	49
<b>Figura 24</b> Análisis de esfuerzos del barra para lijas .....	50
<b>Figura 25</b> Análisis de Factor de seguridad barra para lijas .....	51
<b>Figura 26</b> Plancha de soporte para probetas .....	51
<b>Figura 27</b> Diagrama de fuerzas y Momento Flector .....	52
<b>Figura 28</b> Análisis de esfuerzos de soporte de lija .....	53
<b>Figura 29</b> Análisis del Factor de Seguridad.....	54
<b>Figura 30</b> Funcionamiento del equipo.....	57
<b>Figura 31</b> Diagrama de conexión del Arduino Mega .....	58
<b>Figura 32</b> Circuito eléctrico de las bombas del refrigerante .....	59
<b>Figura 33</b> Circuito eléctrico del motor para disco de corte .....	60
<b>Figura 34</b> circuito eléctrico del encendido y apagado del motor para las lijas .....	60
<b>Figura 35</b> Corte a Perfiles .....	62

<b>Figura 36</b> Encuadre <i>de perfiles</i> .....	62
<b>Figura 37</b> <i>Armado</i> .....	63
<b>Figura 38</b> Pintado.....	63
<b>Figura 39</b> Corte plasma del diseño CAD .....	64
<b>Figura 40</b> <i>Armado de la porta lijas</i> .....	64
<b>Figura 41</b> <i>Montaje en la estructura</i> .....	64
<b>Figura 42</b> <i>Pintado de la porta lijas</i> .....	64
<b>Figura 43</b> Inspección de fallas en la estructura .....	65
<b>Figura 44</b> Montaje de elementos .....	65
<b>Figura 45</b> <i>Implementación de la parte electrónica</i> .....	66
<b>Figura 46</b> Programación.....	66
<b>Figura 47</b> <i>Montaje del circuito</i> .....	66
<b>Figura 48</b> <i>Tablero</i> .....	66
<b>Figura 49</b> Análisis de parámetros de corte acero AISI 1018 .....	68
<b>Figura 50</b> Análisis de parámetros de corte acero inoxidable AISI 308.....	69
<b>Figura 51</b> Análisis de parámetros de lijado grano 220 AISI 1018 .....	70
<b>Figura 52</b> Análisis de parámetros de lijado grano 220 AISI 308 .....	71
<b>Figura 53</b> Análisis de parámetros de lijado grano 400 AISI 1018 .....	72

<b>Figura 54</b> Análisis de parámetros de lijado grano 400 AISI 308 .....	73
<b>Figura 55</b> Análisis de parámetros de lijado grano 600 AISI 1018 .....	74
<b>Figura 56</b> Análisis de parámetros de lijado grano 600 AISI 308 .....	75
<b>Figura 57</b> Análisis de parámetros de pulido del AISI 1018 Y DEL AISI 308 .....	77
<b>Figura 58</b> Análisis de etapas de ciclo total para un Acero AISI 1018.....	78
<b>Figura 59</b> Análisis de etapas de ciclo total para un Acero inoxidable AISI 308 ....	79

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1</b> Velocidad de corte .....	27
<b>Ecuación 2</b> Velocidad Lineal.....	31
<b>Ecuación 3</b> Relación de transmisión .....	31
<b>Ecuación 4</b> velocidad lineal Lija (Budynas , 2008).....	33
<b>Ecuación 5</b> Esfuerzo de Diseño .....	37
<b>Ecuación 6</b> Esfuerzo Máximo .....	37
<b>Ecuación 7</b> Error Experimental.....	81
<b>Ecuación 8</b> Valor de Muestra.....	82
<b>Ecuación 9</b> Confiabilidad en tasa de fallas.....	83
<b>Ecuación 10</b> Frecuencia Esperada.....	85
<b>Ecuación 11</b> Chi-cuadrado .....	87
<b>Ecuación 12</b> Grados de Libertad .....	88

## RESUMEN

En la presente investigación se detallará el proceso para la realización de la practica en la obtención de probetas óptimas, presenta varios inconvenientes entre ellos tenemos: todo el desarrollo de la práctica es manual y debido a la existencia de numerosos estudiantes no logran terminar la práctica. Se vio factible la automatización de este proceso, mediante un equipo automático. Primero se investigará todo el proceso para la obtención de muestras y materiales con que se realizan las probetas; se efectuará el diseño del equipo en un software CAD/CAE de las partes mecánicas que se requieran para transmitir movimiento entre las sub-etapas del proceso, se ejecutará análisis estáticos para el correcto dimensionamiento de las piezas de acoplamiento del equipo. A continuación, se realiza el estudio de materiales existentes en el país para seleccionar la materia prima correcta que cumpla con las especificaciones determinadas mediante su función, y construir las piezas necesarias del equipo de acuerdo al diseño establecido. Finalmente se ensamblará el equipo con cada una de las piezas dimensionadas guiando continuamente del diseño desarrollado. La parte de control se lo realizará con un autómeta programable ya que se desea controlar, I/O analógicas y digitales. Las pruebas del equipo se realizarán con varios materiales tomando en cuenta las superficies de las muestras y el tiempo empleado, se pretende mejorar la productividad de las prácticas y así se da fin a la investigación exponiendo conclusiones y recomendaciones.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **RESISTENCIA DE MATERIALES**
- **MODELADO 3D**
- **METALOGRAFÍA - ENSAYOS**

## **ABSTRACT**

In the present investigation the process for the realization of the practice in obtaining optimal specimens will be detailed, it presents several drawbacks among them we have: the whole development of the practice is manual and due to the existence of numerous students they fail to finish the practice. It was feasible to automate this process, using automatic equipment. First, the entire process for obtaining samples and materials with which the specimens are made will be investigated; The design of the equipment will be carried out in a CAD / CAE software of the mechanical parts that are required to transmit movement between the sub-stages of the process, static analysis will be carried out for the correct sizing of the coupling parts of the equipment. Next, the study of existing materials in the country is carried out to select the correct raw material that meets the specifications determined by its function, and build the necessary pieces of equipment according to the established design. Finally, the equipment will be assembled with each of the sized parts, continuously guiding the design developed. The control part will be carried out with a programmable automaton since you want to control analog and digital I / O. The tests of the equipment will be carried out with various materials taking into account the surfaces of the samples and the time taken, it is intended to improve the productivity of the practices and thus the investigation is terminated by exposing conclusions and recommendations.

### **KEYWORDS:**

- **MATERIAL RESISTANCE**
- **3D MODELING**
- **METALLOGRAPHY - TESTS**

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La presente investigación se basa en el desarrollo de todo el proceso para la obtención automática de muestras metalográficas así tenemos etapas como el corte, lijado y pulido de nuestra probeta con la finalidad de realizar inmediatamente los estudios en el microscopio.

En el Capítulo I se investigará todo el proceso para la obtención de muestras y materiales con que se realizan las probetas. Posteriormente con la información correspondiente se efectuará el diseño del equipo en un software CAD/CAE de las partes mecánicas que se requieran para transmitir movimiento entre las sub-etapas del proceso, se ejecutará análisis estáticos para el correcto dimensionamiento de las piezas de acoplamiento del equipo. A continuación, se procederá al estudio de materiales existentes en el país para seleccionar la materia prima correcta que cumpla con las especificaciones determinadas mediante su función, posteriormente construir las piezas necesarias del equipo de acuerdo al diseño establecido.

Finalmente se ensamblará el equipo con cada una de las piezas dimensionadas guiando continuamente del diseño desarrollado en el software. La parte de control se lo realizará con un autómata programable ya que se desea controlar, I/O analógicas y digitales, comunicación con la pantalla de visualización y su programación.

Las pruebas del equipo se realizarán de diferentes tipos de materiales y se tomará en cuenta las superficies de las probetas y los tiempos empleados. Con esta automatización se pretende mejorar la productividad de las prácticas al obtener muestras.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Al no poseer equipos automatizados que permitan la preparación de muestras óptimas empleadas en análisis metalográficos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga; las muestras obtenidas carecen de las características adecuadas para conseguir resultados reales que satisfagan dicho estudio.

Además, que su preparación conlleva un tiempo prolongado (depende de las habilidades del practicante) que ocasiona que los estudiantes no logren culminar la práctica en el tiempo asignado, ya que todo el proceso para obtención de la muestra es manual tales como es el corte, lijado y pulido.

Cada subproceso desarrollado para la obtención de probetas es independiente así tenemos:

- El corte permite obtener pequeños trozos de material, esto se realiza mediante disco abrasivo el cual rota y corta la pieza.
- El montaje es opcional cuando la probeta es irregular, se desarrolla en una máquina de prensa hidráulica donde se inyecta un polímero (Baquelita o Lucita) y se genera una probeta cilíndrica.
- El lijado o desbaste que maneja la Norma E3, tiene por objetivo principal eliminar las imperfecciones superficiales de la probeta que va hacer observada en el microscopio; esto se logra mediante el deslizamiento unidireccional de la muestra

contra una lija que genera un rayado y la presión que se aplica debe ser homogénea para evitar desniveles en la superficie de la muestra. Por último, utiliza un lubricante (agua) para remover las partículas que se desprendan del rayado y evitar un aumento de temperatura.

- El objetivo del pulido es obtener una superficie lisa y especular, la muestra debe ser girada en contra del sentido del paño y se debe adherir un abrasivo más agua.

### **1.3. ANTECEDENTES**

El laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga realiza el proceso de ensayos metalográficos de forma manual obteniendo acabados superficiales defectuosos; debido a que no cuenta con un equipo adecuado (automático) para obtener muestras óptimas. Lo antes descrito impide obtener probetas de calidad al momento de ejecutar los ensayos mediante el corte, lijado y pulido.

El acabado superficial inadecuado de una muestra, para la valoración de las propiedades de un metal mediante técnicas metalúrgicas, da como resultado una apreciación equivocada de las mismas, debido a los siguientes inconvenientes que se pueden presentar:

- Pulido desproporcionado en la superficie del material.
- Barrer las láminas de grafito en muestras de fundición.
- Exponer el material a altas variaciones de temperatura por falta de lubricación y/o refrigeración en la elaboración del pulido.
- Deformación del material por mal agarre de la muestra.

- Entre otros puntos.

De trabajos con contenido y desarrollo técnico para muestras metalográficas automáticas se puede establecer:

- “Diseño y construcción de un sistema de pulido de probetas metálicas (capacidad de 4 probetas por hora) para el laboratorio de metalurgia de la FIM-E”, el funcionamiento de una máquina encaminada a realizar este tipo de trabajo debe ser similar a las de una máquina pulidora tomando en cuenta que para la obtención de resultados rápidamente se deben hacer trabajar simultáneamente dos superficies, la primera que será la encargada de almacenar las lijas y paños, y la que será la encargada de almacenar de una a cuatro probetas metalográficas de las mismas dimensiones.( Proaño y Salazar, 2006)
- “Implementación de metalografía cuantitativa computarizada para el laboratorio de metalurgia de la Escuela Politécnica del Ejército y valoración de resultados con ensayos metalográficos requeridos en el sector metalmecánico regional”, propone la valoración de resultados, a través de equipos sofisticados que arrojan datos precisos y de fácil entendimiento que permite ahorrar tiempo y con ello realizar el análisis metalográfico de ensayos metalográficos. (Arellano y Castro, 2005)

Por lo que se ve en la necesidad del desarrollar un equipo con nuevas técnicas que permitan cumplir las condiciones para obtener el resultado deseado.

#### **1.4. ÁREA DE INFLUENCIA**

El presente proyecto está enfocado en la obtención de muestras óptimas para el análisis metalográfico realizado en prácticas, mediante la aplicación de técnicas de automatización, utilizando dispositivos y equipos como finales de carrera, arduino, display que están destinados al control, selección y el respectivo manejo y coordinación de las operaciones.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

En la actualidad el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga no cuenta con un equipo automatizado en la preparación de probetas óptimas, lo que ocasiona inconvenientes tales como el aumento notablemente de tiempo de ejecución de la práctica e incluso probetas con un mal acabado para su análisis posterior.

El equipo mencionado permitirá obtener una probeta controlando parámetros como: corte, lubricación y refrigeración mediante control de flujo de agua, agarre de la muestra, velocidad de pulido, avance de penetración, número de repeticiones y tiempo de ejecución, además de conseguir muestras para estudios académicos e investigación, donde la superficie deba tener otras condiciones de manufactura específicas.

Por los factores expuestos, es necesario diseñar, construir y automatizar un equipo de funcionamiento efectivo, así como los accesorios necesarios para su funcionamiento óptimo, tomando en cuenta criterios y normativas recomendadas.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL:**

Diseñar, construir y automatizar un equipo para la obtención de muestras empleadas para el análisis metalográfico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar sobre las diferentes fases de la práctica para la obtención de probetas óptimas tomando en cuenta las normas necesarias para realizarla.
- Diseñar y realizar los análisis estáticos de las piezas de transmisión de potencia de una sub etapa a otra mediante un software de diseño gráfico.
- Seleccionar los materiales necesarios de acuerdo a las especificaciones establecidas para funciones del equipo.
- Construir las piezas dimensionadas de acuerdo al diseño del equipo establecido.
- Ensamblar el equipo realizando los cambios necesarios para su correcta sincronización y armonía para el control del sistema.
- Realizar la programación para el control de funcionamiento.
- Implementar el control mediante la utilización de sensores, temporizadores y actuadores en todo el proceso.
- Realizar pruebas del funcionamiento del proceso, tener en cuenta tipos y acciones repetitivas de forma continua y rápida sin errores.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2. ESTADO DEL ARTE**

##### **2.1. METALOGRAFÍA**

Es una ciencia que estudia la estructura interna de los metales y sus aleaciones de acuerdo a sus propiedades. Para establecer su composición es necesario realizar diferentes estudios de sus propiedades físicas por lo cual se realizan ensayos mecánicos, térmicos, diagramas de equilibrio, etc. Con los resultados de los estudios se relacionan materiales y permite llegar a conclusiones en el campo de investigación para el control de procesos metalúrgicos y verificación de la calidad de las muestras. (Kehl, 2014)

##### **2.2. MÁQUINAS – HERRAMIENTAS**

Desarrolla su tarea mediante una herramienta de corte afilada se pone en contacto con la superficie del material y elabora nuevas piezas a través de arranque de viruta o deformándolo (Escalona, 2009)

##### **2.3. SECUENCIA COMPLETA PARA LA PREPARACIÓN DE UNA MUESTRA**

La parte más importante de la metalografía es realizar el examen en el microscopio de la muestra que esta previamente preparada; la oscilación de aumentos en el microscopio es de 100 y 2000 aumentos aproximadamente. De esta manera se proporciona información sobre el metal y sus aleaciones.

Con este estudio se puede definir las características estructurales, como el tamaño de grano, con toda claridad; se puede conocer el tamaño, forma y distribución de las fases

que comprenden la aleación y de las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras heterogeneidades que tan profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general de un metal. La microestructura permite revisar el tratamiento mecánico y térmico que sufrió el material. (Kehl, 2014)

La preparación de la probeta consiste, en general, en obtener primero una superficie plana y semipulida, mediante el empleo de papeles de esmeril de finura de grano creciente o realizando este desbaste con discos adecuados sobre los que se deposita un abrasivo, terminando con un pulido fino y final sobre discos provistos de paños. El final de la operación es la obtención de una superficie especular que es la requerida para, después, efectuar el ataque y observar adecuadamente la estructura. (Garavito, 2011)

Para obtener una probeta óptima es necesario que en cada una de las fases de la operación sea tratada con cuidado y mucha limpieza ya que al ingresar algún factor desconocido se dañará y no se podrá realizar los posteriores tratamientos. (Garavito, 2011)

## **2.4 ACABADO SUPERFICIAL**

La superficie de las piezas depende mucho del funcionamiento de la máquina, su duración ya que para ser vendidas debe tener un aspecto atractivo. (Poveda Martínez, 2011)

Es necesario establecer fabricación y requerimientos sobre las superficies de las probetas ya que con ello se tendrá grandes beneficios para poder estar a nivel competitivo en el ámbito empresarial. (Díez, 2015)

Los objetivos principales para obtener una superficie recomendable son:

**Protectores**

- Tenacidad a la oxidación y corrosión
- Persistencia a la absorción

**Decorativos**

- Un aspecto excelente

**Tecnológicos**

- Deducción o extensión del rozamiento
- Habilidad de cambio
- Firmeza a la fatiga
- Reflectividad
- Optimizar la soldabilidad

Para un mejor aspecto a la superficie se tiene dos maneras de tratarlas:

- a) El acabado (rugosidad superficial)
- b) Tratamientos y recubrimientos, siendo por tanto la secuencia la realización de:
  - ✓ Elaboración de la superficie
  - ✓ Limpieza y elaboración
  - ✓ Recubrimientos

**20.5. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Este sistema se encarga de enviar una capa de aceite directamente a las piezas que producen fricción para evitar daños a las muestras. (Díez, 2015)

## 2.6. TIPOS DE LUBRICACIÓN

- **Por goteo.**

Su forma es de botella invertida, debe mantenerse encima del componente a lubricar y es muy útil para lugares de difícil acceso. (Santillan Saldivar, 2013)

- **Por cadena.**

La maleabilidad de la cadena permite un mayor contacto de la superficie con el eje que va a lubricar. (Nuñez, 2014)

- **Por inmersión**

Muy económica, no requiere mucha atención se inspecciona para el nivel, llenado y lavado de aceite. (Santillan Saldivar, 2013)

- **Por salpicadura**

Para mecanismos manivelas u otras partes en movimiento encerradas en cárter hermético donde sirve como recipientes para el aceite.

## 2.7. SISTEMA DE PULIMIENTO

Una serie de procesos que consiste en obtener una muestra metálica completamente preparada para su estudio metalográfico.

- **Desbaste Grosero**

En este caso se realiza un desbaste grosero. En ninguno de los desbastes se debe realizar una presión muy fuerte contra el medio abrasivo. Para este tipo de desbaste utilizamos la lija 220 para empezar con las pruebas en las probetas. (Díez, 2015)

- **Desbaste intermedio**

En este punto se necesita hacer un desbaste con las lija 400. (Cabrera Alcántara, 2015)

- **Desbaste Fino**

Cuando se cambie de papel abrasivo se debe operar de la misma forma anteriormente mencionada. Una vez se observe que solo existan rayas producidas por el último papel empleado y se elimina totalmente las anteriores, la muestra está lista para ser pulida. Se utiliza lija 600 (Cabrera Alcántara, 2015)

- **Pulido intermedio**

Se lo realiza con un paño utilizando pasta de diamante con aceite de máquina. De esta manera desaparece las ralladuras para que finalmente da un acabado pulido espejo. (Cabrera Alcántara, 2015)

## **2.8. TAMAÑO DE MUESTRA METALGRÁFICA**

Se utiliza aproximadamente de “12 a 25” mm de diámetro si el material es cilíndrico y una altura no muy alta para ser manejado adecuadamente.

## **2.9. FLUIDOS DE CORTE**

Ayuda a mejorar las condiciones del proceso de maquinado humedeciendo la superficie en donde se efectúa el corte. (Escalona, 2009)

Propiedades de los líquidos de corte:

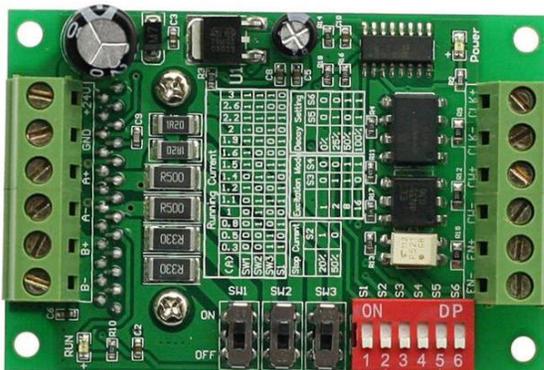
- ✓ **Poder refrigerante:** Baja viscosidad, alto calor específico y elevada conductividad térmica. (Escalona, 2009)
- ✓ **Poder Lubricante:** Disminuir el  $\mu_r$  para que permita el fácil deslizamiento de la viruta sobre herramienta. (Escalona, 2009)

## 2.10 MOTORES PASO A PASO

Permite convertir la información en forma de energía eléctrica a mecánica y finalmente a posición. Está formado por un estator y un rotor con un elevado número de polos. Su movimiento es síncrono y suministro cíclica de sus fases el cual origina un cambio de configuración un giro elemental del rotor, definido como paso. (UPNA, 2018)

## 2.11. DRIVER TB6560

Controlador de motores paso a paso es ajustable, usa un acoplamiento óptico 6N137 de alta velocidad para asegurar que esta no influya en pérdidas en el control de pasos. El módulo tiene impreso las instrucciones de uso para llevar a cabo conexiones adecuadamente. (ELECTRONILAB, 2015)



**Figura 1** Driver Microstepper TB6560  
Fuente: (ELECTRONILAB, 2015)

## 2.12. ARDUINO MEGA

Es el microcontrolador más capaz de la familia Arduino, Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida, puerto de alimentación. A través del Puerto Serie se produce la comunicación entre la computadora y el arduino. Es una herramienta para controlar el mundo físico. (Garcia , 2015)



**Figura 2** Arduino Mega

Fuente: (Garcia , 2015)

## 2.13. DISPLAY LCD 20X4

Llamado visualizador, donde se muestra información y esta puede ser de manera visual o táctil. Los ejemplos más comunes más comunes tenemos en el televisor y la pantalla de una laptop. (Wikipedia, 2016)



**Figura 3** DISPLAY 20X4

Fuente: (Wikipedia, 2016)

## CAPITULO III

### 3. ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

La función principal del diseño es definir de forma física el producto para satisfacer las necesidades del cliente. De esta manera el diseño cumple parámetros de ingeniería tales como: mecánico, eléctrico, software. Además, se tiene ergonomía y las interfaces con él operador.

#### 3.2. DISEÑO POR CALIDAD

El sistema de corte, lijado y pulido al ser procesos manuales y repetitivos, dan pérdidas de tiempos e irregularidad en las muestras, por lo que se aplica técnicas de automatización y mejor control en el proceso lo cual disminuirá el tiempo empleado e incrementará y mejorará la obtención de muestras metalográficas.

#### 3.3. CASA DE LA CALIDAD O QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT)

QFD es un método gráfico, como objetivo a diseñar y producir un elemento que pudiere satisfacer o exceder las necesidades del cliente y traducirlo a soluciones técnicas de diseño, enumerado en una matriz las necesidades de los clientes QUES o "atributos" comparándolas con las "características de diseño" COMOS.

La QFD conlleva a:

- ✓ Necesidad del operador
- ✓ Exigencias técnicas
- ✓ Relación entre necesidades del operador con las exigencias técnicas

- ✓ Criterios de importancia
- ✓ Características Técnicas y Generación de Objetivos

### **3.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS**

Las exigencias del equipo se basan en las necesidades que los Ingenieros aportaron ya que han realizado por años el proceso para obtención de muestras metalográficas, tenemos las siguientes exigencias:

#### **a) Voz del Usuario**

- ✓ Operación del equipo
- ✓ Mínima inversión
- ✓ Adaptable (cortes, materiales y diámetros)
- ✓ Corte optimo
- ✓ Interfaz amigable con el operador
- ✓ Operación intuitiva
- ✓ Limpieza practica
- ✓ Estructura con dimensiones limitadas

#### **b) Voz de Ingeniero**

- ✓ Automatización de los procesos
- ✓ Selección de materiales
- ✓ Diseño Cinemático
- ✓ Precisión de corte
- ✓ Interfaz Humano Maquina (HMI)
- ✓ Seguridad

- ✓ Diseño Ergonómico
- ✓ Diseño Dinámico
- ✓ Tolerancias y Ajustes

### 3.5. CONCLUSIÓN DE LA CASA DE LA CALIDAD

Con la Figura 4 Diseño Casa de la Calidad se obtiene técnicas solicitadas, que especifica las principales características del diseño y funcionamiento del equipo.

- **Nivel de automatización:** En base a las necesidades dadas por los Ingenieros se requiere un nivel de automatización II, de este modo el equipo optimizara el tiempo y la producción.
- **Selección de Materiales:** Con las altas ventajas del material estructural, el acero estructural ASTM36 es apto para la construcción de los elementos del equipo.
- **Diseño Cinemático:** Se determinan velocidades, posiciones y aceleraciones de los diferentes elementos del equipo.
- **Diseño Dinámico:** Se establecen las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento y el efecto que producen las mismas.
- **Interfaz Humano Maquina (Visualización LCD y Mandos):** Mediante el encoder Rotario el operario tiene el control del equipo y el LCD permite una monitorización en tiempo real completo.
- **Diseño Ergonómico:** El equipo es adaptable al operario, y garantiza un óptimo desenvolvimiento para su correcto funcionamiento.

Con las características anteriormente establecidas proporciona las partes importantes para el correcto uso del equipo y para una correcta funcionalidad de la casa de la calidad.



### 3.6. MATRIZ DE EVALUACIÓN

Como estrategia de poder seleccionar materiales se establece la técnica de criterios ponderados que única valores a criterios según experiencias empíricas o a base de ayuda en profesionales

Los criterios para evaluar:

- Automatización (Aut)
- Bajo Costo (Cost)
- Manejable (Man)
- Intuitiva (Int)
- Fácil Limpieza (Limp)
- Accesibilidad (Ac)
- Fiabilidad (Fiab)

**Tabla 1**

*Selección de materiales a usar en el equipo metalográfico*

Material para la estructura								
Criterios a evaluar	Aut	Cost	Man	Int	Limp	Ac	Fiab	Total
Valores	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	10,5
<b>Acero ASTM A36</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>9,2</b>
aluminio T6	1	1,5	1,3	1,4	1,2	1,5	1,1	9
acero inoxidable	1	0,5	0,5	0,3	1,5	1,1	1,5	6,4

Se selecciona de la Tabla 1 de acuerdo a ponderaciones el mejor material para la construcción de la estructura del equipo es el ASTM A36 con un 9,2 de 10,5.

**Tabla 2**  
*Selección de tipos de transmisión*

Transmisión de motor mordaza								
Criterios a evaluar	Aut	Cost	Man	Int	Limp	Ac	Fiab	Total
Valores	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	10,5
<b>Banda</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>9,2</b>
Engranés	1,4	0,6	0,2	0,4	0,4	1	1,3	5,3
Sin reducción	1	0,9	0,3	0,5	0,2	0,5	0,4	3,8

Con los valores establecidos en la Tabla 2 se obtiene que la mejor opción para la transmisión es la banda con un 9,2.

### 3.7. MATRIZ MORFOLÓGICA

**Tabla 3**  
Tarjetas electrónicas consideradas

	Arduino	Tarjeta dedicada nvm	Microcontrolador
Microcontrolador	Atmega		Familia de los Pics
Voltaje externos	3.3-9 voltios	110 vl	TTL 5V
Pines Rx Tx	Configurables	Configurables	Configurables
Software	Arduino IDE	MACH3	Lenguajes ensamblar , basic
Grado de complejidad	Bajo	Alto	Bajo
Costo	Accesible	Alto	Bajo

De acuerdo a la Tabla 3 se considera tres tipos de tarjetas electrónicas donde la que cumple con todas las especificaciones necesarias para realizar la programación adecuada a bajo costo y accesible es el ARDUINO.

**Tabla 4**  
Selección del tipo de Arduino

Modelo	Pro mini	Nano	Uno	Mega/mega a 2560	Leonardo	Micro
<b>Micro controlador</b>	AVR Atmega 168 ó 328 8bits	AVR Atmega 168 ó 328 8bits	AVR Atmega 328 8bits	AVR Atmega 2560 8bits	AVR Atmega 32U4 8bits	AVR Atmega 32U4 8bits
<b>Memoria RAM</b>	2 KiB	2 KiB	2 KiB	8 KiB	2.5 KiB	2.5 KiB
<b>Memoria EEPROM</b>	1 KiB	1 KiB	1 KiB	4KiB	1KiB	1 KiB
<b>Memoria flash</b>	16 ó 32 KiB	16 ó 32 KiB	32 KiB	128 ó 256 KiB	32KiB	32KiB
<b>Pines digitales entrada y salida</b>	14/14	14/14	14/14	54/54	20/20	20/20
<b>Tension/corriente pines digitales</b>	3.3V ó 5V 40Ma	5V 40Ma	5V 40mA	5V 40mA	5V 40mA	5V 40mA
<b>Pines analogicos Input/Output</b>	6/0	8/0	6/0	16/0	12/0	12/0
<b>Tension/resolucion pines analógicos</b>	3.3V-5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)	5V 10bits (1024 valores)
<b>Pines con interrupción externa</b>	2	2	2	6	2	2
<b>Pines PWM</b>	6	6	6	15	7	7
<b>Conexiones serial /UART</b>	1	1	1	4	1	1
<b>Conexiones ISP/ICSP</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Conexión USB</b>	NO	SI	SI USB-B	SI USB-B	Si, nativa microusb	Si, nativa microusb
<b>Dimensiones</b>	18x33 mm (J.M.Hughes, s.f.)	43,2x17.78 mm (J.M.Hughes, s.f.)	50X53 mm (BECUO, s.f.)	68.58x53.3 4 (J.M.Hughes, s.f.)	68.6 x 53.3mm (arduino, s.f.)	48 X 18 mm (J.M.Hughes, s.f.)

Con las especificaciones técnicas establecidas en la Tabla 4 la tarjeta a seleccionar es el arduino Mega ya que posee mayor cantidad de salidas P.W.M., que se las utilizará para la activación de los motores a pasos, además se las utiliza como entrada para los

finales de carrera de los ejes, otro ítem para validar la selección es la mayor capacidad memoria R.A.M. con respecto a otras tarjetas arduino.

### 3.8. MANUFACTURA

El equipo a construir está constituido por tres etapas las cuales son fundamentales para realizar el proceso de para obtención de muestras metalográficas estas son:

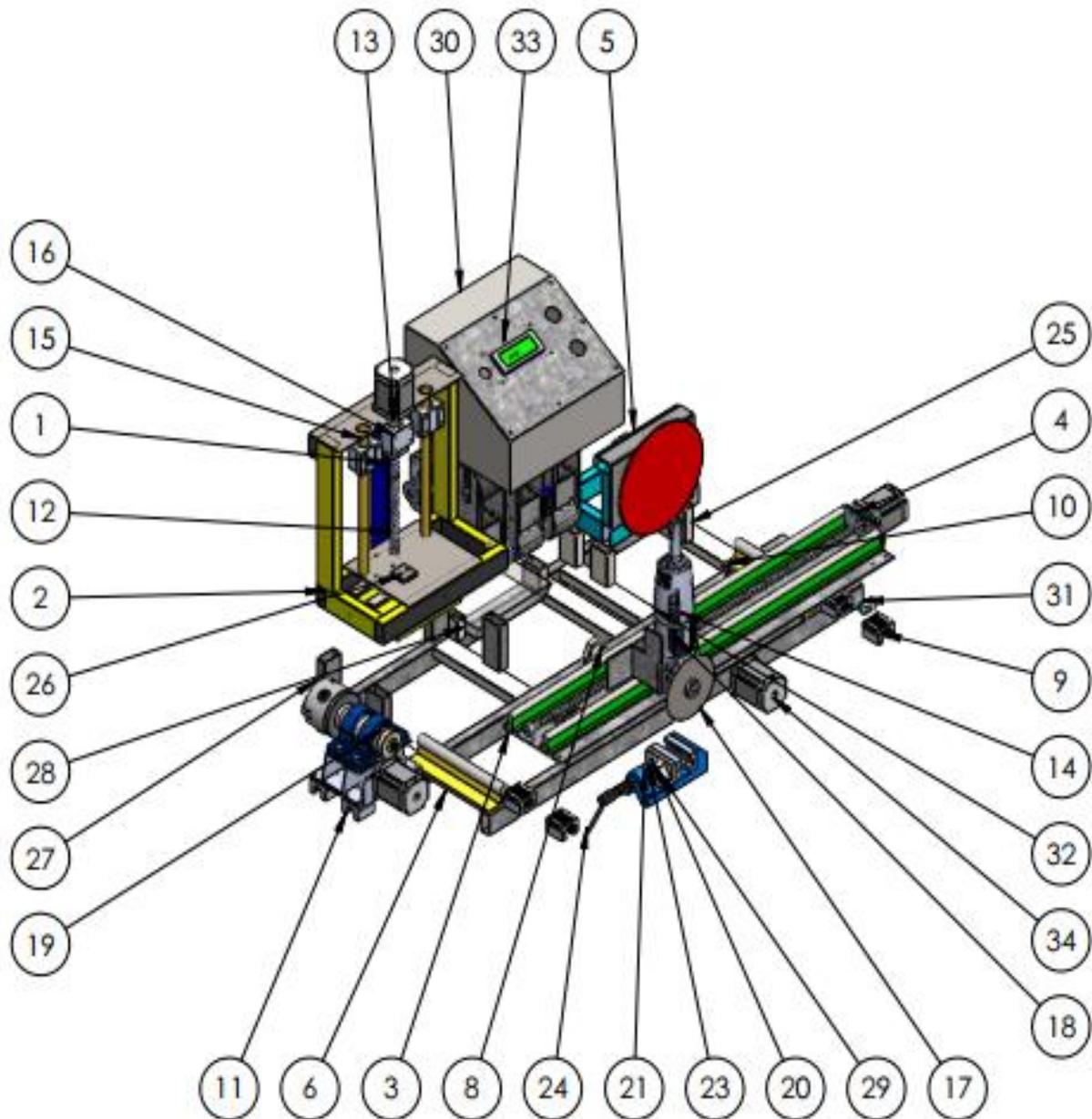
- Etapa de corte
- Etapa de lijado
- Etapa de pulido

En la **Tabla 5**

Referencias de nombres de la maquina se encuentran establecidos los nombres de cada uno de los nombres del equipo referenciada con sus números en la **Figura 5** *Diseño completo del equipo*

**Tabla 5**  
*Referencias de nombres de la maquina*

1	ensamble lija		1
2	corte		1
3	peril_1000mm		3
4	carro longitudinal		1
5	pulido de probetas		1
6	barradel perfil		2
7	tomilloeje		1
8	RM1605		1
9	barradel perfil buje	RODAMIENTO ABIERTO	4
10	_-73-10611		1
11	nordaza giratoria		1
12	barras de soporte		1
13	sujeci3ntornillo_de bolas		1
14	plataforma		1
15	guis tornillo sinfin		2
16	RM1605		1
17	disco de corte		1
18	tornillo		1
19	peril_20cm		5
20	02_Mordaza_movil		1
21	04_Tornillo_mordaza		1
22	07_Tornillo_Cabeza_Ranura		1
23	dientes		2
24	06_Tornillo_Barra		1
25	perfil_66mm		4
26	08_Placa_de_Sujecion		1
27	perfil_88.4mm		4
28	perfil_41.47mm		2
29	01_Base_Principal		1
30	tablero_de_control		1
31	Acople Flexible2_4a16SLDPRT		2
32	amoladora		1
33	LCD 20x4		1
34	NEMA23 57BYGH627		1



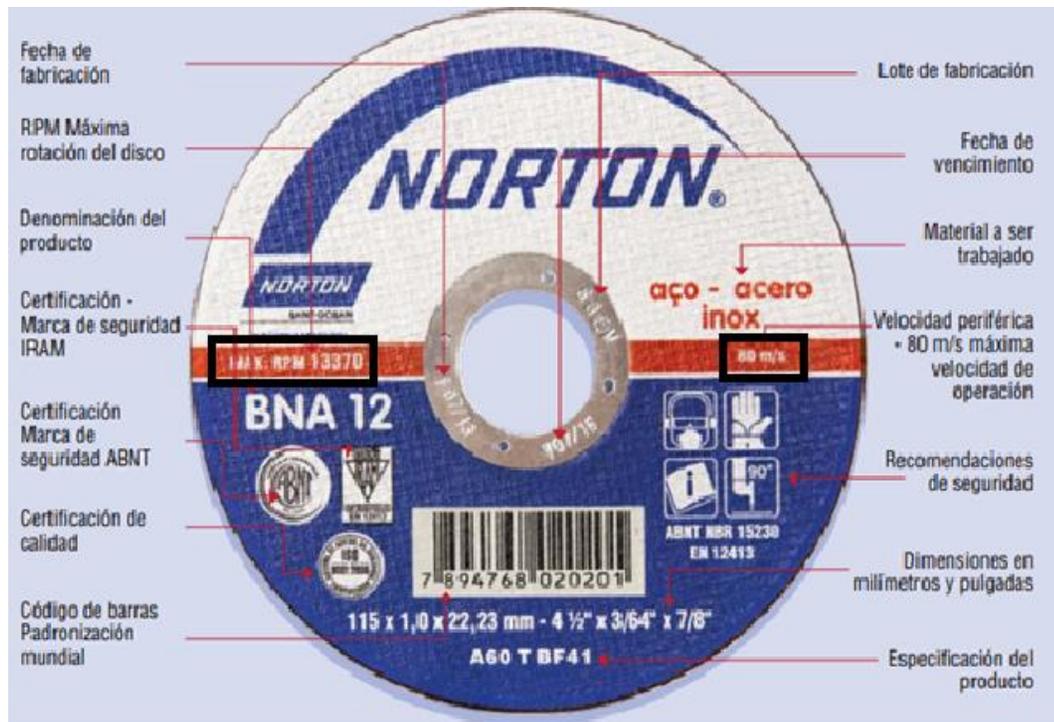
**Figura 5** Diseño completo del equipo

### 3.8.1. ETAPA DEL SISTEMA DE CORTE

Con la Dada la Figura 6 Información sobre disco de cortese muestra las revoluciones por minuto y Velocidad Periférica máximas las cuales soporta el disco.

$$n_{max} = 13370rpm \text{ (Permitido)}$$

$$v_{cmax} = 80 \text{ m/s}$$



**Figura 6** Información sobre disco de corte

Fuente: (Gobain, 2019)

En la **Tabla 6** se establecen los parámetros de corte tales como avance por revolución, profundidad y velocidad de corte de diferentes materiales para lo cual se realiza el cálculo de las revoluciones por minuto del disco se seleccionan los tipos de materiales a cortar de acero al carbono AISI 1018 y el acero aleado inoxidable AISI 308.

**Tabla 6**  
*Parámetros de corte de diferentes materiales*

Material	Profundidad de corte		Avancé por revolución		Velocidad de corte	
	Pulg	Mm	Pulg	mm	Pie/min	M/min
Aluminio	0.005-0.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	700-1000	215-300
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	450-700	135-215
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	300-450	90-135
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	100-200	30-60
Latón, Bronce	0.005-0.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	700-800	215-245
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	600-700	185-215
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	500-600	150-185
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	200-400	60-120
Hierro colado(medio)	0.005-0.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	350-450	105-135
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	250-350	75-105
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	200-250	60-75
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	75-150	25-45
Acero para maquinaria	0.005-0.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	700-1000	215-305
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	550-700	170-215
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	400-550	120-170
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	150-300	45-90
Acero para herramientas	0.005-0.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	500-750	150-230
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	400-500	120-150
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	300-400	90-120
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	100-300	30-90
Acero inoxidable	0.005-.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	375-500	115-150
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	200-375	90-115
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	250-300	75-90
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	75-175	25-65
Aleaciones de titanio	0.005-0.015	0.15-0.45	0.002 -0.005	0.05-0.15	300-400	90-120
	0.020-0.090	0.5-0.23	0.005-0.015	0.15-0.40	200-300	60-90
	0.100-0.700	2.550-5.1	0.015-0.030	0.40-0.75	175-200	55-90
	3.000-7.000	7.60-17.80	0.030-0.09	0.75-2.3	50-125	15-40

Fuente: (SCRIB, 2016)

- **Acero al Carbono 1018**

Se selecciona de la Tabla 5 las velocidades de corte en m/min, también el diámetro crítico del eje de 12mm se calcula las revoluciones por minuto máximos para el corte.

**Ecuación 1** Velocidad de corte

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

(Larburu, 2005)

$$v_c = 305 \text{ m/min}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$n = \frac{305 \cdot 1000}{12 \cdot \pi}$$

$$n = 8090,37 \text{ rpm (recomendado)}$$

Al realizar el cálculo se encuentra los rpm recomendados de acuerdo al material con respecto al permitido por el disco.

$$8090,37 \text{ rpm} < 13370 \text{ rpm}$$

- **Acero inoxidable 308**

$$v_c = 500 \text{ m/min}$$

$$D_{\text{crítico}} = 12 \text{ mm}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{12 \cdot \pi}$$

$$n = 3978,87,911 \text{ rpm (recomendado)}$$

$$3978,87 \text{ rpm} < 13370 \text{ rpm}$$

Para calcular la velocidad de corte en [m/min] del motor se selecciona datos como el diámetro [mm] del disco corte seleccionada de la Tabla 7 Selección de *d*isco las revoluciones por minutos del motor la cual es de 11000 rpm y su resultado no debe exceder de la velocidad periférica de 80 [m/min]

**Tabla 7**

Selección de disco

CODIGO SAP	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES		EMP.
		PULGADAS	MILÍMETROS	
66252920338	115 BDA 08	4 1/2" x 1/32" x 7/8"	115 x 0.8 x 22.2	25
66252843679	DC BNA 12 EXTRA	4 1/2" x 3/64" x 7/8"	115 x 1.0 x 22.2	25
66252843680	DC BNA 12	4 1/2" x 1/16" x 7/8"	115 x 1.6 x 22.2	25
66252843688	DC BNA 12	7" x 1/16" x 7/8"	178 x 1.6 x 22.2	25
66252926954	DC BNA 22	7" x 5/64" x 7/8"	178 x 2 x 22.2	25
66252926955	DC BNA 22	9" x 5/64" x 7/8"	229 x 2 x 22.2	25

Fuente: (Gobain, 2019)

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

(Larburu, 2005)

 $V_c$ =velocidad de corte [m/min] $D$ = diámetro del disco de corte [mm] $n$ =velocidad de giro [rpm]

$$D_{\text{disco}} = 115\text{mm}$$

$$n = 11000 \text{ rpm del motor}$$

$$V_c = \frac{115\text{mm} * \pi * 11000 \text{ rpm}}{1000}$$

$$V_c = 1265 \text{ m/min}$$

$$V_c = 21,08 \text{ m/s}$$

La velocidad Periférica recomendada es de 80m/s y la permitida a que gira el disco es de 21 m/s por lo que se observa que está correctamente ya que no sobrepasa al valor antes mencionado. De la misma manera cumple la condición que la velocidad permitida que es 1265  $m/min$  del disco es mayor a las dos velocidades de corte de los materiales aceros AISI 1018 305  $m/min$  y AISI 308 500  $m/min$ .

**Tabla 8**

*Parámetros de corte en Aceros al Carbón AISI 1018 y Aleado AISI 308.*

Material	Acero AISI 1018	Velocidad de Corte	305 $m/min$
Tiempo de corte	130 <i>seg</i>	Revoluciones por minuto	8090,37 <i>rpm</i>
Refrigerante	Emulsiones de aceite y agua. Valores de 5% de aceite y 95% de agua	Dimensiones	<b>D = 12mm</b> redondo sólido
Material	Acero Aleado AISI 308	Velocidad de Corte	500 $m/min$
Tiempo de corte	200 <i>seg</i>	Revoluciones por minuto	3978,87 <i>rpm</i>
Refrigerante	Emulsiones de aceite y agua. Valores de 5% de aceite y 95% de agua	Dimensiones	<b>D = 12mm</b> redondo sólido

### 3.8.2. ETAPA DE LIJADO

De acuerdo a Norma ASTM E-122 (Anexo B) se realiza la selección de tamaño de grano el cual es adecuado para el equipo de acuerdo a las necesidades de los materiales en la Tabla 9. Bandas, velocidades y platos para lija en banda se encuentran datos técnicos para seleccionar tipo de lija en banda por lo cual seleccionados primero los tres tipos de granos 220 desbaste grosero, 400 desbaste intermedio y 600 desbaste final, longitud de la

banda que en este caso es de 1 pulgada, velocidades en revoluciones por minuto, velocidades en pulgadas sobre minutos, y los materiales en los cuales se deben utilizar de acuerdo a su tipo de abrasivo. Además, cuenta con un refrigerante con porcentajes de 5% de aceite y el 95% de agua.

**Tabla 9**  
*Bandas, velocidades y platos para lija en banda*

GRIT	ABRASIVE		BELT		SPEEDS*			PLATEN				MATERIALS WORKED				
	GARNET	ALUMINUM OXIDE	1"	1/2"	SPEED DIAL SETTING	RPM	SF/MIN	1"	1/2"	CURVED 1/2" R.	NONE	HARD WOODS	SOFT WOODS	FERROUS METALS	NON-FERROUS METALS	PLASTICS**
80	✓		✓		SLOW-E	700-1150	550-903	✓		✓	✓	✓	✓			✓
100	✓		✓		B-G	850-1450	668-1139	✓		✓	✓	✓	✓			✓
150	✓		✓		D-I	1050-1750	825-1374	✓		✓	✓	✓	✓			✓
220	✓		✓		F-K	1300-2050	1022-1610	✓		✓	✓	✓	✓			✓
80	✓			✓	SLOW-E	700-1150	550-903		✓		✓	✓	✓			✓
100	✓			✓	B-G	850-1450	668-1139		✓		✓	✓	✓			✓
150	✓			✓	D-I	1050-1750	825-1374		✓		✓	✓	✓			✓
220	✓			✓	F-K	1300-2050	1021-1210		✓		✓	✓	✓			✓
60		✓	✓		SLOW-G	700-1450	550-1139	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
80		✓	✓		B-H	850-1600	668-1257	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
150		✓	✓		D-I	1050-1750	825-1374	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
220		✓	✓		F-J	1300-1900	1021-1492	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
320		✓	✓		H-K	1600-2050	1257-1610	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
400		✓	✓		E-I	1150-1750	903-1374	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
600		SILICON-CARBIDE	✓		C-G	950-1450	746-1139	✓		✓	✓			✓	✓	✓
POLISH**			✓		SLOW-E	700-1150	550-903				✓			✓	✓	✓

These speeds are for 60 hz. operations. For 50 hz. operations, refer to Table 1-1. Plastics are always worked at "Slow" speed.  
\* Use the appropriate polishing compound for the material being worked.

Fuente: (Smith, 2017)

### Velocidades de lijado según el tipo de grano

Se calcula velocidad lineal mediante Ecuación 2 de acuerdo al tipo de grano y revoluciones por minuto seleccionadas en la Tabla 9 Bandas, velocidades y platos para lija en banda, teniendo en cuenta que del diámetro del rodillo de soporte de la lija en banda es de 55mm.

$$Vl = \omega.r \quad \textbf{Ecuación 2 Velocidad Lineal}$$

En la Tabla 10 se encuentran los parámetros máximos y mínimos para los tres ciclos de lijado.

**Tabla 10**  
*Parámetros de lijado de acuerdo l tipo de grano*

Grano	Rpm	Velocidad lineal
<b>220</b>	1300 – 1900	595 mm/s – 870,5 mm/s
<b>400</b>	1150 – 1750	527 mm/s – 802 mm/s
<b>600</b>	950 – 1450	403,5 mm/s – 665mm/s

La relación de transmisión se define como la comparación del tamaño de la polea motriz y la polea conducida, en este caso tenemos

$$i = \frac{\text{Diametro motriz}}{\text{Diametro conducida}}$$

(Larburu, 2005)

$$i = \frac{40cm}{50cm}$$

$$i = 0,8$$

Realizado el cálculo de la relación de transmisión se calcula las revoluciones por minuto del motor tomando en cuenta los diámetros de las poleas:

$$n_1 * i = n_2 \quad \textbf{Ecuación 3 Relación de transmisión}$$

(Larburu, 2005)

Donde  $D_1$  y  $D_2$  son los valores de diámetros de las poleas y  $n_1$  y  $n_2$  velocidades de giros.

$$D_1 = 40cm \text{ polea motriz}$$

$$D_2 = 50cm \text{ polea conducida}$$

$$n_2 = 1900 \text{ rpm maxima de las lijas}$$

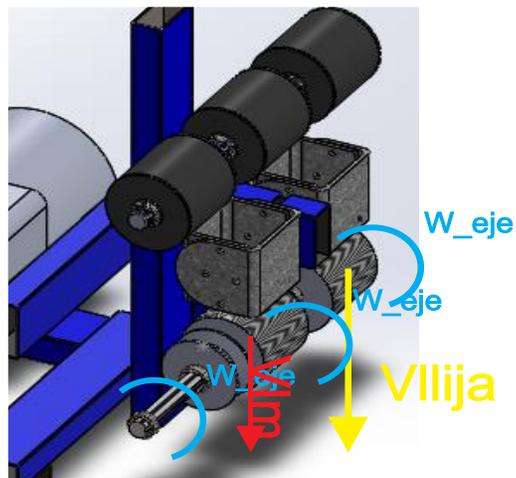
$$n_1 = \frac{n_2 * D_2}{D_1}$$

(Larburu, 2005)

$$n_1 = \frac{50cm * 1900rpm}{40cm}$$

$$n_1 = 2375 \text{ rpm motor}$$

Con los resultados obtenidos se calcula la velocidad de la lija teniendo en cuenta el diámetro de la porta lijas que es de 55mm las revoluciones por minuto del motor que es de 2375 rpm.



**Figura 7** Velocidad lineal de la lija

$$V_{Lijia} = \frac{W_{motor} * r_{poleamotor}}{r_{poleaje}} * r_{portalija} \quad \text{Ecuación 4 velocidad lineal Lija (Budynas , 2008)}$$

$$v_{lijia} = \frac{w_0(motor) * r(polea motor) * r(cilindros porta lijas radio)}{r(polea)}$$

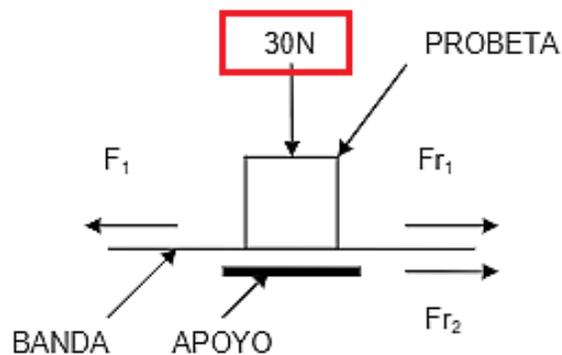
$$v_{lijia} = \frac{2375 \text{ rpm} * 40\text{mm} * 27,5\text{mm}}{50\text{mm}}$$

$$v_{lijia} = 52250 \text{ mm/min}$$

$$v_{lijia} = 52,25 \text{ m/min}$$

### FUERZA DE EMPUJE DE LA PROBETA

Según NORMA ASTM E – 3 (Anexo A) la fuerza que se ejerce en una probeta para lijado en banda es de 30N, como se observa en la Figura 8 Diagrama de cuerpo libre según Norma ASTM E-3.



**Figura 8** Diagrama de cuerpo libre según Norma ASTM E-3

Fuente: (TRISTANCHO, 2017)

### 3.8.3. ETAPA DE PULIDO

En el proceso de pulido se selecciona las revoluciones por minuto a las que debe girar para obtener un pulido tipo espejo en la muestra ya que después de esta etapa se llevara la probeta al microscopio para ver sus características.

Para seleccionar el paño se requiere de los siguientes parámetros:

- Tipo de material Lota es de tejido sintético de pelo corto y se aplica para todo tipo de materiales especialmente para materiales duros. (Neurtek, 2017)
- Diámetro del paño de 200mm en rango normal para ejes de 12 a 25mm.

Según Neurtek Instruments la variación de revoluciones por minuto es de 150 rpm a 250 rpm, con una fuerza de presión de la probeta al paño de 25N de acuerdo Al material seleccionado LOTA. (Neurek, 2018)

**Tabla 11**

*Paños de pulido con adhesivo*

Referencia	Tipo	Diámetro (mm)
AK-41033016	Ramda	32
AK-41035116	Moran-U	32
AK-41037016	Napal	32
AK-41202513	Daran	200
AK-41203013	Ramda	200
AK-41205113	Moran-U	200
ATM-92008810	Sigma	200
AK-41207013	Napal	200
ATM-95002393	lota	200
ATM-92005681	Zeta	200
ATM-92002563	Kappa	200
ATM-92002562	Omega	200

Fuente: (Neurtek, 2017)

Velocidad y Rpm pra pulido se muestra las revoluciones por minuto para limpieza de probetas y un acabado tipo espejo en base a Neurtek Instrumens (ANEXO B).

**Tabla 12**

*Velocidad y Rpm pra pulido*

Diámetro del paño	Rpm
200mm	150 min
200mm	250 max

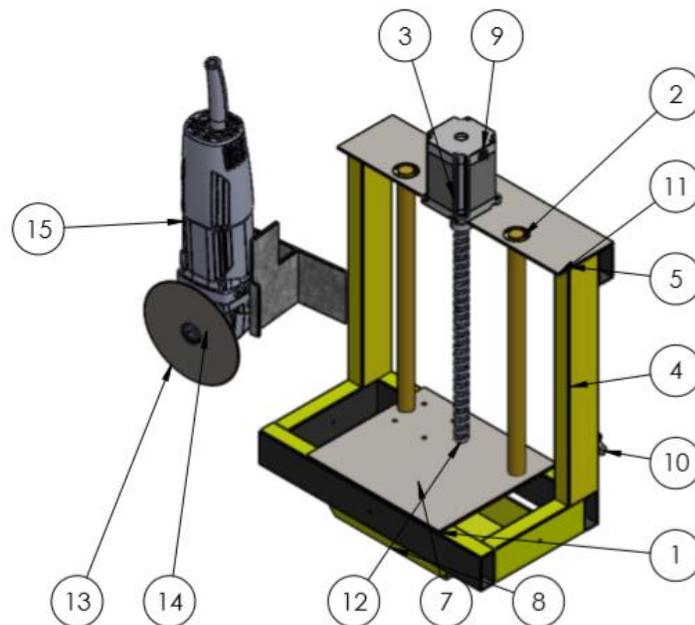
### 3.9. DISEÑO MECÁNICO

#### 3.9.1. Etapa corte Esfuerzo de Diseño

**Tabla 13**

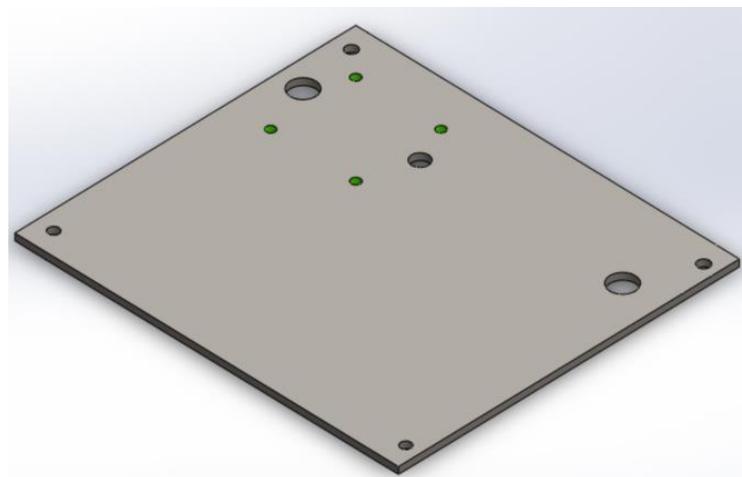
*Referencia nombres de las partes de la etapa*

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	riel		1
2	tornillo infin		2
3	Acople FlexibleSLDPRT		1
4	perfil_corte_mayor		2
5	perfil_corte		3
6	perfilpequeño_corte		2
7	03_Vicel		2
8	platina corte		1
9	NEMA23 57BYGH627		1
10	KW3-OZ		1
11	rielrueda		1
12	barras de soporte		1
13	disco de corte		1
14	amoladora		1
15	plataforma		1



**Figura 9** Diseño etapa corte

En la **Figura 9** se establecen las partes de la etapa de corte en la cual se selecciona la platina de los motores a paso y motor del disco de corte (numero 7) para diseñarlo.



**Figura 10** Platina para motores

Dada la Ecuación 5 Esfuerzo de Diseño

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N_{fs}}$$

**Ecuación 5** Esfuerzo de Diseño  
(Budynas , 2008)

Empleando la Ecuación 5 se determina el esfuerzo de diseño de acero estructural ASTM A36 (ANEXO C) donde su esfuerzo a la fluencia mínimo es de 250Mpa

$$\sigma_d = \frac{250Mpa}{3}$$

$$\sigma_d = 83.333 Mpa$$

Se determina la máxima cantidad de esfuerzo dada la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

**Ecuación 6** Esfuerzo Máximo  
(Budynas , 2008)

Donde:

$\sigma_{max}$ : Esfuerzo Máximo [N]

$M_{max}$  = Momento Flector Máximo [Nm]

$L$  = altura

$$M_{max} = \frac{Fs * L}{8}$$

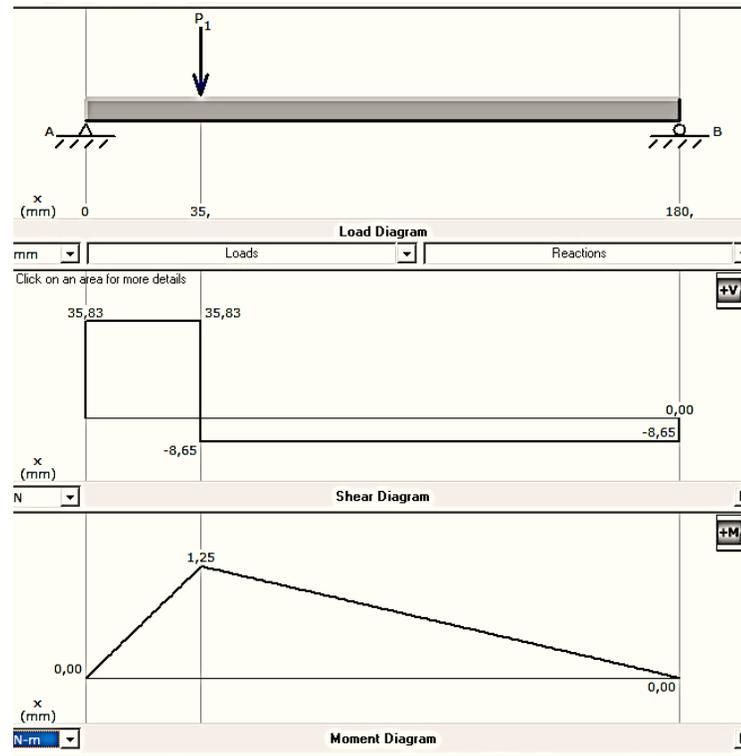
(Budynas , 2008)

$$Fs = W_{paso} + W_{disco}$$

$$Fs = 133,44 [N]$$

$$M_{max} = \frac{133,44 [N] * 0,18m}{8}$$

$$M_{max} = 3,0024 \text{ Nm}$$



**Figura 11** Diagrama de fuerza y momento máximos de la platina para motores

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

(Budynas , 2008)

$$\sigma_{max} = \frac{24 * 3,0024}{0,18 * 0,004^2}$$

$$\sigma_{max} = 25,03 \text{ Mpa}$$

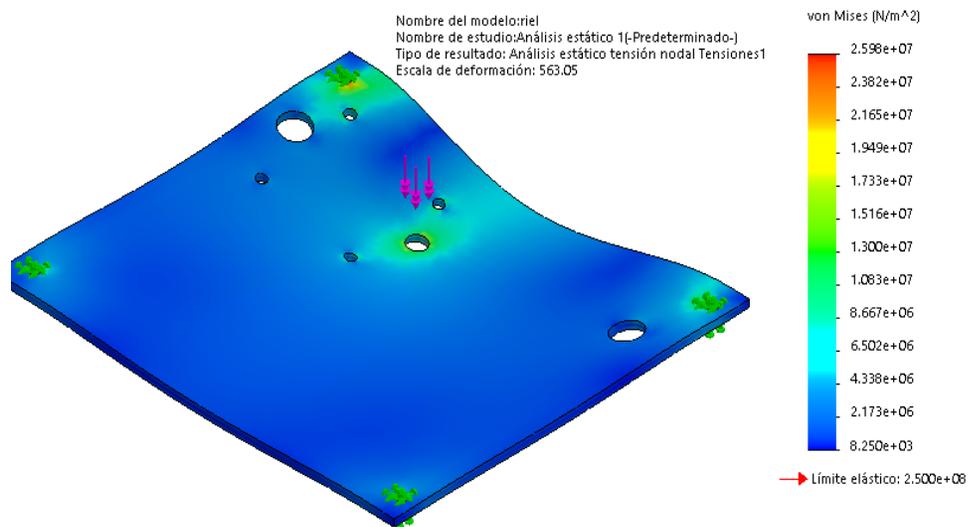
Para determinar que el diseño sea seguro se comprueba mediante el criterio de esfuerzos donde:

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

(Budynas , 2008)

$$83.333 \text{ Mpa} \geq 25 \text{ Mpa}$$

Se comprueba que el diseño está correctamente ya que el esfuerzo de Diseño es mayor que el esfuerzo de diseño máximo de nuestro elemento



**Figura 12** análisis de Esfuerzos de Platina

En la Figura 12 se observa el análisis de Von Mises donde se obtiene un 25Mpa y en nuestro diseño es de 83,33 y es mayor al esfuerzo máximo obtenido por lo cual el diseño está correctamente.

En base al criterio de factor de seguridad que se encuentra en el ANEXO D donde para cargas estáticas el F.S debe ser mayor a 2 y para material ASTM A36 su Flexión es de 250Mpa entonces:

$$S_y = 250 \text{ Mpa}$$

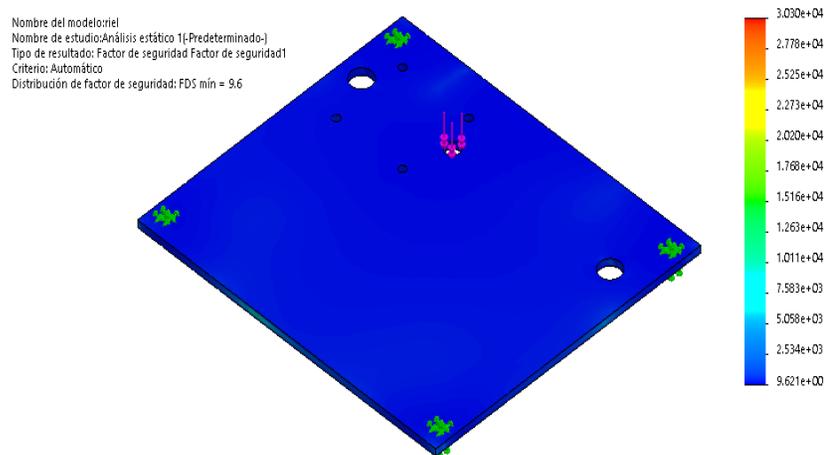
$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

(Mott, 2009)

$$n = 9,6$$

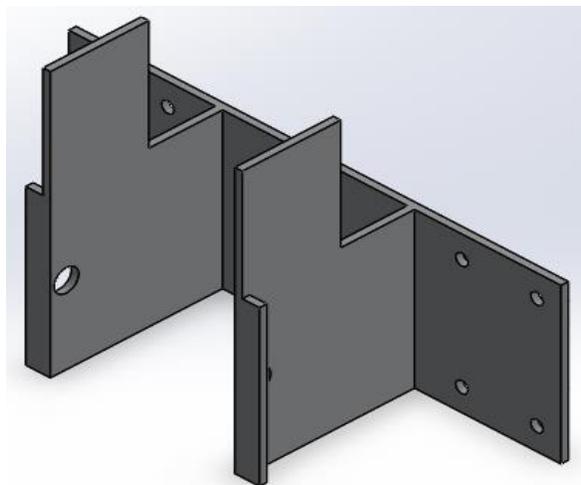
Se concluye que para su diseño es correcto cuando su factor de diseño es mayor a dos:

$$9,6 > 2$$



**Figura 13** Análisis de Factor de Seguridad Platina para motores

En la **Figura 14** se encuentra la plataforma para motor de disco de corte en el cual se realiza los cálculos necesarios para comprobar su correcto diseño.



**Figura 14** Plataforma para motor del disco de corte

Con el cálculo antes realizado de la **Ecuación 6** Esfuerzo Máximo del material ASTM A36 su esfuerzo de diseño es de 250Mpa.

Se determina el esfuerzo máximo de la plataforma para motor en la Ecuación 6 Esfuerzo Máximo

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2} \quad \text{Ecuación 6 Esfuerzo Máximo}$$

(Budynas , 2008)

Donde:

$\sigma_{max}$ : Esfuerzo Máximo [N]

$M_{max}$  = Momento Flector Máximo [Nm]

$L$  = longitud

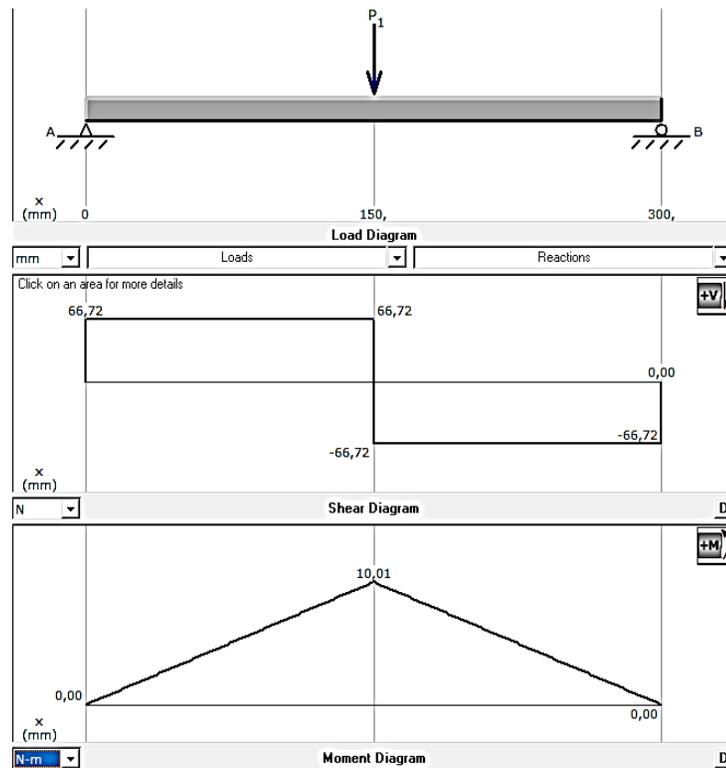
$$M_{max} = \frac{Fs * L}{8}$$

$$Fs = W_{disco}$$

$$Fs = 70[[N]$$

$$M_{max} = \frac{[70N] * 0,3m}{8}$$

$$M_{max} = 9,99Nm$$



**Figura 15** Diagrama de la fuerza cortante y momento flector máximo

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

(Budynas , 2008)

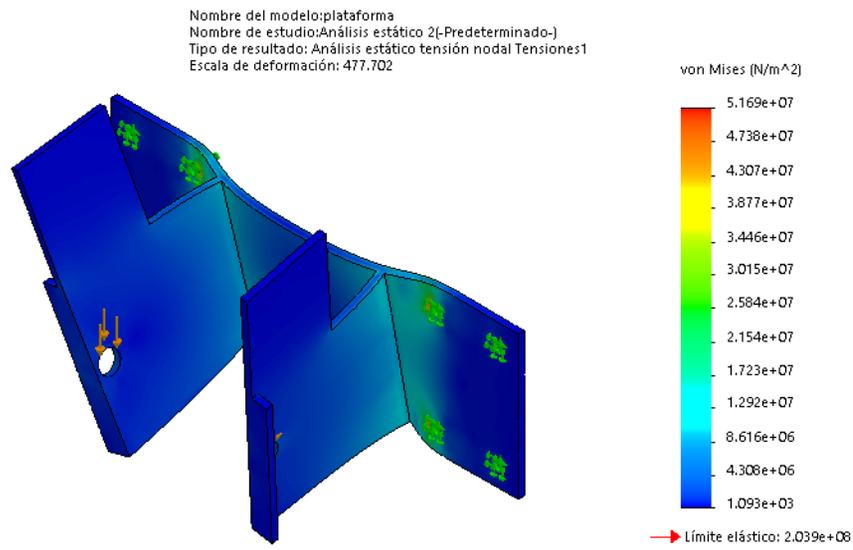
$$\sigma_{max} = \frac{24 * 10}{0,3 * 0,004^2}$$

$$\sigma_{max} = 50Mpa$$

Para determinar que el diseño sea seguro se comprueba mediante el criterio de esfuerzos donde:

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

$$83.333 Mpa \geq 50Mpa$$



**Figura 16** Análisis de Esfuerzo del porta disco

Se comprueba que el diseño está correctamente ya que el esfuerzo de Diseño es mayor que el esfuerzo de diseño máximo de nuestro elemento

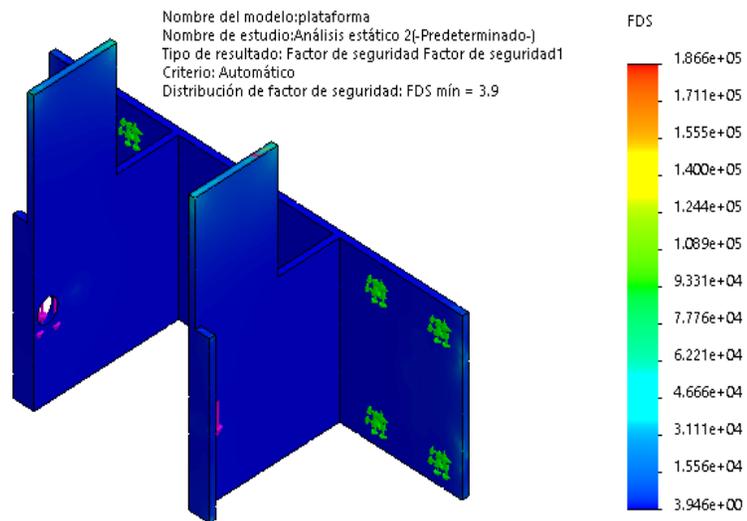
En la Figura 17 muestra el factor de seguridad es de 3,9 y por criterio establecido en el ANEXO D se comprueba que su diseño está correctamente.

$$S_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

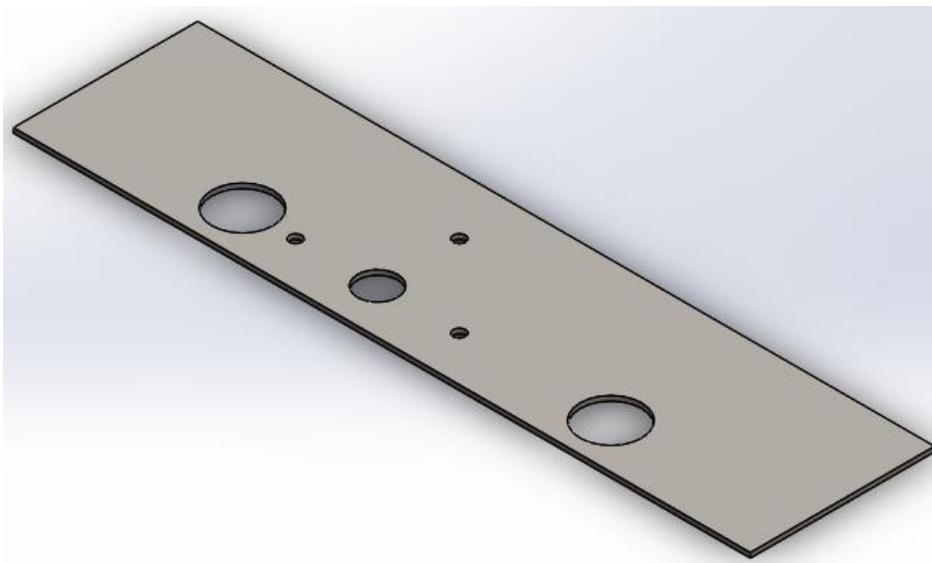
$$n = 3,9$$

Su factor de diseño es mayor a dos por lo tanto el diseño es correcto.



**Figura 17** Análisis de Factor de Seguridad del porta disco

Dada la se realiza cálculos para el diseño de la platina para rieles y motor a paso.



**Figura 18** Platina para motor a paso y rieles

Se determina la máxima cantidad de esfuerzo dada la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

Donde:

$\sigma_{max}$ : *Esfuerzo Máximo [N]*

$M_{max}$  = *Momento Flector Máximo [Nm]*

$L$  = *altura*

$$M_{max} = \frac{Fs * L}{8}$$

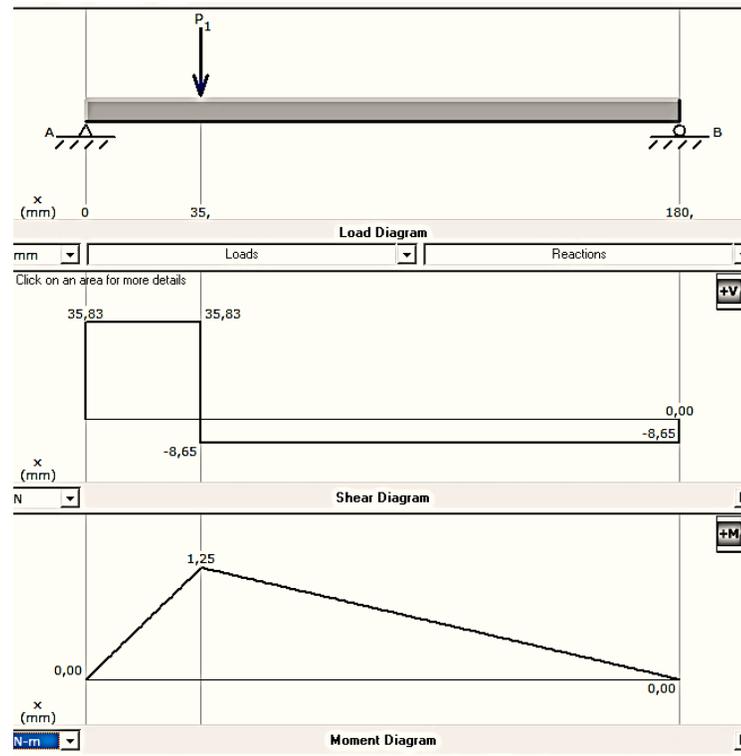
(Budynas , 2008)

$$Fs = W_{paso}$$

$$Fs = 40,44 [N]$$

$$M_{max} = \frac{40,44 [N] * 0,18m}{8}$$

$$M_{max} = 1,03 Nm$$



**Figura 19** Diagrama de fuerza y momento máximos de la platina para motores

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

(Budynas , 2008)

$$\sigma_{max} = \frac{24 * 1,25}{0,18 * 0,004^2}$$

$$\sigma_{max} = 51Mpa$$

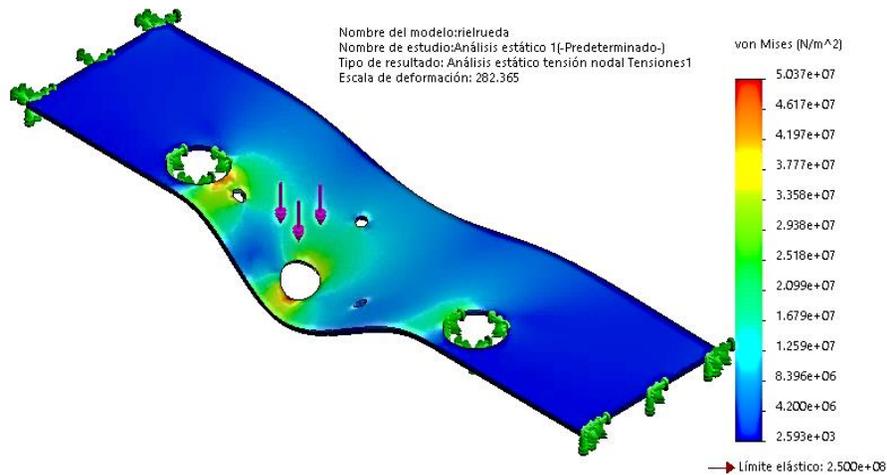
Para determinar que el diseño sea seguro se comprueba mediante el criterio de esfuerzos donde:

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

(Budynas , 2008)

$$83.333 Mpa \geq 51Mpa$$

Se comprueba que el diseño está correctamente ya que el esfuerzo de Diseño es mayor que el esfuerzo de diseño máximo de nuestro elemento



**Figura 20** Análisis de Esfuerzo de platina para motor a paso y rieles

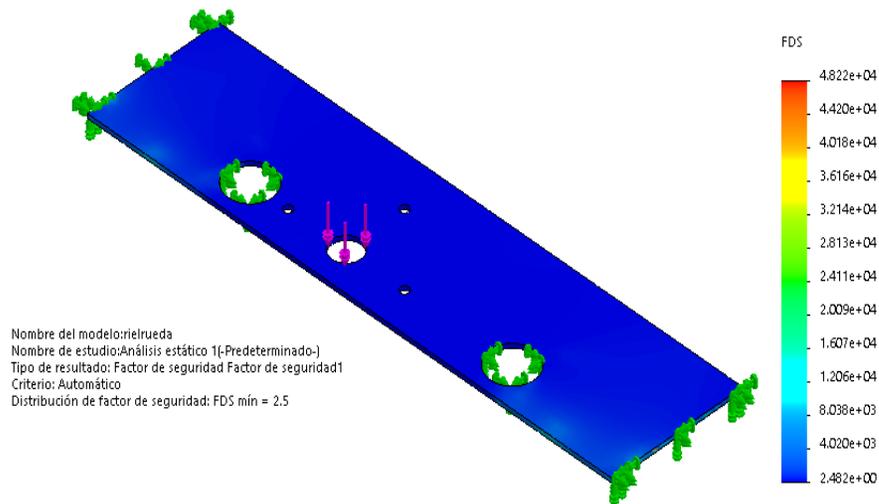
Con el dato de esfuerzo maximo y la resistencia a la cedencia del acero estructural se determina el factor de seguridad:

$$S_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$n = 2,5$$

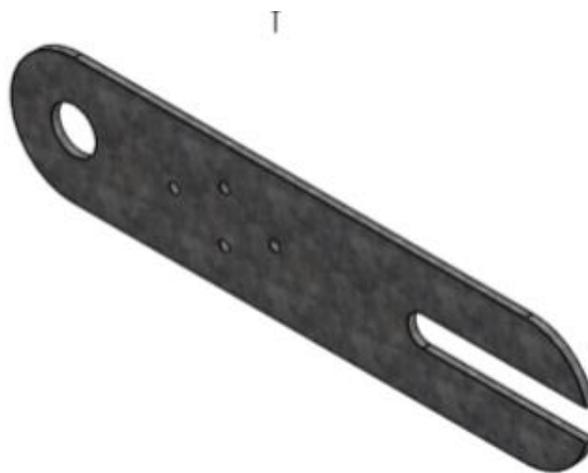
Como el factor de seguridad calculado es 2,5 y es mayor que el de diseño es 2 entonces se concluye que esta correctamente diseñado.



**Figura 21** Análisis de Factor de Seguridad *Base del Motor paso a paso*

### 3.9.2. Etapa de lijado Esfuerzo de Diseño

En la Figura 22 se muestra el dibujo en CAD para diseñarlo de acuerdo a las normas establecidas.



**Figura 22** Barra para lijas

Se emplea la Ecuación 5 Esfuerzo de Diseñode acuerdo al material ASTM A36 para calcular el esfuerzo de diseño:

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ Mpa}}{3}$$

$$\sigma_d = 83,333 \text{ Mpa}$$

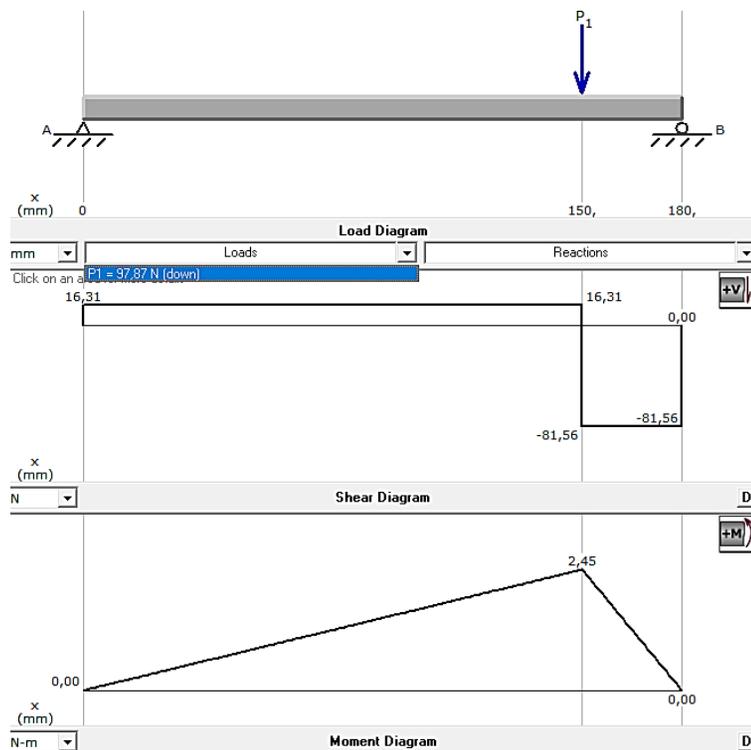
Su esfuerzo máximo dada la ecuacion:

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

$$M_{max} = \frac{F_S * L}{8}$$

$$M_{max} = \frac{97,87 \text{ [N]} * 0,18 \text{ m}}{8}$$

$$M_{max} = 2,20 \text{ Nm}$$



**Figura 23** Diagrama de fuerzas y momento flector

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{24 * 2,45}{0,18 * 0,005^2}$$

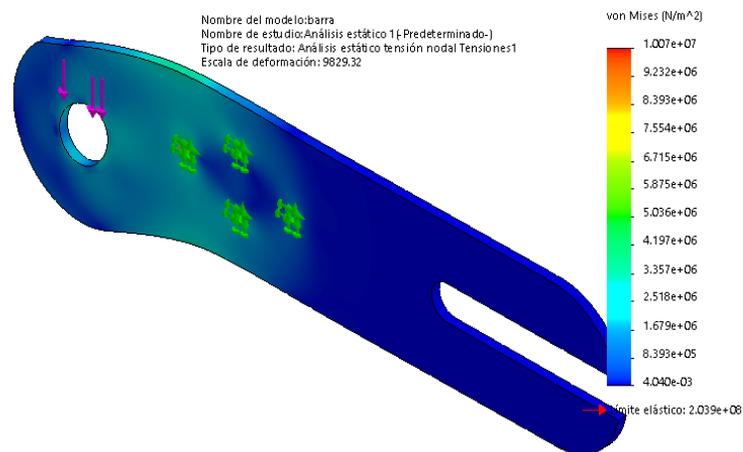
$$\sigma_{max} = 10,4Mpa$$

Se comprueba mediante el criterio de esfuerzos donde:

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

$$83.333 Mpa \geq 10,4Mpa$$

De acuerdo al criterio se demuestra que el diseño realizado esta correctamente.



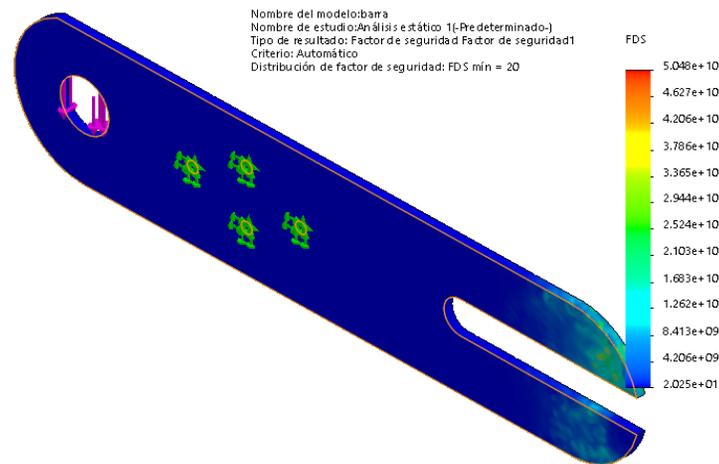
**Figura 24** Análisis de esfuerzos del barra para lijas

Con el dato de esfuerzo maximo y la resistencia a la cedencia del acero estructural se determina el factor de seguridad:

$$S_y = 250Mpa$$

$$n = \frac{250}{10,4}$$

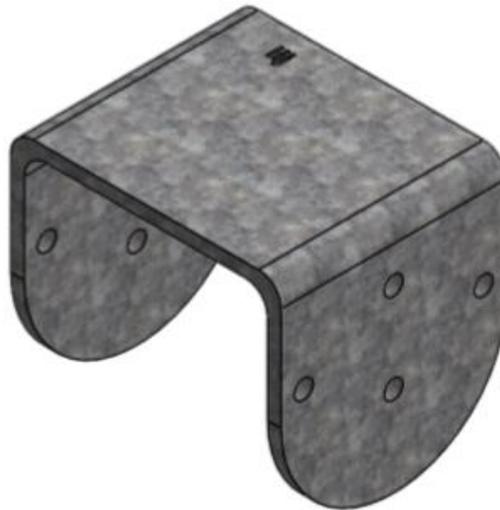
$$n = 20$$



**Figura 25** Análisis de Factor de seguridad barra para lijas

Como el factor de seguridad calculado es 20 y es mayor que el de diseño es 2 entonces se concluye que esta correctamente diseñado

En la Figura 26 Plancha de soporte para probetasse muestra el elemento a diseñar de acuerdo a normas



**Figura 26** Plancha de soporte para probetas

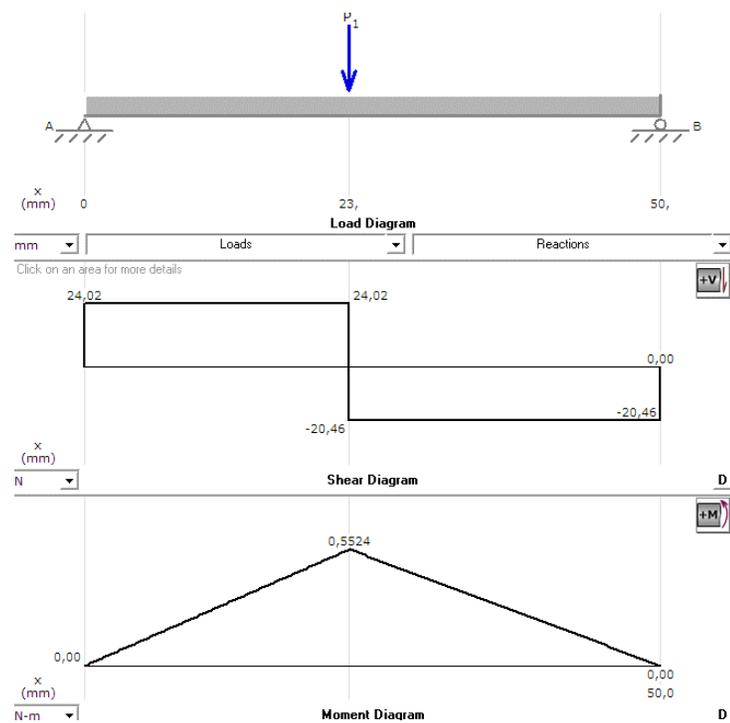
El material para construir es el ASTM A36 con un esfuerzo de diseño de 250Mpa por lo cual se calcula el esfuerzo máximo.

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

$$M_{max} = \frac{F * L}{8}$$

$$M_{max} = \frac{44,48 [N] * 0,05m}{8}$$

$$M_{max} = 0,45Nm$$



**Figura 27** Diagrama de fuerzas y Momento Flector

$$\sigma_{max} = \frac{24 * M}{b * h^2}$$

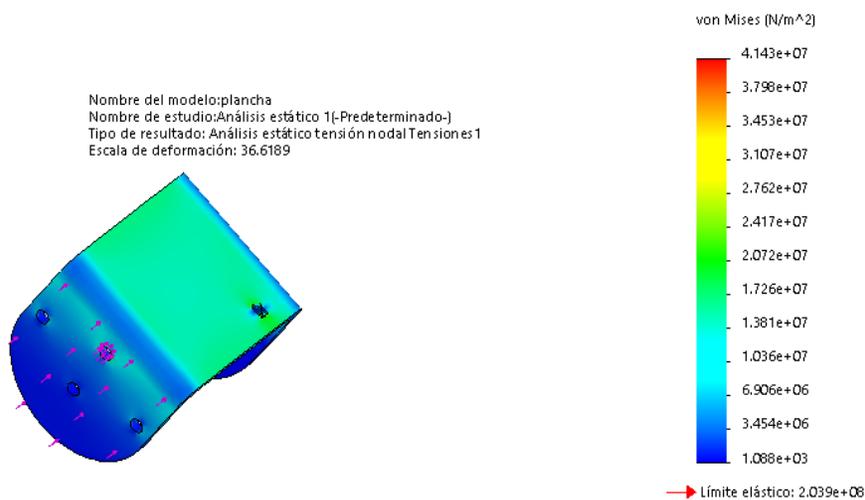
$$\sigma_{max} = \frac{24 * 0,45}{0,05 * 0,0023^2}$$

$$\sigma_{max} = 41Mpa$$

Se comprueba mediante el criterio de esfuerzos donde:

$$\sigma_d \geq \sigma_{max}$$

$$83.333 Mpa \geq 41Mpa$$



**Figura 28** Análisis de esfuerzos de soporte de lija

En base al criterio de factor de seguridad que se encuentra en el ANEXO D donde para cargas estáticas el F.S debe ser mayor a 2 y para material ASTM A36 su Flexión es de 250Mpa entonces:

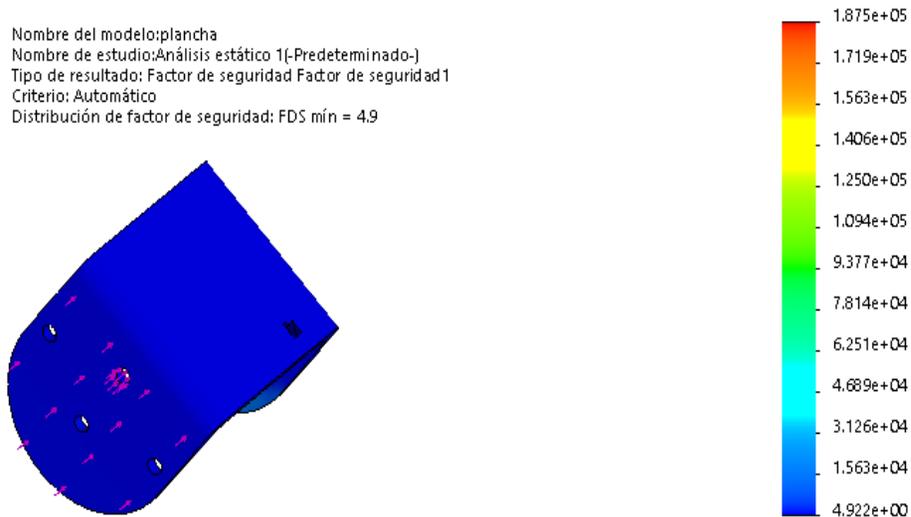
$$S_y = 250Mpa$$

$$n = \frac{250}{41}$$

$$n = 5$$

$$5 > 2$$

Cumple el criterio de Factor de Seguridad.



**Figura 29** Análisis del Factor de Seguridad

### 3.10. FUNCIONAMIENTO

De acuerdo a las necesidades para la obtención de muestras en el análisis Metalográfico se procede a realizar un equipo automático que cumpla los requerimientos establecidos por lo cual en la se describe el principio de funcionamiento.

El equipo consta de tres ejes principales; el avance del carro de la mordaza o “x” este acoplado por un husillo de bolas comandado por un motor Nema 23 de torque 170 onz/in, avanza de izquierda a derecha con un desplazamiento aproximado de 70 cm de todo el proceso y consta de un final de carrera que lo referencia al home.

El eje “y” es la entrada o salida de la sujeción de la probeta tiene una distancia máxima de recorrido de 10cm estructurado por un husillo de bolas y dos rieles que se encuentran paralelamente, con un final de carrera para situar su distancia máxima.

La coordenada “z” o etapa de corte la cual posee un disco de corte con una potencia de 850 Watts suficiente para cortar ejes solidos de 12 a 25mm, previamente se selecciona el disco de corte de acuerdo a las normas establecidas, articulado por un husillo de bolas de 10mm de diámetro dos hilos y dos ejes que se utilizan de guía para los rodamientos lineales.

Etapa de lijado en forma de banda consta de tres tipos con granos 220, 400 y 600 con sus respectivas revoluciones por minuto máximos de 1900, 1750 y 1450 para un acabado superficial optimo donde todas las asperezas deben desaparecer por completo, conjuntamente de un motor con variador de velocidad acoplado a dos poleas y una banda con una relación transmisión es de 1,25 ya que el eje es de 50mm y del motor de 40mm.

El último proceso es el pulido, donde se basó de acuerdo a la selección del paño y su acoplamiento que en este caso es un disco de duralón de 200mm para realizar su diseño, así mismo una nema 23 de torque 1,2 N/m a pasos para controlar la velocidad de giro de acuerdo a los estándares establecidos para pulido de probetas, al momento de culminar la manufactura se espera un acabado superficial tipo espejo debido a que la muestra permitirá la observación de los granos dentro del microscopio.

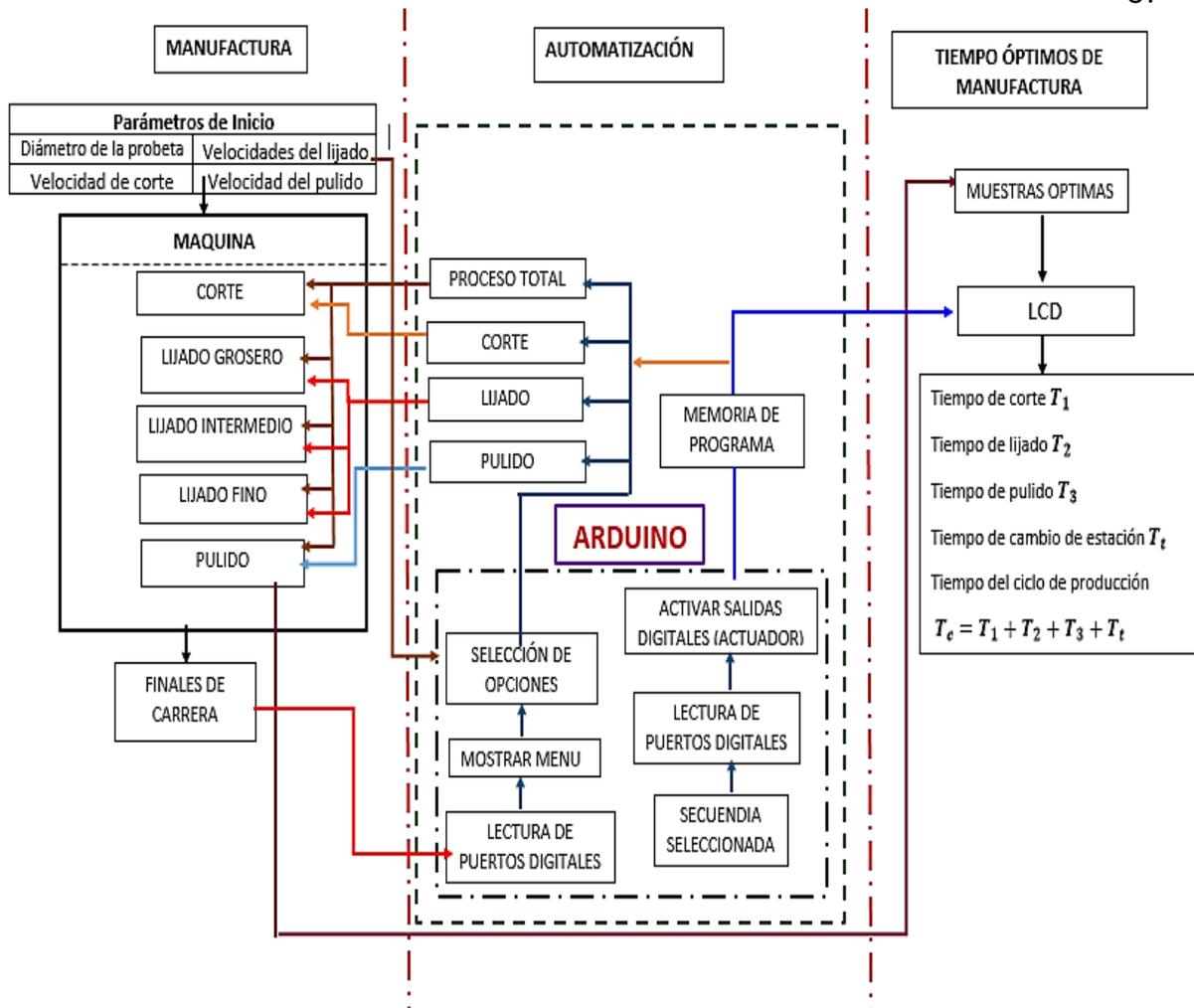
De acuerdo a la norma para obtener muestras metalográficas su diámetro máximo es de 25mm por lo cual se eligió una mordaza con esta característica, adicionalmente esta acoplado a un engrane conducido (polea mordaza) es el que recibe el movimiento y el conductor es el emite el movimiento (motor) y conectado a una banda que comunica el movimiento del engrane conductor del motor de torque 1,9 N/m generando una relación de 1:3 para hacerlo girar tanto en la etapa de corte como en la de lijado.

Para que el proceso de todo el sistema se encuentre sincronizado se escogió una tarjeta Arduino Mega ya que cuenta con amplias capacidades tales como entrada y salida de datos, software libre también tiene una interfaz de salida la cual permite llevar la información a otros periféricos que sería la LCD en este caso se mostrara todos los tiempos realizados en el proceso para obtención de muestras metalográficas.

Arduino trabaja con un entorno de programación lógica, adicionalmente tiene herramienta para compilar y cargar el programa para realizar el proceso deseado.

Para visualizar los tiempos de todo el proceso se seleccionó una LCD Alfanuméricos estos permiten una fácil visualización, cualquier tipo de texto o variable y bajo consumo de energía, además que se lo puede comunicar con el arduino asa se puede procesar los datos de entrada para obtener los de salida

Los tiempos mostrados en la LCD tanto del ciclo completo como por etapas en forma automática permiten realizar una comparación con las pruebas que se realizan manualmente y automáticamente.



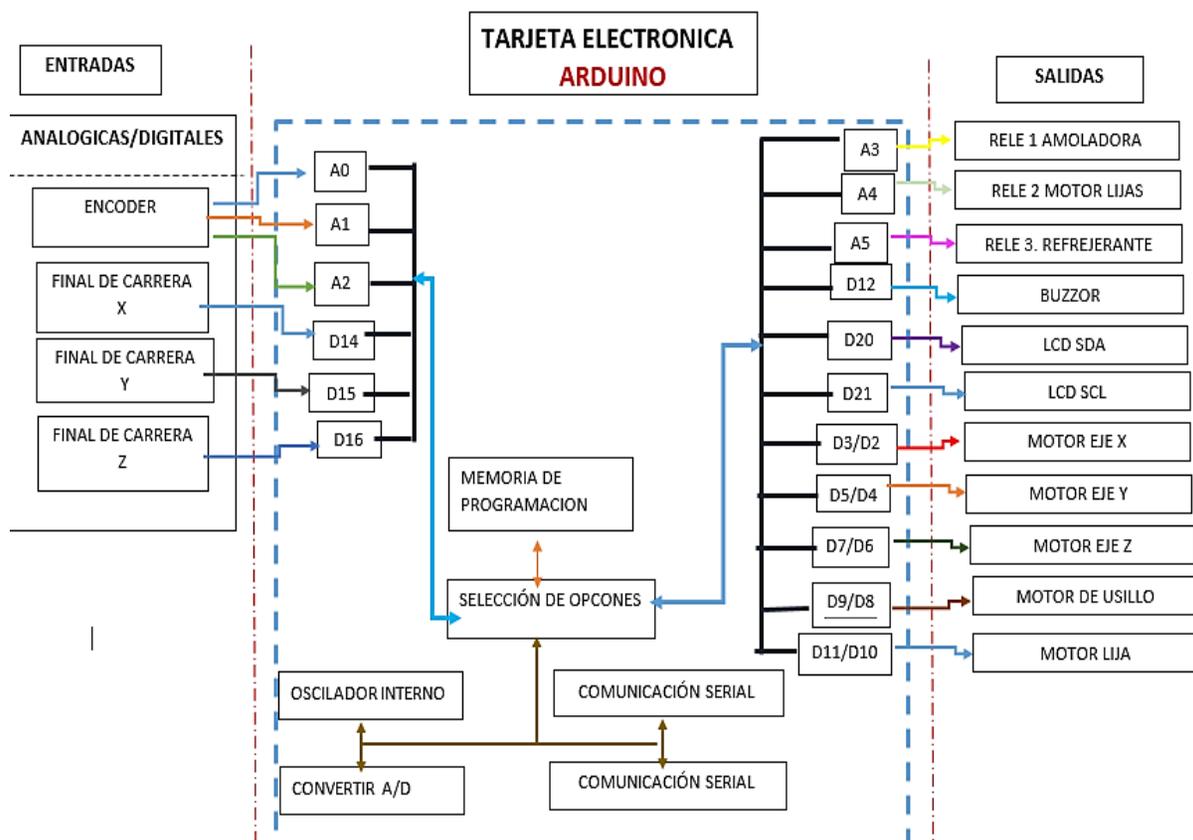
**Figura 30** Funcionamiento del equipo

### 3.11. ETAPA DE AUTOMATIZACIÓN

En la fase de automatización se toma en cuenta un Arduino Mega ya que cumple con todas las características necesarias para realizar todo el ciclo sincronizado para obtener muestras metalográficas.

Como se observa en la Figura 31 Diagrama de conexión del Arduino Megaconexión entre los elementos que componen el proceso comienza con la verificación de los dispositivos conectados entre sí mediante un script que controla el

funcionamiento de la máquina, después se instancias las variables de proceso que intervienen en el control en lazo abierto, estas señales son leídas por el arduino a través de sus puertos digitales permitiendo la selección de los parámetros del material y el tipo de proceso que se va a realizar, en este punto se emiten las señales hacia los actuadores que ponen en marcha el funcionamiento de la máquina y que a su vez permite el monitoreo del avance del proceso visualizado en un display.

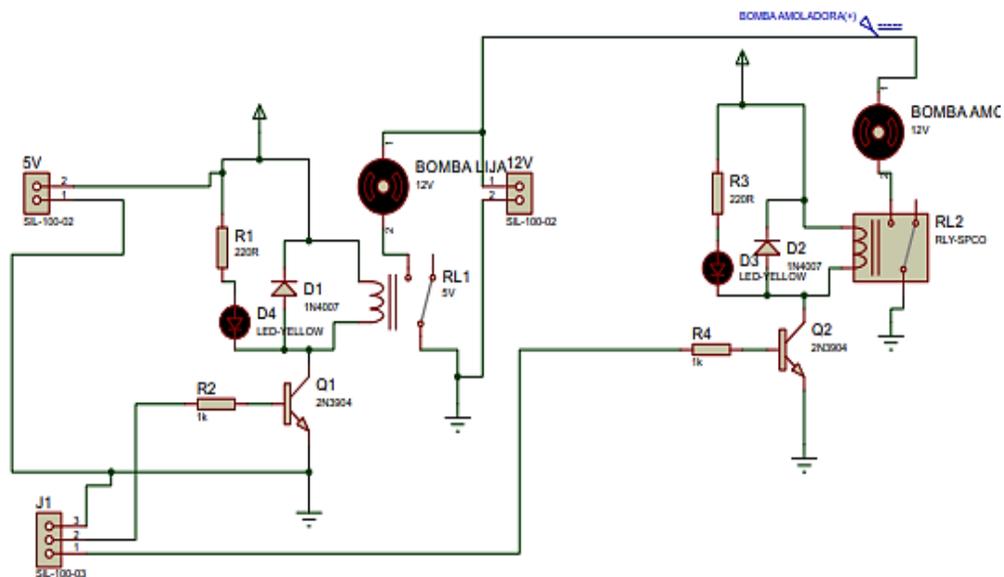


**Figura 31** Diagrama de conexión del Arduino Mega

En la Figura 32 *Circuito eléctrico de las bombas del refrigerantese* observa la conexión de las bombas del refrigerante a los motores de la etapa de corte y la etapa de lijado para

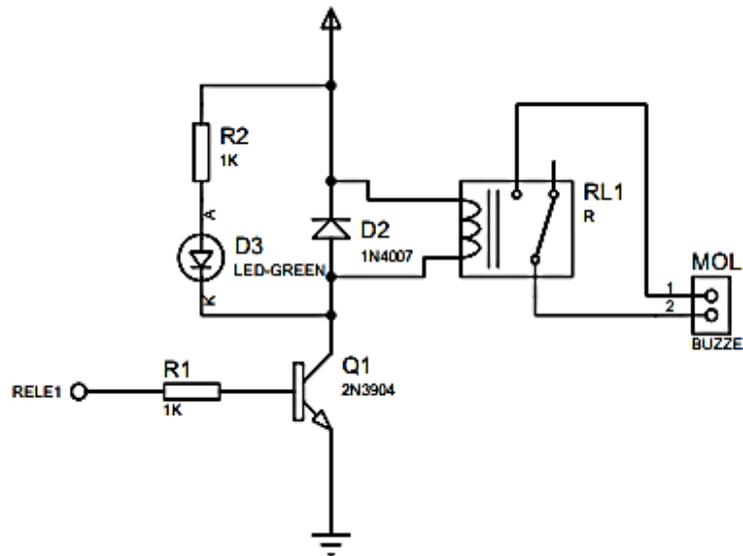
que puede funcionar cuando comience el proceso para obtención de muestras metalográficas.

El refrigerante seleccionado es la Taladrina composición química emulsiones de aceite y agua. Valores de 5% de aceite y 95% de agua.



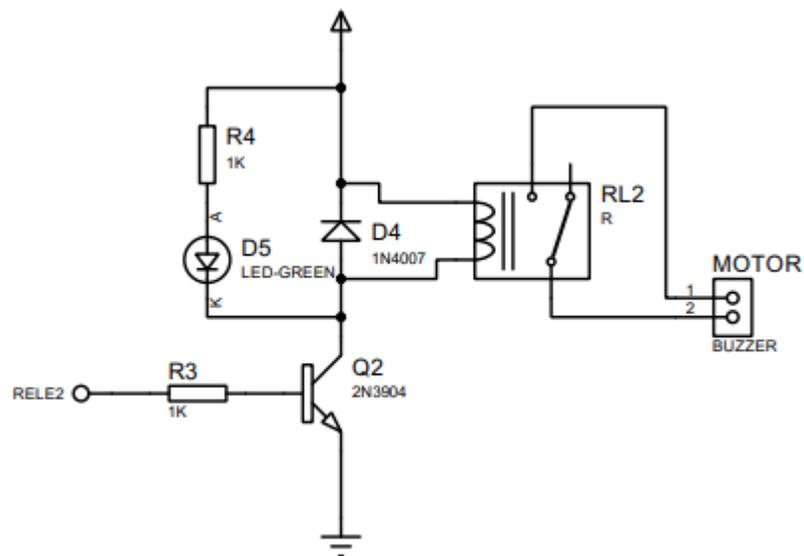
**Figura 32** Circuito eléctrico de las bombas del refrigerante

En la Figura 33 Circuito eléctrico del motor para disco de cortese muestra el circuito para el encendido del motor con una potencia de 850 watts para el corte de probetas de ejes solidos desde 12mm a 25mm de diámetro.



**Figura 33** Circuito eléctrico del motor para disco de corte

En la Figura 34 **circuito** eléctrico del encendido y apagado del motor para las lijas se observa la conexión del motor de lijas para el encendido y apagado mediante un relé la potencia es de



**Figura 34** circuito eléctrico del encendido y apagado del motor para las lijas

### 3.12. TIEMPOS ÓPTIMOS DE MANUFACTURA.

Para obtener una muestra y tiempos óptimos es fundamental aprovechar la velocidad de corte con respecto a dos mientras más producción menos es el valor de costo por unidad de muestra.

Para maximizar la producción se toma en cuantos los tiempos durante todo el proceso en la obtención de muestras los cuales son:

- **Tiempo de maquinado  $T_m$**  Tiempo en el cual la herramienta realiza todo el proceso de acuerdo a las estaciones establecidas en el equipo las cuales tenemos: corte, desbaste grosero, desbaste intermedio, desbaste final y pulido.

$$T_m = \text{tiempo}_{\text{corte}} + \text{tiempo}_{\text{lijado}} + \text{tiempo}_{\text{pulido}}$$

$$\text{tiempo}_{\text{lijado}} = \text{desbaste}_{\text{grosero}} + \text{desbaste}_{\text{intermedio}} + \text{desbaste}_{\text{final}}$$

- **Tiempo de cambio de estación  $T_r$**  Es el tiempo de cambio a cada una de las estaciones del equipo o llamado también tiempo muerto al final del ciclo se realizara la suma de todos los tiempos que han realizado en cada cambio de estación.
- **Tiempo total del ciclo  $T_t$**  Suma de todos los tiempos realizados en el proceso los cuales son los tiempos de cambio y los tiempos en que realiza la probeta a cada estación.

$$T_t = T_m + T_r$$

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLAJE E IMPLEMENTACIÓN

Una vez seleccionados todos los materiales necesarios que conforman el equipo se detalla la construcción mecánica, ensamble e implementación de los sistemas eléctricos.

#### 4.1. CONSTRUCCIÓN DE LAS ETAPAS MECÁNICAS

En el diseño CAD del equipo tenemos los diferentes tipos de componentes ya seleccionados por sus respectivas ventajas y considerando la disponibilidad en el mercado por lo cual se inicia la construcción del sistema:

##### 4.1.1. ESTRUCTURA BASE

Se realiza la construcción de acuerdo al diseño CAD.



**Figura 35** Corte a Perfiles



**Figura 36** Encuadre de perfiles



**Figura 37 Armado**



**Figura 38 Pintado**

#### **4.1.2. ETAPA DE LIJADO**

Esta etapa contiene tres subprocesos en el cual establece diferentes numeraciones de papel abrasivo para lijar las probetas metálicas.

- Desbaste grosero #220
- Desbaste intermedio #400
- Desbaste final #600



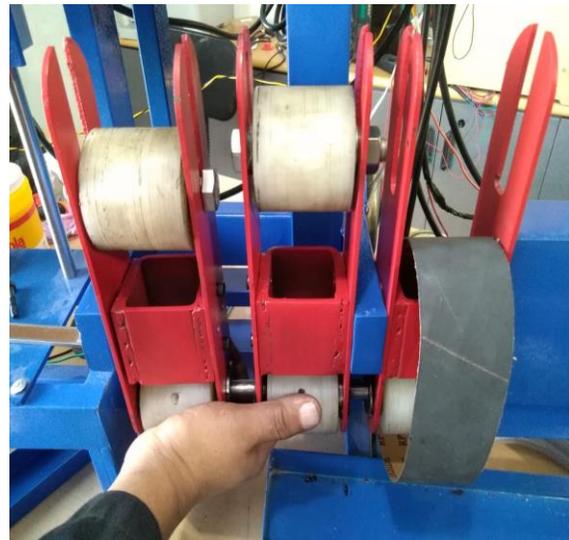
**Figura 39** Corte plasma del diseño CAD



**Figura 40** Armado de la porta lijas



**Figura 41** Montaje en la estructura



**Figura 42** Pintado de la porta lijas



**Figura 43** Inspección de fallas en la estructura

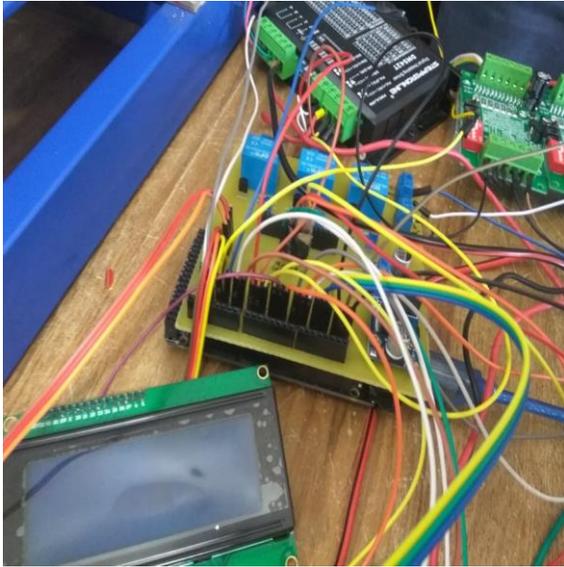
En la Figura 44 se realiza el montaje de tornillo sin fin, motores a paso, disco de corte y mordaza.



**Figura 44** Montaje de elementos

## 4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

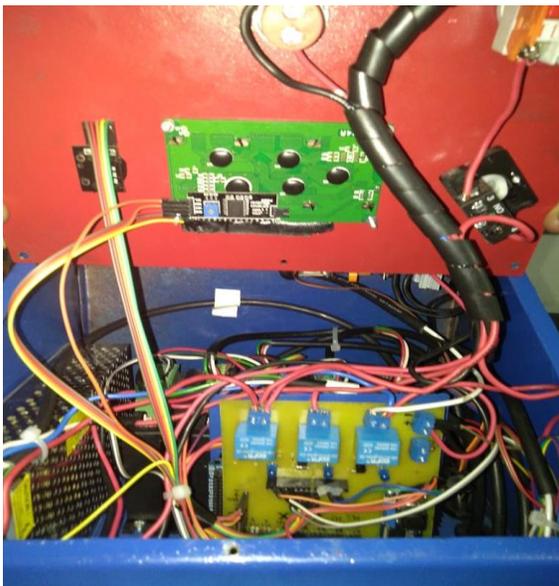
Definido los elementos eléctricos y tarjetas electrónicas se proceden a las conexiones de los circuitos.



**Figura 45** Implementación de la parte electrónica



**Figura 46** Programación



**Figura 47** Montaje del circuito



**Figura 48** Tablero

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 5. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

##### 5.1. HIPÓTESIS

¿Mediante el diseño construcción y automatización del equipo permitirá obtener muestras óptimas empleadas para el análisis metalográfico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

##### 5.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Se realizó pruebas de tiempos de cada etapa, y se procedió a comparar el sistema automático y el sistema manual.

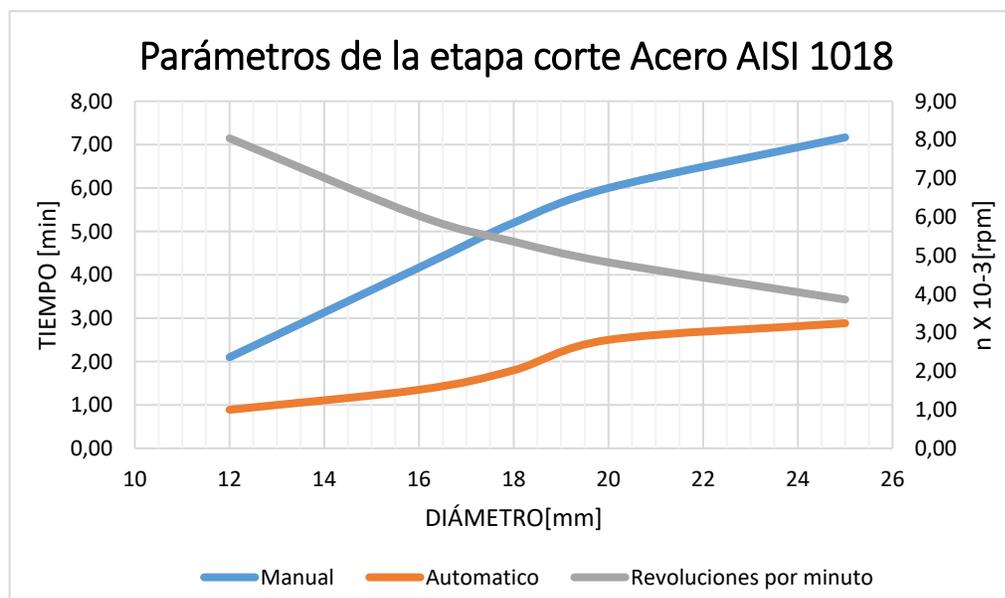
###### ➤ Etapa de corte

En esta etapa se obtiene tiempos de corte para ejes sólidos de Acero AISI 1018 en forma manual y automática para diferentes diámetros y tomando en cuenta las revoluciones, los valores están presentes en la Tabla 14 Parámetros de corte de un Acero AISI 1018.

**Tabla 14**  
Parámetros de corte de un Acero AISI 1018

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
0,89	2,10	12	8,04
1,35	4,17	16	6,03
1,80	5,20	18	5,36
2,50	6,00	20	4,82
2,88	7,17	25	3,86

En la Figura 49 Análisis de parámetros de *corte acero AISI 1018* se muestran las variaciones de tiempos con respecto a los diferentes diámetros dando un ahorro de tiempo de 3,044 minutos en el equipo automático. Además las revoluciones varían en función de los diámetros de las probetas, donde las rpm máximas es en el diámetro de 12mm.



**Figura 49** Análisis de parámetros de corte *acero AISI 1018*

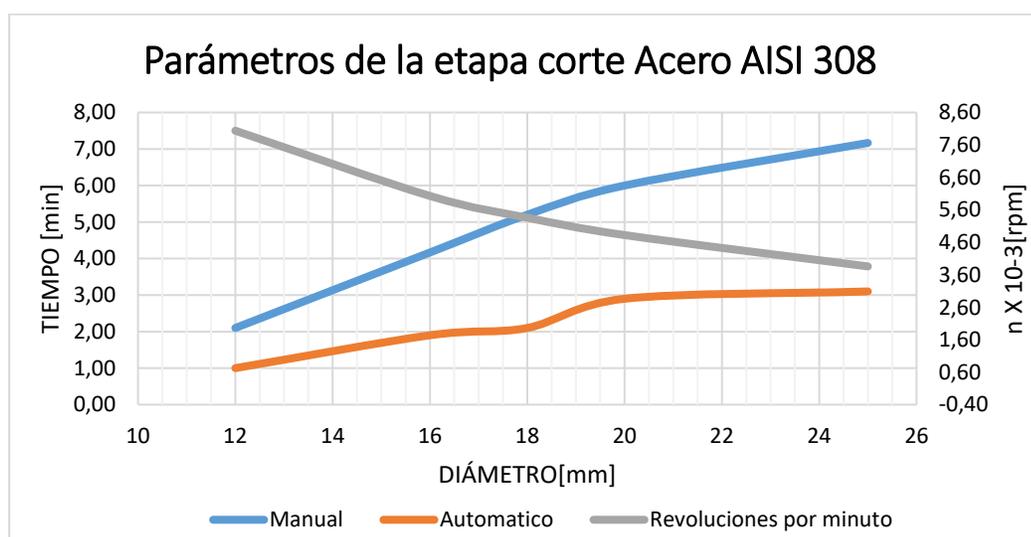
Se seleccionó un acero Inoxidable AISI 308 como muestra para realizar todo el proceso de metalografía proporcionando los siguientes parámetros.

**Tabla 15**

*Parámetros de corte de un Acero AISI 308*

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
1,00	2,10	12	8,04
1,90	4,17	16	6,03
2,10	5,20	18	5,36
2,90	6,00	20	4,82
3,10	7,17	25	3,86

En la Figura 50 Análisis de parámetros de *corte acero inoxidable AISI 308* se detalla mediante curvas las variaciones existentes entre los tiempos manual y automático, donde la del equipo tiene un ahorro de tiempo del 43,23% así mismo la revoluciones varían de acuerdo al diámetro de las muestras por lo cual al cortar un eje con radio crítico en este caso uno de 6mm se aplica su máxima revoluciones por minuto.



**Figura 50** Análisis de parámetros de corte acero inoxidable AISI 308

### ➤ Etapa lijado

En la Tabla 16

Parámetros en la etapa de lijado grano 220 acero AISI 1018 se muestra los parámetros para el lijado realizado en el grano 220 que es el primer desbaste.

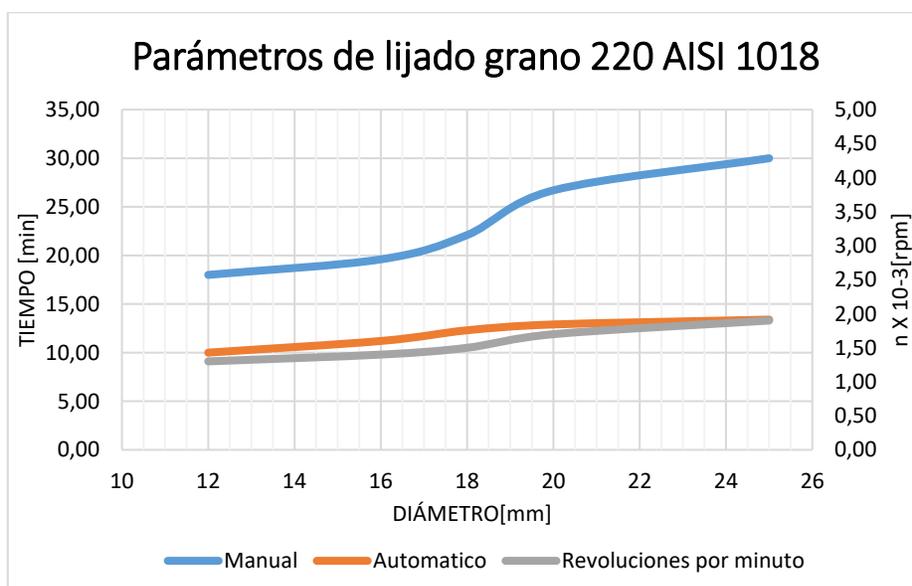
**Tabla 16**

*Parámetros en la etapa de lijado grano 220 acero AISI 1018*

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
10,00	18,00	12	1,30

<b>11,20</b>	19,60	16	1,40
<b>12,30</b>	22,10	18	1,50
<b>12,90</b>	26,70	20	1,70
<b>13,40</b>	30,00	25	1,90

En la Figura 51 Análisis de *parámetros de lijado grano 220 AISI 1018* los valores de tiempo manual en esta etapa son grandes versus la automática llegando a la conclusión que existe un ahorro de tiempo de 11,32 minutos al realizar el desbaste grosero en los diámetros seleccionados, las revoluciones trabajan a la par con el equipo.



**Figura 51** Análisis de parámetros de lijado grano 220 AISI 1018

Valores de parámetros de lijado en grano 220 en forma automática y manual en un acero inoxidable AISI 308.

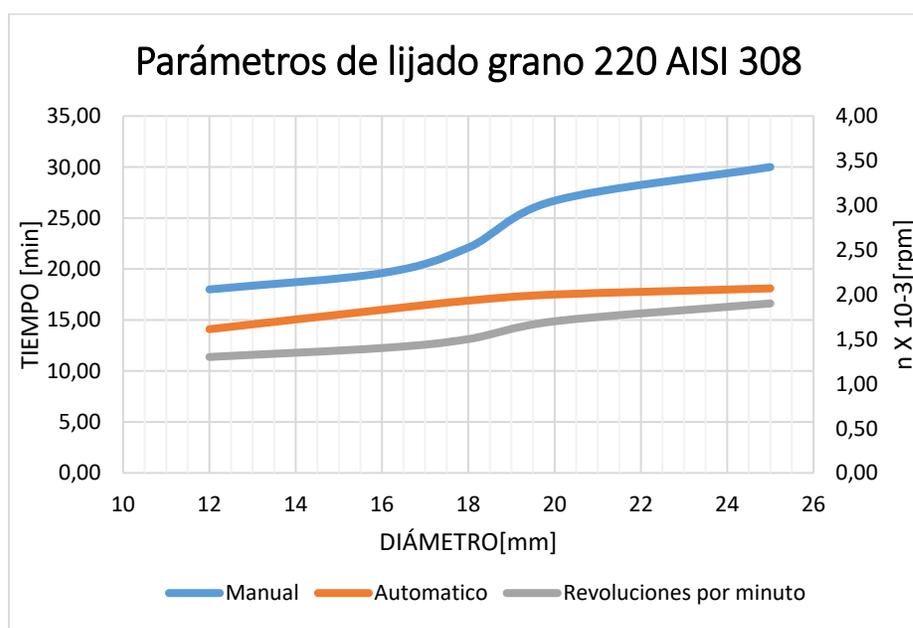
**Tabla 17**

*Parámetros en la etapa de lijado grano 220 acero inoxidable AISI 308*

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
<b>14,10</b>	18,00	12	1,30
<b>16,00</b>	19,60	16	1,40
<b>16,90</b>	22,10	18	1,50

17,50	26,70	20	1,70
18,10	30,00	25	1,90

En la Figura 52 Análisis de parámetros de lijado grano 220 AISI 308 existe un porcentaje del 70,96% en ciclo automático y un ahorro de tiempo del 29,04% entre ambos procesos por lo cual se concluye que el equipo es la mejor opción para obtener muestras metalográficas.



**Figura 52** Análisis de parámetros de lijado grano 220 AISI 308

En las Tabla 18

Parámetros del lijado grano 400 de un AISI 1018 se exponen los parámetros de lijado de grano 400 de los aceros al carbono AISI 1018.

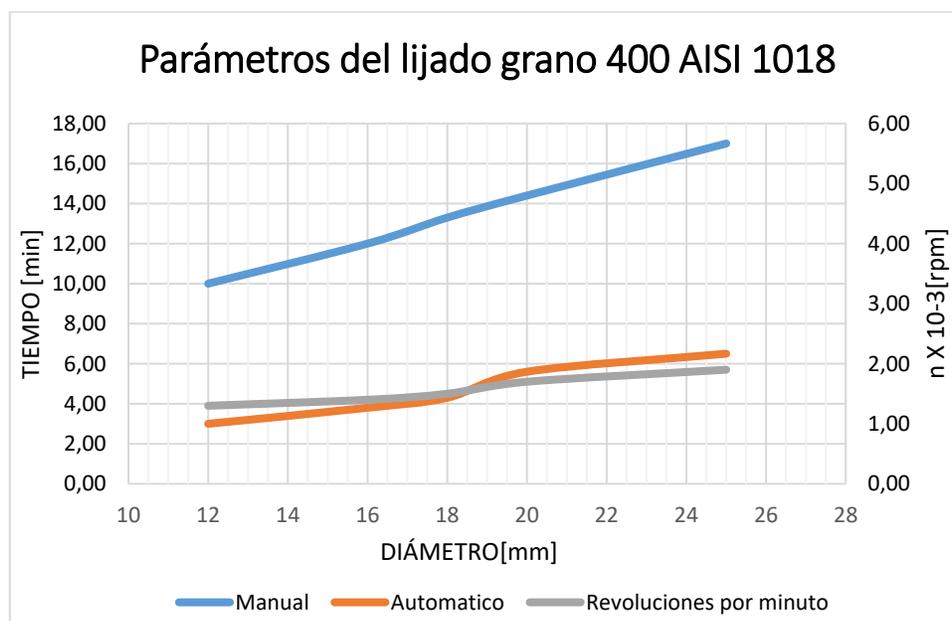
**Tabla 18**

Parámetros del lijado grano 400 de un AISI 1018

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
3,00	10,00	12	1,15

3,80	12,00	16	1,25
4,30	13,30	18	1,40
5,60	14,40	20	1,60
6,50	17,00	25	1,75

En la Figura 53 Análisis de parámetros de *lijado grano 400 AISI 1018* se exponen las tendencias de los dos tiempos donde la manual tiene un promedio de 13,34 minutos la realizar el trabajo y en la automática tarda un 4,64 minutos, y se reserva un 8,7 minutos en este abrasivo, con que las revoluciones en un diámetro de 19mm tiene un trabajo óptimo.



**Figura 53** Análisis de parámetros de lijado grano 400 AISI 1018

*Valores medidos al realizar el lijado intermedio en un Acero Inoxidable AISI 308*

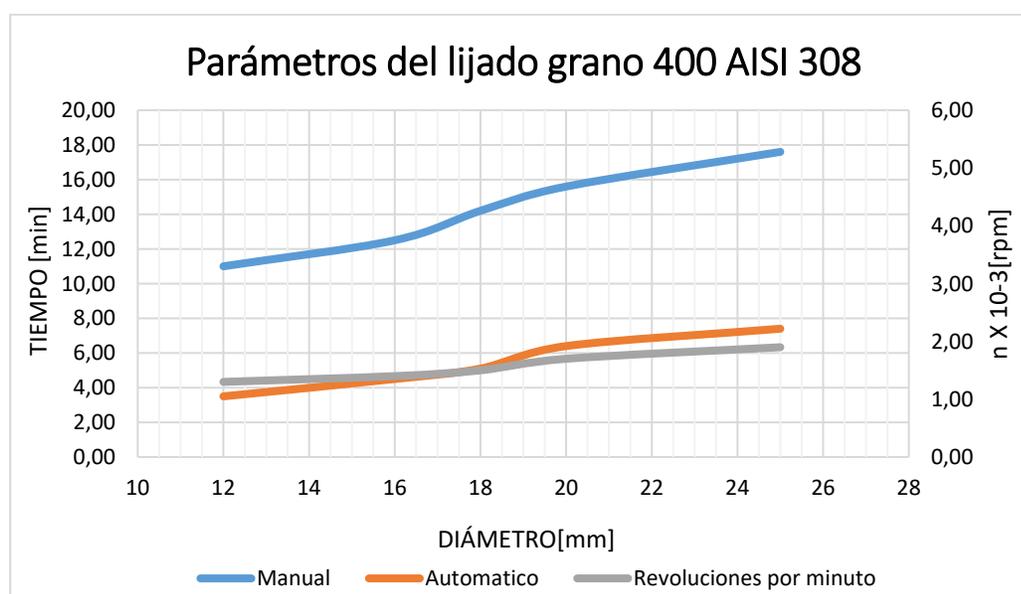
**Tabla 19**

*Parámetros del lijado grano 400 de un AISI 308*

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
3,50	11,00	12	1,15

<b>4,50</b>	12,50	16	1,25
<b>5,10</b>	14,20	18	1,40
<b>6,40</b>	15,60	20	1,60
<b>7,40</b>	17,60	25	1,75

En la *Figura 54 Análisis de parámetros de lijado grano 400 AISI 308* tanto los valores manuales como automáticos varían en porcentaje de 100% a 38,15% respectivamente por lo cual existe un ahorro de tiempo de 61,85% estableciendo así que el equipo es la elección más sólida al momento de realizar el trabajo.



**Figura 54** Análisis de parámetros de lijado grano 400 AISI 308

En la

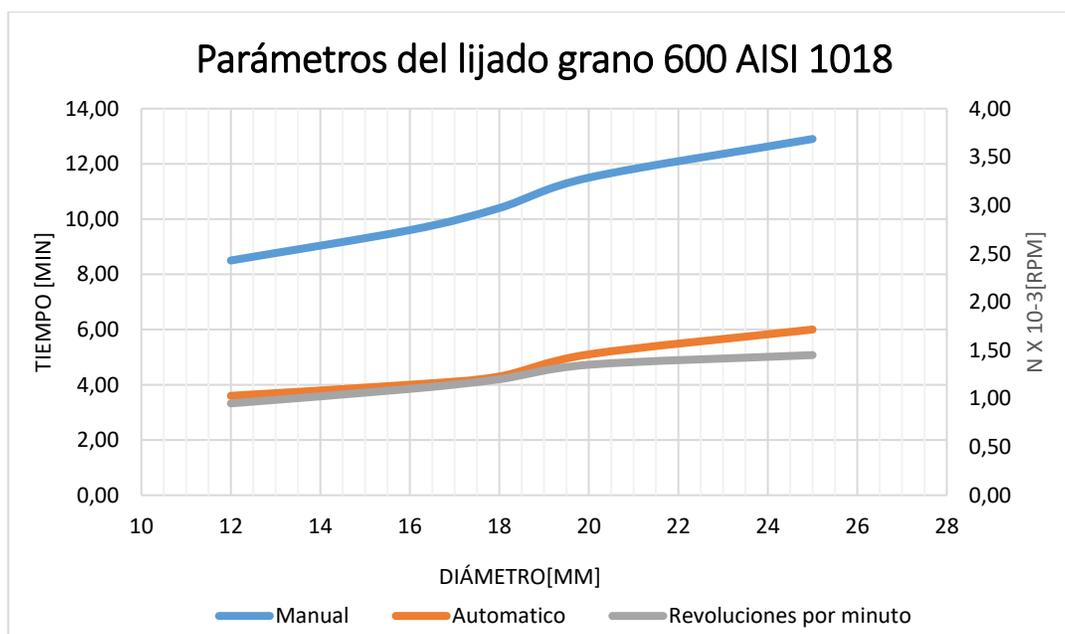
Tabla 20

Parámetros del lijado grano 600 de un AISI 1018 se encuentran los parámetros de lijado del grano 600 del Acero al Carbono AISI 1018 con respecto a la forma manual y automática

**Tabla 20**  
Parámetros del lijado grano 600 de un AISI 1018

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
3,60	8,50	12	0,95
4,00	9,60	16	1,10
4,30	10,40	18	1,20
5,10	11,50	20	1,35
6,00	12,90	25	1,45

En la Figura 55 Análisis de parámetros de lijado grano 600 AISI 1018 las revoluciones por minuto y el período del equipo trabajan de forma óptima desde los ejes de 12mm hasta los 20mm, con la variación de tiempo manual versus automática se observa que la mejor elección es la implementada nos economiza trabajo.



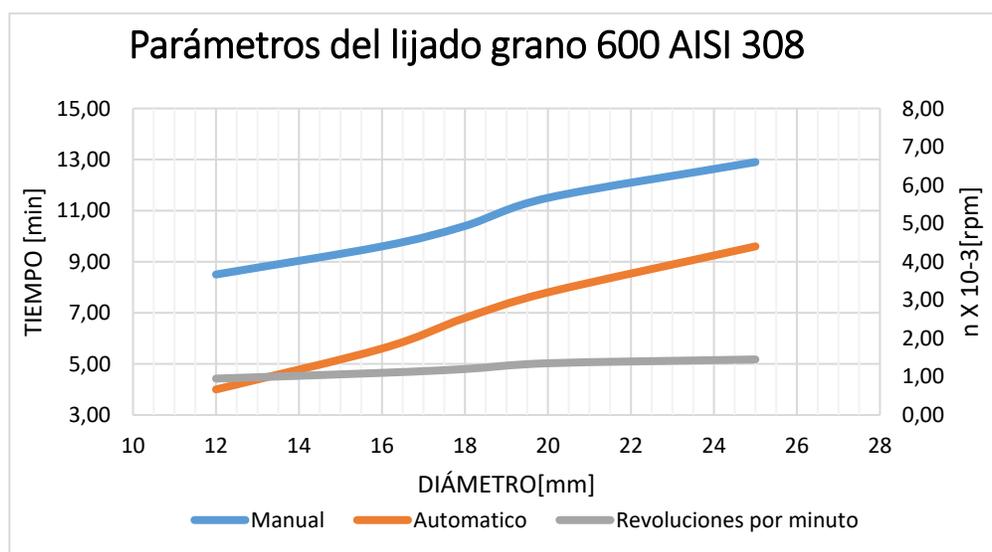
**Figura 55** Análisis de parámetros de lijado grano 600 AISI 1018

Valores seleccionados para realización de lijado grano 600 a un acero inoxidable AISI 308.

**Tabla 21**  
Parámetros del lijado grano 600 de un AISI 308

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
4,00	8,50	12	0,95
5,60	9,60	16	1,10
6,80	10,40	18	1,20
7,80	11,50	20	1,35
9,60	12,90	25	1,45
<b>Promedio: 6,76</b>	<b>10,58</b>		

Dada la Figura 56 Análisis de parámetros de lijado grano 600 AISI 308 al realizar el trabajo en el último lijado grano 600 se puede concluir que los tiempos son diferentes y existe un 3,83 min de conservación de trabajo en esta etapa, además el punto donde las revoluciones trabaja de forma óptima es en un diámetro de 13mm.



**Figura 56** Análisis de parámetros de lijado grano 600 AISI 308

### ***Etapa de pulido***

En la Tabla 22

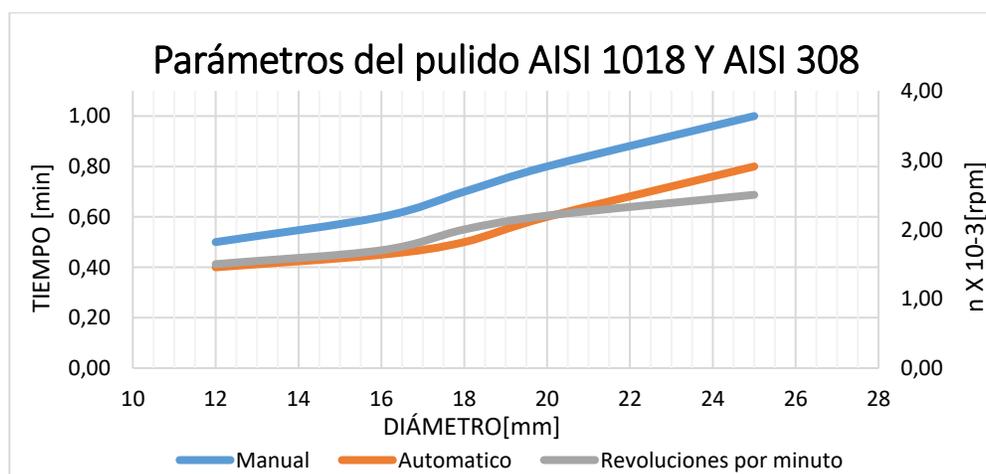
Parámetros de pulido de los aceros AISI 1018 y AISI 308 se visualiza los parámetros con los que se realiza la última etapa para que la muestra tenga un acabado superficial tipo espejo en los dos materiales escogidos Acero al carbono AISI 1018 y Acero inoxidable AISI 308

**Tabla 22**

*Parámetros de pulido de los aceros AISI 1018 y AISI 308*

Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	Diámetro (mm)	n (rpm)
0,40	0,50	12	1,50
0,45	0,60	16	1,70
0,50	0,70	18	2,00
0,60	0,80	20	2,20
0,80	1,00	25	2,50

En la Figura 57 Análisis de parámetros de pulido del AISI 1018 Y DEL AISI 308 representa los tiempos manual y automáticos en la última etapa del proceso donde su variación es considerable en todos los diámetros de los ejes, a su vez las revoluciones trabajan a la par con el equipo dando un porcentaje de conservación de 23,6%



**Figura 57** Análisis de parámetros de pulido del AISI 1018 Y DEL AISI 308

**Proceso total**

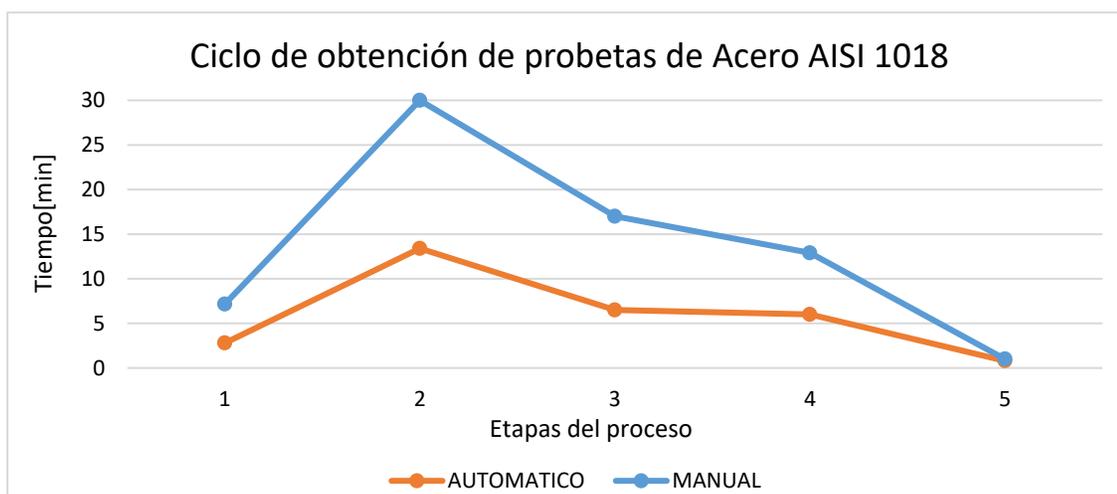
En la Tabla 23 se exponen las etapas del ciclo en un Acero al carbono AISI 1018 en un diámetro de 25mm

**Tabla 23**

*valores del ciclo de obtención de probetas de Acero AISI 1018*

Proceso Total	Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	n (rpm)
1 Corte	[0 - 2,8]	[0 - 7,16]	3,86
2 Desbaste Grosero	[2,8 - 13,4]	[7,16 - 30]	1,9
3 Desbaste Intermedio	[13,4 - 6,5]	[30 - 17]	1,75
4 Desbaste Fino	[6,5 - 6]	[17 - 12,9]	1,45
5 Pulido	[6 - 0,8]	[12,9 - 1]	2,5
<b>TIEMPO TOTAL</b>	29,5	68,06	11,46
<b>AHORRO DE TIEMPO</b>		38,56	
<b>PORCENTAJE:</b>		56,65%	

En la *Figura 58 Análisis de etapas de ciclo* total se presentan dos líneas de tiempo: automática y manual divididas por etapas en la cual el equipo proporciona menor esfuerzo al trabajo y economiza un 56.65% con respecto a realizarlo manualmente y se obtiene un acabado superficial tipo espejo.



**Figura 58** Análisis de etapas de ciclo total para un Acero AISI 1018

En la Tabla 24

Valores del ciclo de obtención de probetas de Acero AISI 308 se muestran valores de las etapas del ciclo en un acero inoxidable AISI 308 para el máximo diámetro de 25mm

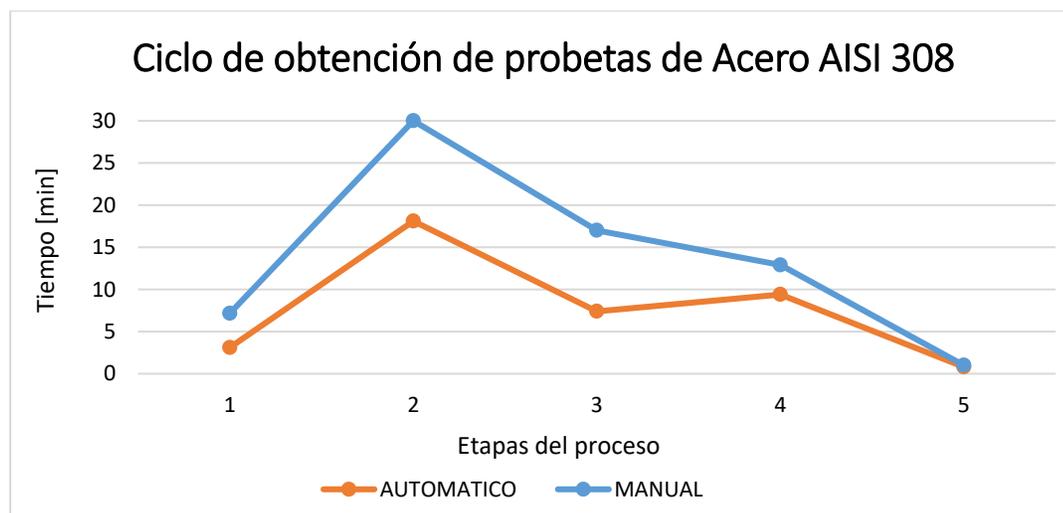
**Tabla 24**

*Valores del ciclo de obtención de probetas de Acero AISI 308*

Proceso Total	Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)	n (rpm)
1 Corte	[0 - 3,10]	[0 - 7,16]	3,86
2 Desbaste Grosero	[3,10 - 18,10]	[7,16 - 30]	1,9
3 Desbaste Intermedio	[18,10 - 7,40]	[30 - 17]	1,75
4 Desbaste Fino	[7,40 - 9,40]	[17 - 12,9]	1,45
5 Pulido	[9,4 - 0,8]	[12,9 - 1]	2,5
<b>TIEMPO TOTAL</b>	38,80	68,06	11,46
<b>AHORRO DE TIEMPO</b>	29,26		
<b>PORCENTAJES</b>	42,99%		

En la Figura 59 Análisis de etapas *de ciclo total* se muestra claramente que el ciclo total automático es el más óptimo y con mejor calidad a la hora de obtener muestras metalográficas con menor tiempo y con mejor acabado superficial para inmediatamente

llevarlo al microscopio y comprobar sus propiedades. El valor en porcentajes de tiempos de ahorro del proceso es de 42,99%.



**Figura 59** Análisis de etapas de ciclo total para un Acero inoxidable AISI 308

### Confiabilidad de la maquina

En el estudio de confiabilidad es importante seleccionar varios parámetros antes de realizar el cálculo entre ellos tenemos:

- Rugosidad de la muestra
- Tiempo empleado en realizar cada uno de los procesos

La Norma DIN 4768 se encarga de medir los valores de rugosidad de una muestra metalográfica.

En la **Tabla 25** se selecciona el valor de rugosidad de acuerdo a su aplicación por lo cual el valor es de  $4\mu m$  para superficies desbastadas. (Hobson, 2015)

### Tabla 25

Valores rugosidad (Ra) [ $\mu m$ ] para algunas aplicaciones

Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Aplicaciones típicas de rugosidad superficial
0,01	Bloques patrón – Reglas de alta precisión – Guías de aparatos de medida de alta precisión
0,02	Aparatos de precisión- Superficies de medida en micrómetros y calibres de precisión
0,03	Calibradores. Elementos de válvulas de alta presión hidráulica
0,04	Agujas de rodamientos. Superacabado de camisas de block de motores
0,05	Pistas de rodamientos. Piezas de aparatos control de alta precisión
0,06	Válvulas giratorias de alta presión. Camisas block de motor.
0,08	Rodamientos de agujas de grandes rodamientos
0,1	Asientos cónicos de válvulas. Ejes montados sobre bronce, teflón, etc. a velocidades medias. Superficies de levas de baja velocidad.
0,15	Rodamientos de dimensiones medias. Protectores de rotores de turbinas y reductores.
0,2	Anillos de sincronizados de cajas de velocidades
0,3	Flancos de engranaje. Guías de mesa de máquinas-herramientas
0,4	Pistas de asientos de agujas en crucetas.
0,6	Válvulas de esfera. Tambores de freno.
1,5	Asientos de rodamiento en ejes c/carga pequeña. Ejes-agujeros de engranajes. Cabezas de pistón
2	Superficies mecanizadas en general, ejes, chavetas, alojamientos, etc.
3	Superficies mecanizadas en general. Superficies de referencia. Superficies de apoyo
4	Superficies desbastadas
5 a 15	Superficies fundidas y estampadas
>15	Piezas fundidas, forjadas y laminadas.

Fuente: (Hobson, 2015)

Con la rugosidad de  $4\mu\text{m}$  de una probeta de Aceros se obtiene los tiempos empleados para todo el proceso de metalografía. Según Neurtek Instruments tenemos en cada etapa los siguientes datos:

- **Corte:** 3 minutos (Neurtek, 2017)
- **Lijado grano 400:** 8 minutos, velocidad del disco 200rpm, presión individual 40N, dirección al contrario del disco de giro (Neurtek, 2017)
- **Pulido:** tipo lota, velocidad del disco 150 rpm, tiempo 3 minutos, presión individual 25N. (Neurtek, 2017)

Con los parámetros seleccionados que se muestran en la Tabla 26 Parámetros del *proceso experimental y automático de Acero AISI 1018* se calcula sus respectivos errores.

**Tabla 26**  
Parámetros del proceso experimental y automático de Acero AISI 1018

Etapas del proceso	Tiempo experimental [min]	Tiempo Medido [min]
<b>Corte</b>	3	2,8
<b>Lijado</b>	8	6,5
<b>Pulido</b>	3	0,8

Dada la Ecuación 7 Error Experimentalse calcula cada uno de los errores en las tres etapas del proceso para obtención de muestras Metalográficas

$$e = \frac{t_{exp} - t_{med}}{t_{exp}} \quad \text{Ecuación 7 Error Experimental}$$

Donde:

$t_{exp}$ : Tiempo experimental

$t_{med}$ : Tiempo Medido

$e$ : Error experimental

Error experimental de corte:

$$e_1 = \frac{3 - 2,8}{3}$$

$$e_1 = 0,06$$

Error experimental de lijado:

$$e_2 = \frac{8 - 6,5}{8}$$

$$e_2 = 0,18$$

Error experimental de pulido:

$$e_3 = \frac{3 - 0,8}{3}$$

$$e_3 = 0,73$$

Error promedio experimental:  $e_p = 0,32$

Para calcular la muestra se tiene en cuenta el error experimental de 0,32 el nivel de confianza es de 95% y su valor critico es de 1,96 dados en la Tabla 27 Valores de *niveles de confianza*.

**Tabla 27**  
Valores de niveles de confianza

<b>Nivel de Confianza</b>	<b>Valor Crítico, z</b>
80%	1.28
90%	1.65
95%	1.96
98%	2.33
99%	2.58
99.8%	3.08
99.9%	3.27

Fuente: (Slide, 2016)

Dada la Ecuación 8 Valor de Muestrase calcula el valor de la muestra para toso nuestro proceso.

$$n = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

**Ecuación 8** Valor de Muestra

Donde:

z= nivel de confianza

p=probabilidad de éxito (0,5)

q=probabilidad de fracaso (0,5)

e=error

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,32^2}$$

$$n = 11$$

Para obtener la confiabilidad de fallas del equipo se realiza mediante la Ecuación 9 Confiabilidad en tasa de fallas donde el número de muestras es 11 y la falla es 1.

$$TF(\%) = \frac{\# \text{ de Fallas}}{\# \text{ de muestras}} \quad \textbf{Ecuación 9 Confiabilidad en tasa de fallas}$$

$$TF(\%) = \frac{1}{11} \times 100\%$$

$$TF(\%) = 9\% \text{ de fallas}$$

En conclusión, el equipo tiene una confiabilidad del 91% ya que el 9% son las fallas en el proceso.

#### **Validación de la Hipótesis:**

La hipótesis planteada en este proyecto de tesis es:

¿El diseño construcción y automatización del equipo permitirá obtener muestras óptimas empleadas en menor tiempo para el análisis metalográfico en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga?

### **5.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

**a) Variables Independientes**

Muestras empleadas en menor tiempo para análisis metalográficos

**b) Variables Dependientes**

Equipo automatizado para obtención de muestras.

Para la validación de la hipótesis se utiliza la técnica del Chi Cuadrado, que determina si las variables tiene relación entre si (Gonzales, 2012)

Es necesario establecer una hipótesis Nula  $H_0$  y una hipótesis de trabajo  $H_1$

- Hipótesis Nula  $H_0$ : El diseño, construcción y automatización del equipo no permitirá obtener muestras óptimas empleadas en menor tiempo para el análisis metalográfico
- Hipótesis de trabajo  $H_1$ : El diseño, construcción y automatización del equipo permitirá obtener muestras óptimas empleadas en menor tiempo para el análisis metalográfico

Parámetros de estudio para validar la hipótesis son:

- La muestra selecciona a experimentar es de:  $n = 11$ .
- Tiempo del material en forma manual y automática
- Tipo de Acero AISI 10108 e inoxidable 308
- A norma para la muestra es la DIN 4768 donde mide la rugosidad.

Posteriormente se realiza una evaluación de tiempo que toma en realizarse el proceso con dos materiales. La cantidad de pruebas realizadas son de 11 en total, 5

acero inoxidable AISI 308 y 6 Acero al carbono AISI 1018, en donde se espera obtener un error mínimo.

En la Tabla 28

Datos obtenidos de los tiempos de producción se encuentran los parámetros seleccionados para validación de hipótesis, tiempos, numero de muestras y el tipo de material

**Tabla 28**  
*Datos obtenidos de los tiempos de producción*

Tipo de Material	Tiempo del proceso		Total de muestras
	Automático <i>t &lt; 40min</i>	Manual <i>40min &lt; t &lt; 70min</i>	
Acero al Carbono AISI 1018	5	1	6
Acero Inoxidable AISI 308	3	2	5
<b>Total</b>	8	3	11

En la Ecuación 10 Frecuencia Esperada se calcula la frecuencia esperada en función de los valores de la Tabla 28

Datos obtenidos de los tiempos de producción:

$$E_{ij} = \frac{\sigma_i \sigma_j}{\sigma}$$

**Ecuación 10** Frecuencia Esperada

Donde:

$\sigma_i$  Total, de muestras de filas

$\sigma_j$  Total, de muestras de columnas

$\sigma$  Total, de las filas y columnas deben coincidir con el mismo valor

$E_{ij}$  Frecuencia Esperada

**Solución:**

$$E_{11} = \frac{6 * 8}{11} = 4,36$$

$$E_{12} = \frac{6 * 3}{11} = 1,64$$

$$E_{21} = \frac{5 * 8}{11} = 3,64$$

$$E_{22} = \frac{5 * 3}{11} = 1,36$$

En la Tabla 29

Valores del resultado del cálculo de frecuencia esperada se muestran los valores *calculados de la frecuencia esperada con respecto al número de muestras y tiempos.*

**Tabla 29**

*Valores del resultado del cálculo de frecuencia esperada*

Tipo de Material	Tiempo del proceso		Tiempo del proceso
	Automático <i>t &lt; 40min</i>	Manual <i>t &lt; 40min</i>	
<b>Acero al Carbono AISI 1018</b>	4,36	1,64	6
<b>Acero Inoxidable AISI 308</b>	3,64	1,36	5
<b>Total</b>	8	3	11

Con los valores obtenidos en las dos tablas se realiza, por último el cálculo de Chi-cuadrado, mediante la siguiente Ecuación 11 Chi-cuadrado:

$$x_{cal^2} = \sum \frac{(\sigma_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Donde:

$x_{cal^2}$  Chi- cuadrado calculado

$\sigma_{ij}$  Valor la muestra en fila y columna

$E_{ij}$  Frecuencia Esperada

$$x_{cal^2} = \sum \frac{(5 - 4,36)^2}{4,36} + \frac{(1 - 1,64)^2}{1,64} + \frac{(3 - 3,64)^2}{3,64} + \frac{(2 - 1,36)^2}{1,36}$$

$$x_{cal^2} = \mathbf{1,20}$$

En la Tabla 30

Valores del cálculo del Chi-cuadrado se muestran los valores calculados del Chi-cuadrado de acuerdo a su fila y columna con su tiempo y material.

**Tabla 30**

*Valores del cálculo del Chi-cuadrado*

Material	Tiempo del proceso	
	$t < 40min$	$40min < t < 70$
<b>Acero al Carbono AISI 1018</b>	0,103	0,67
<b>Acero Inoxidable AISI 308</b>	0,113	0,302

Es fundamental calcular el grado de libertad para en función de este y su Chi cuadrado se selecciona el valor en de Chi-tabulado en el Anexo A:

$$v = (i - 1) * (j - 1) \quad \text{Ecuación 12 Grados de Libertad}$$

Donde:

$i$  Total, de filas

$j$  Total, de columnas

$$v = (2 - 1) * (2 - 1)$$

$$v = 1$$

Mediante calculo tenemos que  $p = 0,3$ , lo que indica que se espera un alto grado de funcionabilidad del equipo. Con los valores presentes se recurre al Anexo A, donde se selecciona el valor correspondiente:

Chi-cuadrado tabulado  $x_{tabulado} = 1,0742$

Finalmente se valida la hipótesis de la siguiente manera:

$$x_{cal}^2 > x_{tabulado}$$

$$1,2 > 1,0742$$

Por lo cual se concluye que la hipótesis del trabajo que dice. El diseño, construcción y automatización del equipo no permitirá obtener muestras óptimas empleadas en menor tiempo para el análisis metalográfico es válida.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES:

- Al aplicar la Norma ASTM E- de fuerza necesaria aplicada a una probeta en lija en banda se comprueba que la fuerza de 30N es la correcta al concluir el proceso obteniendo una muestra optima
- Al realizar todo el proceso para obtención de muestras con un diámetro de 25mm de eje solido en Acero al carbono AISI 1018 se adquirió los tiempos en manual y en automático por lo cual se llegó a la conclusión que existe un ahorro de período 62,6% mediante el equipo.
- Al realizar el diseño de elementos mediante cargas estáticas y criterios de factor de seguridad en la parte más critica que es la sujeción del motor para el disco de corte se establece que el factor de diseño calculado del Material ASTM A36 es de 3,9 y este es mayor a 2 por lo cual se cumple que el diseño está correctamente realizado.
- Se alcanzó una confiabilidad del 91%, con 9% de fallas en una muestra de 11 probetas en tiempos experimentales y automáticos basados en norma DIN 4768 para Acero al Carbono AISI 1018.
- Con los valores seleccionados de tiempos automáticos y manuales en la etapa de lijado de grano 220 se llega a la conclusión que existe un ahorro en el ciclo de 11,32 minutos en un Acero AISI 1018.

Aplicando criterios de diseño mediante esfuerzos máximos en la platina de sujeción de motores del material ASTM A36 da como resultado que el esfuerzo de diseño es de 83,33Mpa y el esfuerzo máximo de 25,03Mpa lo cual cumple el criterio de diseño donde 83,33 debe ser mayor a 25,03.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Cumplir con las normas de seguridad en cuanto a cubrir ojos y oídos al realizar todo el proceso para obtener muestras metalográficas.
- Al inicio del proceso tener en cuenta el diámetro y material de la probeta a cortar para seleccionar debidamente en el programa para realizar el ciclo correctamente.
- Una vez terminada la práctica limpiar todos los residuos de refrigerante y limallas ya que si no lo realiza podrá oxidarse y dañar las piezas del equipo
- Antes de encender el equipo colocar correctamente la probeta en la mordaza ya que al prender se bloquea la misma.
- Realizar un control de calidad mediante visión artificial al final del proceso para verificar si la probeta está correctamente para uso del microscopio caso contrario volver a realizar la etapa de lijado y pulido
- Utilizar un rugosímetro para medir rugosidad en la superficie de las probetas para mejorar la calidad de acabado.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA**

Budynas , R. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica Shyglyy*. Mexico: Mc Graw Hill.

Cabrera Alcántara, J. (28 de Julio de 2015). *Mailxmail.com*. Recuperado el 23 de Marzo de 2019, de <http://www.mailxmail.com/curso-metalografia/operaciones-seguir-preparar-muestra-metalografica>

Díez, D. (2015). *Análisis de inclusiones en acero. Metalografía, normativa y procedimientos de análisis*. Madrid: Aliendalde Auzunea.

ELECTRONILAB. (25 de Marzo de 2015). *Ingeniería y Diseño Electronico*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de <http://bit.ly/2Hx7WrD>

Escalona, I. (2009). *Maquinas Herramientas Por Arranque de Viruta*. (E. C. Editor, Ed.) 1a. Ed.

Garavito, J. (2011). *Metalografía Protocolo Curso de Materiales*. Colombia: Olympus.

Garcia , A. (23 de Enero de 2015). *PANAMAHITEK Ingeniero Electromecánico*. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>

Gobain, S. (21 de Febrero de 2019). *Discos de corte y desbastes*. España: Isover Iberica. Recuperado el 10 de enero de 2019, de [https://www.nortonabrasives.com/sga-common/files/document/discos\\_de\\_corte\\_y\\_desbaste\\_0.pdf](https://www.nortonabrasives.com/sga-common/files/document/discos_de_corte_y_desbaste_0.pdf)

Gonzales. (2012). *Fundamentos de robótica*. Obtenido de Recuperado el 21 de diciembre de 2018: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/index.html](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/index.html)

- Hobson, T. (24 de Marzo de 2015). *GTM "Grupo de Tecnología Mecánica"*. Recuperado el 12 de Febrero de 2019, de Rugosidad Superficial: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>
- J.M.Hughes. (s.f.). *safari*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2017, de <https://www.safaribooksonline.com/library/view/arduino-a-technical/9781491934319/ch04.html>
- Kehl, G. (2014). *Fundamentos de la Practica Metalográfica*. México: (Peter Jackson Editorial).
- Larburu, N. (2005). *Prontuario de Larburu "Técnicas Maquinas Herramientas"*. España: Thomson Paraninfo.
- León, H. (16 de Octubre de 2016). *Wordpress*. Recuperado el 29 de Mayo de 2019, de <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/principio-bernoulli/>
- Madrigal, S. (Febrero 2016). *Estudio y propuesta en materia de riegos laborales para el laboratorio de investigación metalográfica y metalotécnica*. España.
- MARKS. (2015). *Manual del Ingeniero Mecanico*. Estado de Mexico: Naucalpan de Juárez Tomo I y II.
- Mipsa. (2017). *Mipsa Expertos en procesndo metales*. Recuperado el 27 de Marzo de 2019, de <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Corte-sierra-cinta>
- Mott, R. (2009). *Resistencia de Materiales*. Mexico: Pearson Education.

Neurek. (25 de Junio de 2018). *Neurek Instruments*. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de

[https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/9373/AMPreparacionesMetalograficas.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/9373/AMPreparacionesMetalograficas.pdf)

Neurtek. (2017). *Neurtek*. Recuperado el 24 de Mayo de 2019, de <https://www.neurtek.com/es/catalogos/neurtek-guia-consumibles-metalograficos>

Nuñez, O. (17 de Junio de 2014). *Slire Share*. Recuperado el 18 de Febero de 2019, de Slide Share: <https://es.slideshare.net/dani24ime/sistema-de-lubricacion-13358367>

Poveda Martínez, S. (2011). *Acabados Superficiales*. España: Visual Graphics Group.

Ramirez N, F. (2016). *Prensa montadora para la preparaciom de muestras para análisis metalográfico*. Quito.

Santillan Saldivar, S. (21 de Abril de 2013). *Slide Share*. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de Sistema de lubricacion: <https://es.slideshare.net/VictorHernandez86/sistemas-de-lubricacion>

SCRIB. (2016). *Scribd Inc*. Recuperado el 13 de Abril de 2019, de <https://es.scribd.com/document/64934478/Tablas-de-Velocidades-de-Corte>

Slide. (2016). *SlidePlayer*. Recuperado el 27 de Abril de 2019, de <https://slideplayer.es/slide/10235578/>

SMITH , W. F. (2017). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales (pág. 925)*. España: McGRAW-HILL.

Smith, S. (2017). *SHOPSMIT*. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <https://www.shopsmith.com/academy/stripsand/index.htm>

TRISTANCHO, J. (13 de Septiembre de 2017). *Doc Player*. Recuperado el 23 de Junio de 2019, de <https://docplayer.es/42750782-Diseno-y-construccion-de-una-desbastadora-metalografica-bajo-norma-astm-e-3.html>

UPNA. (22 de Marzo de 2018). *Universidad Pública de Navarra*. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de <http://bit.ly/2DDXPgH>

Wikipedia. (19 de Febrero de 2016). *Wikipedia Fundacion*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Visualizador>

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita **Acosta Chanatásig, Erika Monserrath**.

En la ciudad de Latacunga, a 23 días del mes de Julio del 2019

  
Ing. Héctor Terán  
DIRECTOR DEL PROYECTO

  
Ing. Darío Mendoza  
DIRECTOR DE CARRERA

  
Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADEMICO

