



Implementación de una Pulidora Metalográfica para el Laboratorio de Materiales de la  
Universidad Antonio Nariño Sede Puerto Colombia, Colombia

Diego Alexander Salcedo Delgado, 20451928066

Elio Luis Arrieta Núñez, 20451926658

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

2021

# **Implementación de una Pulidora Metalográfica para el Laboratorio de Materiales de la Universidad Antonio Nariño Sede Puerto Colombia**

Diego Alexander Salcedo Delgado

Elio Luis Arrieta Núñez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Msc: William Orozco Lozano

Línea de Investigación:

Gestión de la Productividad, la Competitividad y la Innovación.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

---

Cumple con los requisitos para optar

Al título de

---

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Puerto Colombia, noviembre 2021.

# Contenido

Pág.

<b>Introducción</b> .....	xiv
<b>1. Capítulo I. Planteamiento del Problema.</b> .....	18
<b>1.1. Justificación del Proyecto</b> .....	<b>19</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>20</b>
1.2.1. Objetivo General .....	21
1.2.2. Objetivos Específicos .....	21
<b>1.3. Delimitación del Proyecto</b> .....	<b>21</b>
<b>1.4. Alcance del Proyecto</b> .....	<b>22</b>
<b>2. Capítulo II. Marco teórico.</b> .....	23
<b>2.1. Ecuación 1. Calculo para el esfuerzo normal causado por flexión.</b> .....	<b>33</b>
<b>2.2. Ecuación 2. Calculo de esfuerzos de corte causados por carga cortante directa.</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3. Ecuación 3. Calculo del esfuerzo normal equivalente.</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3. Revisión de pulidoras metalográficas comerciales.</b> .....	<b>34</b>
<b>2.4. Estado del arte en pulidoras metalográficas.</b> .....	<b>39</b>
<b>3. Capitulo III. Metodología</b> .....	47
<b>3.1. Tipo de investigación.</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2. Plan de acción para alcanzar los objetivos específicos.</b> .....	<b>47</b>
3.2.1. Fase 1 .....	47
3.2.2. Fase 2 .....	48
3.2.3. Fase 3 .....	49
3.2.4. Fase 4 .....	49
3.2.5. Fase 5 .....	50
<b>4. Capitulo IV. Resultados.</b> .....	51
<b>4.1. Caracterizar el estado del arte sobre pulidoras metalográficas con el propósito de identificar los requerimientos tecnológicos del equipo y generar las alternativas de diseño bajo lineamientos de la norma ASTM E- 03.</b> .....	<b>51</b>
4.1.1. Norma ASTM E03 – 11 (Año 2003 – revisión 2011). .....	51
4.1.2. Selección de la muestra metalográfica. ....	52
4.1.3. Tipo de sección que será examinada.....	51

4.1.4. Tamaño de muestra metalográfica .....	51
4.1.5. Corte de muestras .....	51
4.1.6. Limpieza.....	52
4.1.7. Montaje de la muestra .....	53
4.1.8. Tipos de montaje .....	53
4.1.9. Esmerilado y pulido.....	55
4.1.10.Esmerilado basto .....	55
4.1.11.Esmerilado fino .....	55
4.1.12.Pulido .....	56
4.1.13.Definición de requerimientos funcionales para la pulidora metalográfica. ....	57
<b>4.2.Seleccionar la opción de pulidora metalográfica mediante aplicar una matriz de comparación y desarrollar las fases de diseño conceptual, básico y de detalle, para establecer la morfología del equipo en relación a su función técnica y requerimientos.....</b>	<b>59</b>
4.2.1. Fase de diseño conceptual. ....	75
4.2.2. Fase de diseño básico. ....	79
4.2.3. Fase de diseño de detalle. ....	81
4.2.4.Ecuacion 8 factor de correccion por angulo.....	82
4.2.5. Longitud de la correa.....	83
4.2.6. Angulo de agarre .....	84
4.2.7. Polea del árbol motriz.....	84
4.2.8. Ecuación 10 tensiones en la correa T1.....	84
4.2.9. Ecuación 11 tensiones en la correa T2.....	84
4.2.10. Ecuación 12 factor de seguridad contra fatiga n .....	87
4.2.11.Ecuación 13 resistencia a la fatiga .....	88
4.2.12.Ecuación 14 calcular vida L del rodamiento carga radial mayor AX.....	92
4.2.13.Ecuación 15 calcular la corriente máxima de operación I.....	94
<b>4.3.Elaborar un detallado de costos del equipo para compararlo con equipos comerciales equivalentes.....</b>	<b>96</b>
<b>4.4.Construir y puesta en marcha de la pulidora metalográfica. Resultado de este objetivo es el equipo armado y funcional, listo para pulir probetas metálicas. ....</b>	<b>98</b>
<b>4.5.Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la pulidora metalográfica.....</b>	<b>101</b>
4.5.1. Operación .....	101
4.5.2. Mantenimiento. ....	102

<b>5. Capitulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>104</b>
<b>5.1.Conclusiones.....</b>	<b>104</b>
<b>5.2.Recomendaciones.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO A Planos.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEO B Simulaciones.....</b>	<b>108</b>
<b>6. Capitulo VI. Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>110</b>

## Índice de Figuras

Pág.

Figura 1 Microestructura de acero eutectoide.....	28
Figura 2 Microestructura de acero hipo eutectoide. $C < 0,8 \%$ .....	28
Figura 3 Micro estructura de aceros hiper eutectoides $C > 0,8 \%$ . ....	29
Figura 4 Tamaños de grano normalizados según ASTM.....	31
Figura 5 Esmerilado con tiras. Movimientos alternos rectilíneos. ....	32
Figura 6 Movimiento para esmerilado y pulido con disco.....	32
Figura 7 Pulidora comercial marca CMS. ....	35
Figura 8 Pulidora Weiyi unipol.....	37
Tabla 9 Materiales para realizar limpieza en superficies de probetas. ....	54
Figura 10 Pulidora de cinta y pulidora de disco. ....	60
Figura 11 Estructura funcional para pulidora metalográfica.....	64
Figura 12 Esquema para analizar esfuerzos en el disco de pulido. ....	71
Figura 13 Esquema de sistema de potencia mecánica de la pulidora.....	73
Figura 14 Esquema para calcular el par torsor al girar el disco de pulir. ....	74
Figura 15 Motor eléctrico seleccionado. ....	77
Figura 16 Polea del motor y polea del árbol motriz.....	78
Figura 17 Acople poleas – correa.....	82
Figura 18 Esquema del árbol motriz.....	84
Figura 19 Esquema de fuerzas en el árbol motriz.....	85
Figura 20 el dcl y Diagramas de carga en el árbol motriz. ....	86
Figura 21 Relaciona el Acabado superficial de las piezas ....	88
Figura 22 Simulación de factores de seguridad al conjunto árbol motriz- disco soporte. ....	89
Figura 23 Diagrama eléctrico de la pulidora. ....	93
Figura 24 Vistas e isométrico de pulidora diseñada sin la cubierta protectora ....	94
Figura 25 Armado del chasis del equipo. ....	97
Figura 26 Pulidora Armada.....	98

## Índice de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Propiedades mecánicas de aceros típicos.....	30
Tabla 2 Características técnicas de pulidora Weiyi unipol – 1210. ....	37
Tabla 3 Técnicas para montar probetas metálicas. ....	41
Tabla 4 Goteo versus tiempo.....	42
Tabla 5 Parámetros para diseñar pulidoras metalográficas. ....	43
Tabla 6 Recomendaciones sobre reactivos. ....	44
Tabla 7 Valores experimentales factor de fricción disco – probeta. ....	45
Tabla 8 Recomendaciones para el corte de probetas según tipo de hojas. ....	52
Tabla 9 Datos para esmerilado y pulido. ....	57
Tabla 10 Lista de requerimientos técnicos para la pulidora metalográfica. ....	58
Tabla 11 Matriz para seleccionar entre pulidora de cinta y de disco ....	61
Tabla 12 Matriz de comparación entre pulidora de uno o dos discos. ....	63
Tabla 13 Desarrollo de la fase básica del diseño para la pulidora ....	65
Tabla 14 Selección del acoplamiento motor -eje motriz.....	70
Tabla 15 Datos de propiedades del Nylon. ....	76
Tabla 16 Potencia a transmitir según tipo de correa. ....	79
Tabla 17 Valores para el factor K1.....	80
Tabla 18 Valores para el factor k2. ....	81
Tabla 19 Propiedades mecánicas de aceros típicos.....	87
Tabla 20 Capacidades de carga estática y dinámica para rodamientos de bolas. ....	90
Tabla 21 Listado de precios de Insumos ....	95



*(Dedicatoria)*

*A mi madre y a mis dos maravillosas hijas, que fueron el motor que impulsó mi superación personal y apoyo para cada logro obtenido, a ellas dedico este anhelado título académico.*

*A mi padre por haberme enseñado que con disciplina y esfuerzo se puede lograr todo lo que nos proponamos en la vida.*

*A mi esposa y hermana que con su incondicional apoyo y palabras de ánimo me llenaban de moral para seguir adelante aun cuando había momentos difíciles.*

*Elio Luis Arrieta Núñez*

## Agradecimientos

La pregunta que puede surgir es ¿porqué escogí estudiar Ingeniería Mecánica? – al principio se presentó como una gran oportunidad para poder obtener un cargo más alto dentro de una organización y mejorar los ingresos familiares, pero con el transcurrir del tiempo se volvió un reto personal- buscando el equilibrio entre ser un gran profesional y ser al mismo tiempo un buen padre de familia, mostrando a través del ejemplo la capacidad de superación que tenemos los seres humanos cuando decidimos salir adelante.

No fue fácil, pues las diversas situaciones presentadas a nivel personal, económico y social; llevaron a que se presentara un revolcón en mi vida, colocándome a prueba mi capacidad de comprensión, sabiduría y pasión. Esta última creo que es una de las bases más importantes para poder decir “SI PUEDO” – “SI LO LOGRE”, ya que cuando te gusta y te apasiona lo que haces, lo que estudias, lo que trabajas; las noches largas de trabajos interminables, los días de soledad por no compartir en familia, los días bajos de salud y los días laborales no tan buenos, se convierten en peldaños que sin darte cuenta se van escalando para lograr el profesional que soy hoy en día y el cual se encuentra en construcción.

En la transición profesional de ser técnico en mecánica Diésel a ser Ingeniero Mecánico, encontré la fortaleza de discernir la parte operativa de la parte creativa en cuanto la capacidad de fabricar, diseñar e implementar sistemas de operación o estrategias de innovación para la industria – para lo cual como experiencia profesional es satisfactorio tener la experiencia operativa en mecánica y poder dar mi punto de vista de los diferentes procesos industriales, como comúnmente dice el dicho “ desde abajo”.

La satisfacción de lograrlo y la felicidad que siento al cumplir unas de mis metas; se las debo primeramente a Dios quien me acompaño y me tomo de su mano cuando sentí desfallecer por cada prueba que coloco en el transcurso de este sueño; a mi esposa y mi hijo quien con paciencia, amor y comprensión estuvieron acompañándome en cada una de las situaciones que se presentaron, a ellos “les debo tiempo y amor” – a mis padres quienes estuvieron hay con palabras de aliento “TU LO VAS A LOGRAR” “AQUÍ ESTAMOS”, a mis hermanos los cuales siempre estuvieron pendientes de mis victorias y derrotas, recordándome lo fuerte que soy y la pieza clave que formo dentro de la familia. Y a las demás personas que formaron parte de este proceso GRACIAS INFINITAS.

Y para finalizar dejo esta frase de Thomas Watson

“Grandes logros han sido el producto de la combinación de buenas ideas y mucho entusiasmo”

Diego Alexander Salcedo Delgado

## **Agradecimientos**

Infinitas gracias a Jehová Dios por todas sus bendiciones, que estuvieron presentes en cada momento de mi carrera y de mi vida, sin él no lo hubiera logrado.

A mis familiares y amigos que con sus buenos consejos me animaron a seguir con esta grandiosa meta.

A la universidad Antonio Nariño por abrirme sus puertas y a todos los docentes que incansablemente nos transmitían conocimientos para la preparación de esta carrera profesional.

Elio Luis Arrieta Núñez

## Resumen

Los procesos de enseñanza de la ingeniería mecánica requieren de equipos de laboratorio diversos, según las áreas de énfasis y profundización. Para el área de los materiales de ingeniería, en relación al análisis de microestructuras en materiales metálicos, plásticos, cerámicos y compuestos, se requieren equipos como: cortadoras de probetas, pulidoras de probetas y microscopios ópticos, electrónicos y similares. El conocimiento de las microestructuras de los metales permite al ingeniero inferir propiedades mecánicas, químicas, eléctricas y de otra naturaleza, lo cual se correlaciona con la correcta aplicación del material para un servicio requerido. Aspectos como. Tamaño de grano, forma, orientación, segregación, inclusiones no metálicas, son relevantes para la aplicación e investigación de los metales. Un equipo auxiliar e importante para fabricar las probetas que se observan en los microscopios es la pulidora metalográfica. Con este equipo, los estudiantes e investigadores pueden procesar la superficie de la probeta que se somete a la observación en el microscopio a un grado de acabado superficial denominado al espejo, condición indispensable para proceder al ataque químico previo a la observación, procesamiento y análisis de las microestructuras resultantes de tratamientos térmicos y procesos de fabricación. Por ello, el objetivo del proyecto es “implementar una pulidora metalográfica para el laboratorio de materiales en la Universidad Antonio Nariño”.

En este trabajo de grado, desarrollado en la universidad Antonio Nariño sede Puerto Colombia, se diseña, implementa y pone en marcha una pulidora metalográfica, equipo que cumple la función de dar el acabado final a superficies de probetas metálicas a las que se pretende obtener su perfil microestructural a través del microscopio. Teniendo como referente las condiciones de pulido que define la norma americana ASTM E – 03 - 17. El diseño implementado permite un uso seguro del equipo, brindado pulidos al espejo de alta calidad que permiten realizar la obtención de la microestructura de los metales analizados, mejorando la capacidad del laboratorio de materiales y la calidad de la enseñanza impartida. El documento final desarrolla un manual de operación y mantenimiento, información necesaria para facilitar la operación y uso sostenido del equipo. El enfoque de diseño aplicado es la metodología canónica que asegura definir y cumplir los requerimientos técnicos que estos equipos deben satisfacer según define la norma ASTM para considerarlos apropiados para este tipo de aplicación.

*Palabras claves:* pulidora metalográfica, microestructura metalográfica, probetas, pulido al espejo, materiales metálicos.

## Abstract

The teaching processes of mechanical engineering require different laboratory equipment, according to the areas of emphasis and depth. For the area of engineering materials, in relation to the analysis of microstructures in metallic, plastic, ceramic and composite materials, equipment such as: test tube cutters, test tube polishers and optical, electronic and similar microscopes are required. Knowledge of the microstructures of metals allows the engineer to infer mechanical, chemical, electrical and other properties, which correlate with the correct application of the material for a required service. Aspects like. Grain size, shape, orientation, segregation, non-metallic inclusions, are relevant to the application and investigation of metals. An auxiliary and important equipment to manufacture the specimens that are observed in microscopes is the metallographic polisher. With this equipment, students and researchers can process the surface of the test tube that is subjected to observation in the microscope to a degree of surface finish called the mirror, an essential condition to proceed with the chemical attack prior to the observation, processing and analysis of microstructures resulting from heat treatments and manufacturing processes. For this reason, the objective of the project is "to implement a metallographic polishing machine for the materials laboratory at the Antonio Nariño University".

In this degree work, developed at the Antonio Nariño University, Puerto Colombia headquarters, a metallographic polishing machine is designed, implemented and commissioned, an equipment that fulfills the function of giving the final finish to surfaces of metallic specimens to which it is intended to obtain their microstructural profile through the microscope. Taking as a reference the polishing conditions defined by the American standard ASTM E - 03 - 17. The implemented design allows a safe use of the equipment, providing high quality mirror polishes that allow obtaining the microstructure of the analyzed metals, improving the capacity of the materials laboratory and the quality of the teaching provided. The final document develops an operation and maintenance manual, the information necessary to facilitate the operation and sustained use of the equipment. The applied design approach is the canonical methodology that ensures to define and meet the technical requirements that these equipment must satisfy as defined by the ASTM standard to consider them appropriate for this type of application.

**Keywords:** metallographic polishing machine, metallographic microstructure, test tubes, mirror polishing, metallic materials.

## **Introducción**

Desde los albores de la humanidad, el hombre utiliza los materiales para solventar sus necesidades y deseos. Al inicio las personas primitivas utilizaban los materiales que la naturaleza les brindaba, para alimentarse, construir refugios, elaborar armas primitivas para cazar y pelear, herramientas para labrar la tierra y plantas para hacer medicina. La correlación natural utilizada era que los materiales por naturaleza poseen unas características y descubrir estas en relación con usos cotidianos era el conocimiento base para una correcta aplicación.

Con la evolución y desarrollo de la sociedad humana y la ingeniería, actualmente se considera que todo material posee una estructura a nivel micro y nano, la cual define sus propiedades y comportamientos. El avance en la ciencia e ingeniería de los materiales proviene del criterio que mediante manipulaciones se puede cambiar la estructura de un material según su naturaleza y así pueden mejorarse sus propiedades y ampliar su uso. Incluso, a nivel teórico con apoyo computacional se desarrollan posibles estructuras no disponibles por la naturaleza y se predice su posible comportamiento, entonces la investigación se encamina a desarrollar en la realidad esas estructuras artificiales. Ahora el criterio es Crear nuevas micro y nano estructuras que definan nuevas características y comportamientos de estos nuevos materiales artificiales, que mejoren el uso actual y crear nuevas aplicaciones y procesos de fabricación, principalmente en el campo espacial, aeronáutico, militar, industrial y vehicular.

El saber hacer en ciencia, tecnología e ingeniería, juegan un papel fundamental en el crecimiento socio - económico y la mejora de la calidad de vida de una sociedad, a través de la fabricación y comercialización de tradicionales y nuevos productos y servicios, que son esenciales para la construcción y sostenimiento de nuevas capacidades tecnológicas para las naciones de las Américas en el siglo XXI. El desarrollo de nuevas tecnologías ha estado asociado con el desarrollo de los materiales adecuados para las aplicaciones específicas. El avance en el conocimiento de un tipo de material puede ser una base importante para la progresión paulatina de una tecnología. Como ejemplos se puede citar el impacto de la disponibilidad de acero de bajo costo en la industria del automóvil, y de los materiales semiconductores en la industria de los dispositivos electrónicos utilizados en la era contemporánea.

Los materiales utilizados para desarrollar los proyectos en ingeniería, interesan por sus propiedades físicas, mecánicas, eléctricas, magnéticas, térmicas, ópticas, etc. Para la selección de estos materiales, es relevante conocer esas propiedades en relación a la aplicación específica que se pretende resolver. En todo caso, el comportamiento de cualquier material depende de su estructura a nivel macro y micro estructural. Por ello, es sumamente importante conocer esas estructuras para correlacionarlas con propiedades de interés en la ingeniería. Es en esta situación dónde es imprescindible disponer de equipos que permitan obtener de manera visual estas microestructuras para materiales en estudio sea para selección y aplicación y/o como parte de investigaciones en el área.

**Antecedentes.**

En la Universidad Antonio Nariño se tiene un local para el laboratorio de materiales que está disponible para los programas de ingeniería. En la actualidad no se cuenta con equipos para desarrollar análisis de microestructuras metálicas, como son: cortadora de probetas, pulidora de probetas y microscopio óptico electrónico. Por esto, en el presente proyecto se define el objetivo general de Implementar una pulidora de probetas metalográficas para mejorar la capacidad de investigación en el mencionado laboratorio. Con este aporte al laboratorio, se favorece el desarrollo académico en la parte experimental y su conexión con el conocimiento teórico que se valida, condición requerida para la práctica e investigación en el área de los materiales. Disponer de este equipo facilita realizar prácticas a los estudiantes e investigadores de la UAN, sin recurrir a procesos de transporte e ingreso a otras instituciones, lo cual resulta engorrosos, incluyendo pérdidas de tiempo y dinero, recursos valiosos y escasos.

**Estructura del documento**

Para elaborar el documento final se aplican los lineamientos que define la Universidad Antonio Nariño. El desarrollo del trabajo se define del siguiente modo. En el Capítulo I, se habla del planteamiento del problema. En el Capítulo II, se expresa la justificación, en el III los objetivos y en el capítulo IV se define la metodología.

En el Capítulo V, se presenta el marco teórico. En el Capítulo VI, el desarrollo y resultado logrado respecto a los objetivos específicos.



Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones. Los anexos presentan el cronograma, el presupuesto, las cotizaciones, las simulaciones y las fotos que evidencian el proceso consecutivo del equipo. En la parte final la bibliografía utilizada.

## **1. Capítulo I. Planteamiento del Problema.**

En el campo de la ciencia e ingeniería de materiales, se tienen aspectos de estudio como: identificación de metales, caracterización de metales, análisis de fallas, efectos de procesos de fabricación en los productos y otros, los cuales son de interés fundamental en la selección, aplicación e investigación de materiales. En esta área, los análisis de micro estructuras juegan un papel fundamental en la caracterización, identificación y aplicación de materiales metálicos tradicionales y nuevos.

En el caso del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Puerto Colombia, se dispone del laboratorio de materiales. Para realizar los análisis de microestructuras metalográficas, al momento se recurre a convenio con otras entidades. Esto se explica por la no existencia de equipos fundamentales para realizar este tipo de trabajo relacionado con obtener de manera gráfica el perfil micro estructural de materiales metálicos en estudio. Entre los equipos no disponibles está una pulidora de probetas metalográficas, el cual es necesario para obtener superficies con acabado al espejo según define la norma ASTM E - 03. Por ello, se plantea desarrollar mediante trabajos de grado pertinentes, el

diseño, la construcción y puesta en marcha de los equipos básicos para realizar los procesos metalográficos, como son la cortadora metalográfica y la pulidora de probetas, los cuales pueden construirse de manera local. Equipos de mayor complejidad tecnológica como un microscopio con un grado de tecnología a definir deben adquirirse con fabricantes reconocidos. Sin embargo, la implementación de los equipos básicos como es el caso de la pulidora para encapsular probetas metálicas y pulir su superficie al grado de acabado al espejo, es necesaria para acometer estudios de investigación en el área de materiales metálicos en UAN.

A través del desarrollo de este proyecto se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación. ¿Cómo Implementar una pulidora metalográfica en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño sede Puerto Colombia?

Los siguientes interrogantes se generan partir del interrogante principal.

- ¿Cuáles pulidoras metalográficas están disponibles comercialmente?
- ¿Qué características tecnológicas debe tener la pulidora de probetas metalográficas a implementar en el laboratorio de la UAN?
- ¿Cuál sería su costo estimado comparativo con equipos comerciales similares?
- ¿Cómo asegurar un correcto uso y mantenimiento del equipo?

### **1.1. Justificación del Proyecto**

Al desarrollar este proyecto de grado en la Universidad Antonio Nariño (UAN) sede Puerto Colombia, se obtienen los siguientes beneficios.

- ✓ Se mejoran los estándares de Calidad y competitiva en el mercado externo respecto a la industria a nivel local, regional y nacional. Disponer de equipos de laboratorio en el área de metalografía, permite responder al sector productivo respecto a las exigencias en el saber hacer que imponen hacia los futuros Ingenieros mecánicos, Electromecánicos y afines. Además, se mejora la capacidad para prestar servicios de análisis metalográficos al sector metalmeccánico, de construcción, minería, químico, agropecuario, entre otros.
- ✓ A nivel académico es indispensable que el laboratorio de ésta se encuentre dotado de ciertos elementos, herramientas y equipos, que mejoren la capacidad investigativa de los egresados y personal investigativo en general. También, se podrán realizar prácticas que entreguen experiencia al estudiante en el manejo de equipo de laboratorio y corroborar los aprendizajes teóricos aprendidos. Desde el punto de vista teórico en esta investigación, servirá en el desarrollo y creación de nuevas investigaciones innovadoras, encaminada al mejoramiento del laboratorio Universitario. Bajo el enfoque metodológico, proporcionará un instrumento nuevo, que servirá en el área del laboratorio de la universidad como apoyo a la formación educativa, además de su trazabilidad por medio de análisis estadísticos. En lo práctico, contribuirá estratégicamente a resolver el problema de falta de equipos utilizados para afianzar el conocimiento o la información recogida; garantizando la disminución de tiempos muertos en dichas actividades.

## 1.2.Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Implementar una pulidora metalográfica para el laboratorio de materiales de la Universidad Antonio Nariño sede Puerto Colombia bajo lineamientos de la norma ASTM E – 03 - 11.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el estado del arte sobre pulidoras metalográficas con el propósito de identificar los requerimientos tecnológicos del equipo y generar las alternativas de diseño bajo lineamientos de la norma ASTM E- 03 – 11 (última revisión año 2011).
- Seleccionar la opción de pulidora metalográfica mediante aplicación de una matriz de comparación y desarrollar las fases de diseño conceptual, básico y de detalle, para establecer la morfología del equipo en relación a su función técnica y requerimientos.
- Elaborar un detallado de costos del equipo para compararlo con equipos comerciales equivalentes.
- Construir y puesta en marcha de la pulidora metalográfica.

Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la pulidora metalográfica.

### 1.3. Delimitación del Proyecto

Este proyecto está orientado a la construcción de una pulidora metalográfica la cual será utilizada en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño como apoyo a la formación educativa.

#### 1.4. Alcance del Proyecto

El alcance de esta investigación hace referencia al diseño y construcción de una pulidora metalográfica la cual será colocada dentro de las instalaciones del laboratorio de la Universidad Antonio Nariño de Puerto Colombia.

## 2. Capítulo II. Marco teórico.

La metalografía se define como la ciencia que estudia la estructura interna de los metales y sus aleaciones para correlacionarlas con sus propiedades mecánicas y se considera su inicio con Henry Clifton Sorby en el año 1863. Los inicios de esta correlación se extienden hasta la fabricación de espadas, las cuales se limpiaban con ciertos ácidos con lo que se revelaban grabados en su superficie a simple vista. Incluso se podían observar grietas superficiales que es lo que se denomina macrografía (macroestructura) (García & Cortés, 2018). Con el apoyo del microscopio óptico se podían realizar aumentos de la agudeza visual hasta 1500 X, lo cual permite observar lo que hoy se denomina micrografía (microestructuras). Adicional a lo anterior, aspectos desarrollados de forma paralela y complementaria como composición química, tipo de celdas, propiedades mecánicas, los tratamientos termoquímicos y termofísicos, diagramas de fases y otros, permiten disponer hoy de las correlaciones estructura – propiedades mecánicas. En la figura 5.3 una micrografía para acero eutectoide o de 0,8 % C, observados al microscopio.

Según antecedentes de diferentes escritores:

En la antigüedad, “la metalografía, tal como la conocemos hoy, se debe en gran parte a la contribución del científico del siglo XIX Henry Clifton Sorby” (metalografía.es, 2019). Se

consideraba que el servicio metalográfico en un laboratorio era uno de los temas que había revolucionado la historia de la unión de diferentes componentes al determinar su estructura; dentro de este sus procesos eran demorados principalmente el desbaste del material, tanto fue a considerarse como ortodoxo.

Teniendo en cuenta que “los conceptos de fatiga y fractura son implementados desde muchos años atrás. En el siglo 19 por sucesos ocurridos con pérdidas de vidas humanas, se da inicio a pruebas de falla y error en las estructuras” (Daza, 2019). Es por eso que la pulidora de bando metalográfico paso a ser una de las maquinas esenciales en cualquier proceso de identificación de material.

En vista de poder ampliar el conocimiento de este tipo de herramientas las pulidoras metalográficas son utilizadas en la industria, se debe no solo hablar de investigaciones que hagan referencia o énfasis al problema principal, sino de investigaciones que nos puedan llevar a entender el tema en general y así poder dar solución al problema principal, en otras palabras trabajos investigativos que aborden el tema en relación.

Basados en las memorias del XXIV congreso internacional anual de la SOMIM comentan que las pulidoras metalográficas sirven como apoyo “para evaluar la eficiencia de la forja en las piezas de acero y latón que adquiere, esto llevó a desarrollar una metodología que consiste en los siguientes pasos Análisis metalográfico y pruebas de dureza, Análisis químico y calidad” (García & Cortés, 2018). Esta forma eficiente de saber la composición de un material ha llevado a la industria a competir en el mercado de forma eficiente obligándola a actualizar todos sus procesos, primordialmente el de calidad con el fin de responder a las exigencias del mercado.



Sin embargo en otras investigaciones la forma de poder relacionar la condición de los materiales según la tabla periódica como guía permitiendo ayudar a la construcción de metodologías para los ataques químicos que se les realiza a las muestra de material, revelando lo que se está buscando.

En la Universidad Santo Tomas sus investigadores diseñaron y lograron construir una pulidora metalográficas, con el objetivo de llevar la practica en los laboratorios de la facultad, esta ayudo a realizar los desbastes de material reemplazando el actual que era manualmente; al momento de realizar su proyecto el cual desarrollaron dos sistemas “uno que se encarga de dar movimiento a los platos que soportan los discos abrasivos y otra parte es la que se tiene que ver con el sistema que da movimiento a las probetas y al sistema que las soportan” (Portillas & Pinzón, 2018).

Para algunas universidades el implementar en sus laboratorios herramientas como estas donde se puedan realizar un proceso que realiza la industria, pone a prueba los conocimientos de todos y nos lleva a estar al marguen del cambio o actualizaciones que tenga el mercado, con el fin de que el futuro ingeniero mecánico cumpla con todas las expectativas que este exige.

Dentro de la investigación publicada por la Universidad de Sevilla su investigador hace referencia a que “la metalografía cualitativa consiste sólo en observar la microestructura, determinando cuáles son los micro-constituyentes que la compone, éstos varían de acuerdo a los tratamientos térmicos, tratamientos mecánicos, procesos de fabricación y otros procesos a los que el material esté sometido” (Olmo, 2017). Este al ser uno de los más utilizados en el análisis de la composición de las piezas, donde se comprueba las capas que este posee bajo

la técnica seleccionada por el investigador se puede tomar la mejor decisión para su aplicación.

Sin embargo, en la Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador en vista de reemplazar ese proceso manual se trabajó en un diseño acorde a las necesidades de exigencia del laboratorio se tuvieron que examinar prototipos diseñados por varias investigaciones, mirando que sus propósitos sean de facilitar y mejorar dicha técnica metalográfica, cumpliendo con “las necesidades del laboratorio en cuanto a tecnología y a su vez facilitar el trabajo en las prácticas y en los servicios que brinda el laboratorio llegando a ser utilizados hasta la actualidad” (Gómez & Gamba, 2017).

Estas investigaciones no solo ayudaron a la industria sino a la milicia al crear laboratorios especializados con pulidoras metalográficas para desarrollar nuevas aleaciones que pudieran utilizar, ellos pensaban que “la máquina de cintas es más sencilla y de fácil construcción que la máquina de discos, sin embargo, esta última ofrece mejores ventajas en cuanto permite controlar la forma y las variables del proceso, lo cual repercutirá en la obtención de mejores superficies” (Silvia & Idrovo, 2021).

En Colombia, las Universidades han implementado dentro de su formación el manejo práctico con el fin de que el estudiantado salga con unas bases fuertes al ámbito laboral, en conjunto con las organizaciones donde realizan requerimientos a estas con el fin de que sean preparados desde el inicio. Con la combinación de que los mismo estudiantes tengan la opción de diseñar y construir una pulidora metalográfica, ayudando al ingenio e innovación dentro del ámbito estudiantil. Sin embargo muchas investigaciones han requerido la

actualización no tanto del factor humano sino de la parte tecnológica, aquí se aprovecha dicha unión.

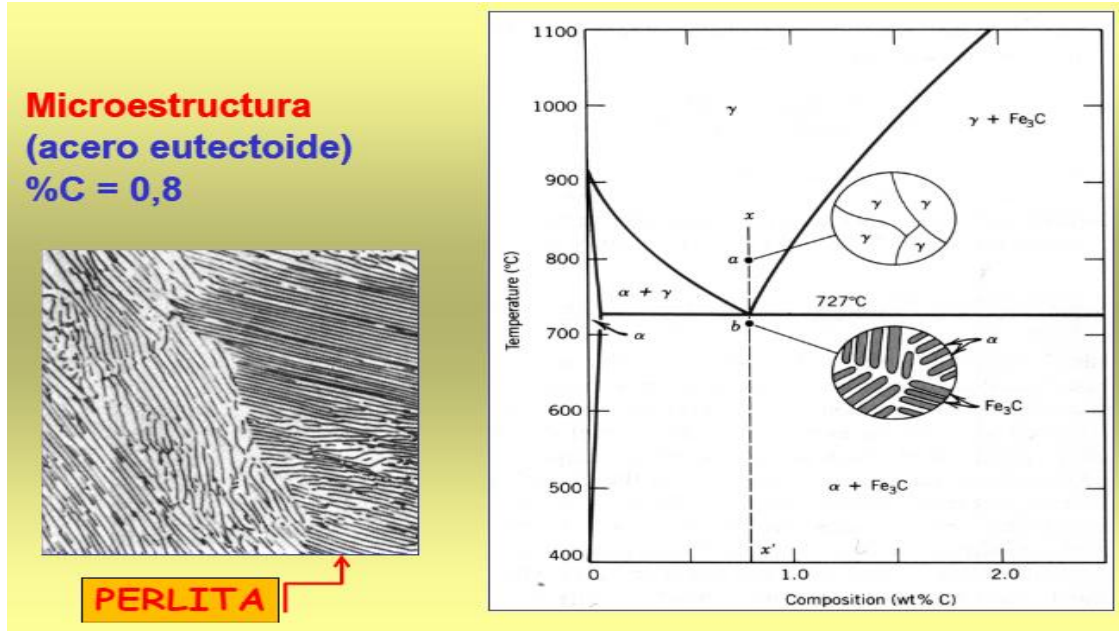
Dentro de las investigaciones desarrolladas en la Universidad Francisco de Paula Santander, se hace necesario diseñar y construir un banco metalográfico para la realización de pruebas metalográficas con el fin de determinar que “los aceros de fase dual que son reconocidos por brindar la presencia de abundante ductilidad y gran resistencia mecánica dentro de un mismo material con el fin de cumplir las necesidades que presenta la industria metalúrgica” (Galindo & Rodríguez, 2017). Demostrando que la metalografía confirma que las propiedades y su comportamiento, proporcionando la información complementaria con el fin de realizar fusiones de elementos.

En la publicación realizada por la Universidad Libre sus investigadores al tomar como referencia las ventajas que se tienen de tener un buen diseño y construir una pulidora metalográfica en el laboratorio de sitio en mención se expresan que “por medio de estos tratamientos se busca el mejoramiento de piezas que requieren valores elevados de dureza, aumentar la resistencia al desgaste y a la vez una buena tenacidad para evitar problemas de fatiga” (Gómez & Gamba, 2017). Afianzando que dentro de los procesos de cada empresa se maneja en el área de calidad el control de los componentes que serán utilizados en la construcción de nuevas piezas.

Según investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas afirma que al tener dentro de un laboratorio una pulidora metalográfica ayuda a “predecir el comportamiento de los diferentes componentes del material a las deformaciones, diferentes esfuerzos aplicados, temperaturas, etc., no solo se han obtenido avances a nivel macro de los materiales sino

también a nivel micro” (Salgado & Rodriguez, 2017). Definiendo así el cambio del mismo antes de ser usado en la construcción de componentes o usado en la infraestructura.

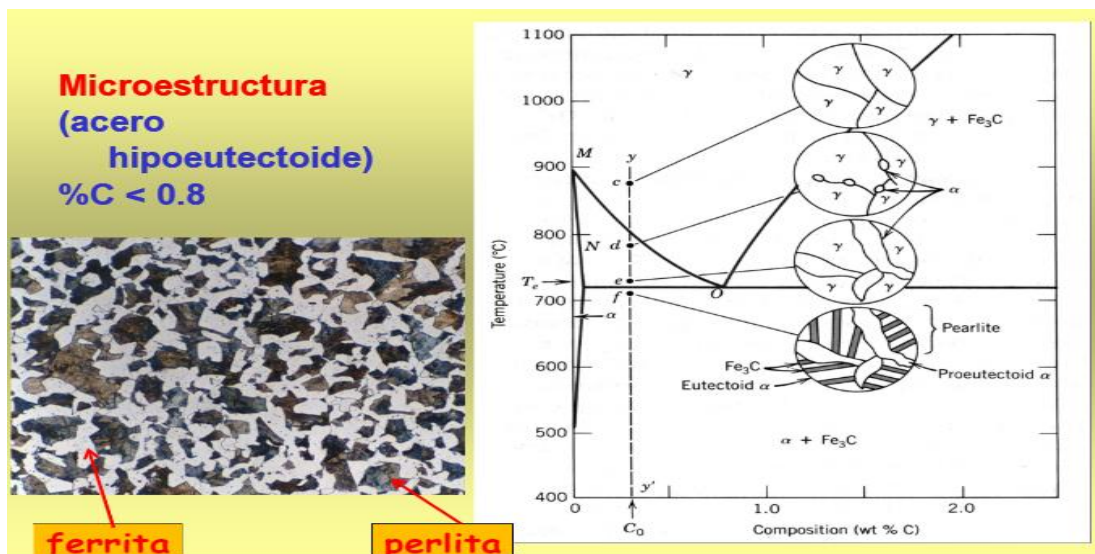
Figura 1 Microestructura de acero eutectoide.



Fuente 1 (derematerialia.com, 2020)

Nota: Muestra la Microestructura de acero eutectoide.

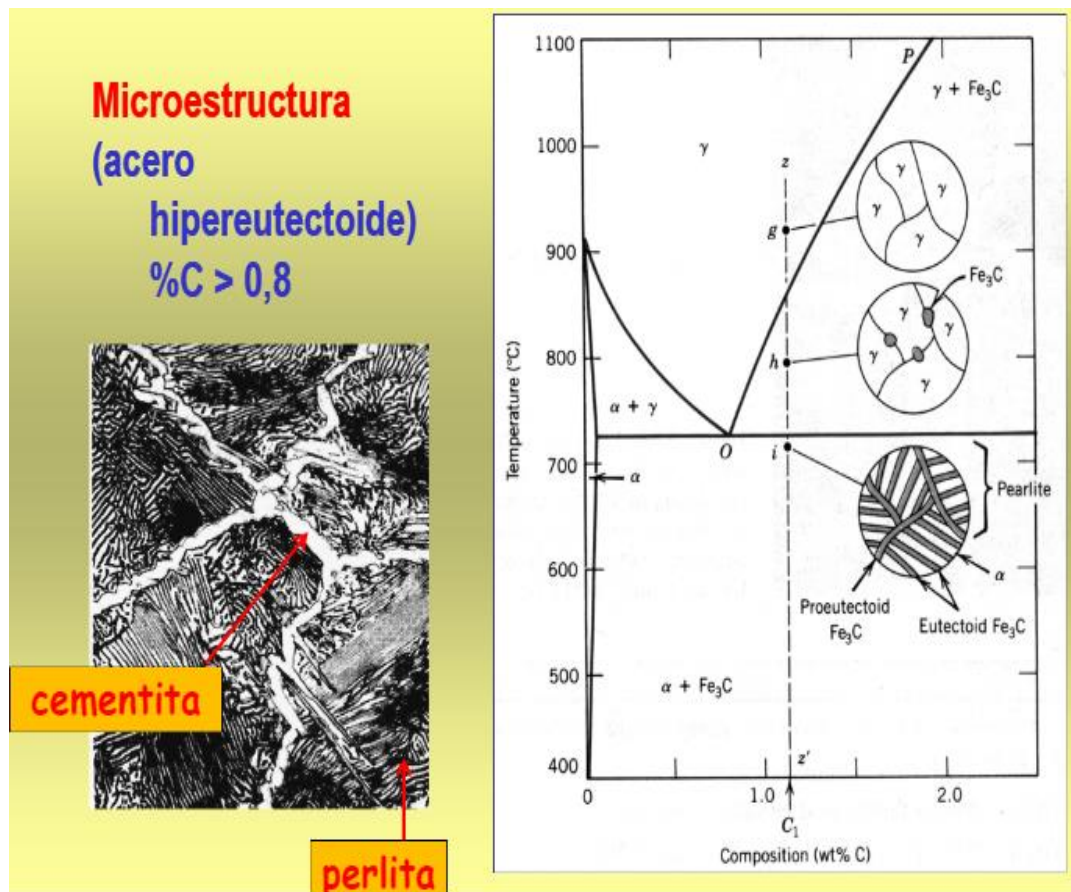
Figura 2 Microestructura de acero hipo eutectoide. C < 0,8 %.



Fuente 2 (derematerialia.com, 2020)

Nota: Muestra la Microestructura de acero hipo eutectoide.  $C < 0,8 \%$ .

Figura 3 Micro estructura de aceros hiper eutectoides  $C > 0,8 \%$ .



Fuente 3 (derematerialia.com, 2020)

Nota: muestra la Micro estructura de aceros hiper eutectoides  $C > 0,8 \%$

Las figuras 3, 4 y 5 Correlacionan los diagramas de fase Hierro – carbono con las respectivas microestructuras. En todos los casos, al realizar el proceso de micrografía correctamente, se podrán observar directamente y guardar registros fotográficos del perfil a este nivel micro. Se identifican fases presentes, sus formas, tamaños, orientación, inclusiones y otros. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el “tratamiento termico que se le da al material, siendo este una combinacion de operaciones de calentamiento y enfriamiento de tiempos determinados” (Averner, 1988). De manera complementaria se realizan pruebas mecánicas

de resistencia y su conexión con cada micro estructura, con esto se definen correlaciones valiosas. Así, al disponer de esta información se realizan ensayos micro estructurales que permiten inferir comportamientos mecánicos respaldados por la experimentación, de ahí su valor científico para estudiar aplicaciones, investigaciones, desarrollo de materiales y análisis de fallas, entre otros. La tabla 7 presenta datos experimentales de aceros según su clasificación AISI. Actualmente se dispone de manuales de micrografías según cada tipo de acero, por lo cual es posible mediante la micrografía resultado de ensayos, identificarlos y asignarles propiedades mecánicas sin recurrir directamente a ensayos normalizados de tensión o similares.

**Tabla 1 Propiedades mecánicas de aceros típicos.**

AISI numero	Procesando	Dureza Brinell h	Módulo de elasticidad E. Mpsi	Límite elástico S kpsi	Fuerza máxima S kpsi	% Reducción de área	Verdadera resistencia a la fractura o kpsi	Ductilidad de fractura verdadera	Exponente de resistencia a la deformación m
1045	Q & T 80°F	705	29	265T 300C 270	300	2	310T 420C	0.02	0.186
1045	Q & T 360°F	595	30	245	325	41	430/395	0.52	0.071
1045	Q & T 500°F	500	30	220	265	51	370/330	0.71	0.047
1045	Q & T 600°F	450	30	185	230	55	345/305	0-81	0.041
1045	Q & T 720°F	390	30	235T 275C 245	195	59	315/270	0-89	0.044
4142	Q & T 80°F	670	29	250	355	6	375	0.06	0.136
4142	Q & T 400°F	560	30	230	325	27	405/385	0.31	0.091
4142	Q & T 600°F	475	30	200	280	35	340/315	0.43	0.048
4142	Q & T 700°F	450	30	275T	255	42	320/290	0.54	0.043
4142	Q & T 840°F	380	30	270T	205	48	295/265	0.66	0.051
4142	Q & D 550°F	475	29	205C	295	20	310/300	0.22	0.101T 0.060C

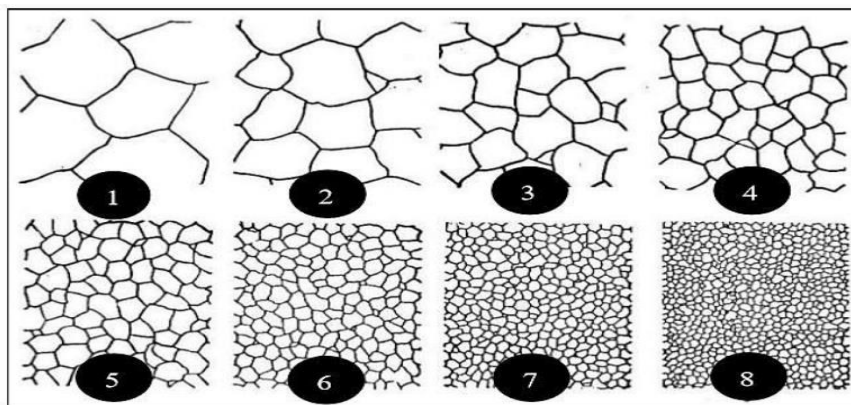
4142	Q & D 650°F	450	29	210T	280	37	330/305	0.46	0.016T 0.070C
4142	Q & D 800°F	400	29	175C	225	47	305/275	0.63	0.032T 0.085C

**Fuente 4 (Silvia & Idrovo, 2021)**

*Nota: Muestra la Propiedades mecánicas de aceros típicos.*

Para las observaciones micrográficas, se aplica el concepto de tamaño de grano. La figura 6 presenta los tamaños normalizados por ASTM.

**Figura 4 Tamaños de grano normalizados según ASTM.**

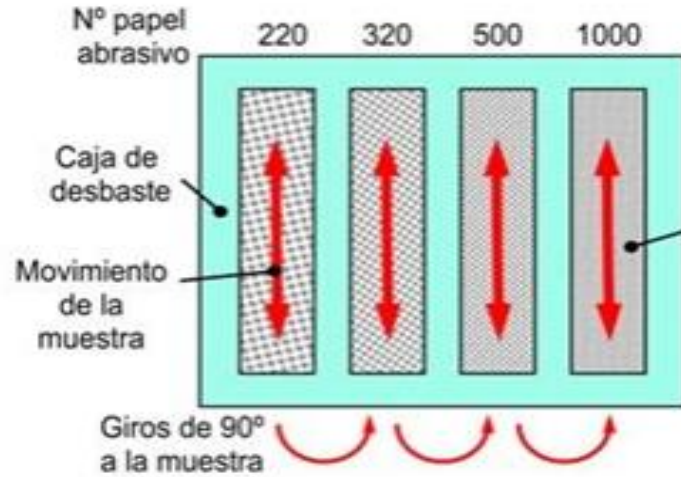


**Fuente 5 (Silvia & Idrovo, 2021)**

*Nota: Muestra los Tamaños de grano normalizados según ASTM.*

Un aspecto importante en el proceso de pulido es el referente a los movimientos de la superficie de la probeta en relación al papel o polvo de esmerilado o pulido. La figura 7 muestra los movimientos a realizar si se utilizan tiras de esmeril para pulir. En este caso los movimientos son alternativos en línea recta, iniciando una dirección como referente. Al pasar a la siguiente lija se gira la cara 90° sentido del reloj respecto a la dirección anterior y así sucesivamente.

Figura 5 Esmerilado con tiras. Movimientos alternos rectilíneos.

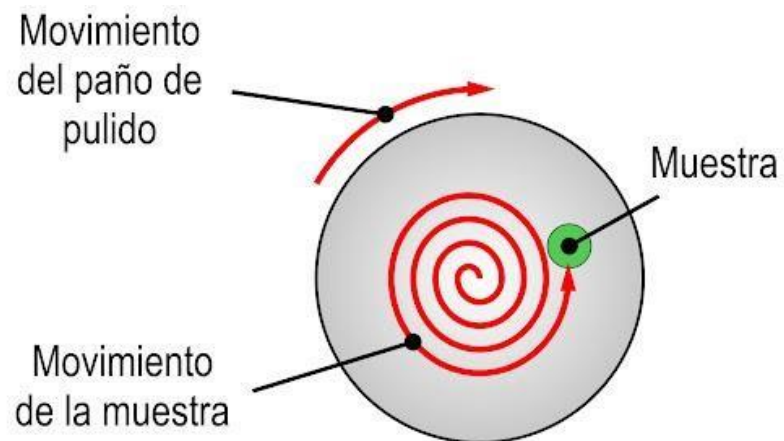


Fuente 6 (derematerialia.com, 2020)

*Nota: Muestra como es el Esmerilado con tiras. Movimientos alternos rectilíneos.*

Para el caso de utilizar discos los movimientos se definen en la figura 8.

Figura 6 Movimiento para esmerilado y pulido con disco.



Fuente 7 (Reigoza, 2017).

*Nota: Muestra el movimiento del esmerilado y pulido del disco.*



Para los propósitos de cálculo de esfuerzos se tienen las siguientes ecuaciones. Para la ecuación 1 se expresa el modelo para calcular el esfuerzo normal causado por flexión. La ecuación 2 expresa la ecuación para calcular los esfuerzos de corte causados por carga cortante directa.

2.1. Ecuación 1. Calculo para el esfuerzo normal causado por flexión.

$$\sigma = M*cf/I$$

2.2. Ecuación 2. Calculo de esfuerzos de corte causados por carga cortante directa.

$$T = F / Ac$$

Para el caso de esfuerzos combinados se aplica la teoría de energía máxima de distorsión para calcular el esfuerzo normal equivalente  $\sigma_e$ .

2.3. Ecuación 3. Calculo del esfuerzo normal equivalente.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3T^2}$$

Donde

$Ac$  = área sometida a corte

$\sigma$  = esfuerzo normal

$T$  = esfuerzo de corte

$F$  = fuerza de corte

$M$  = momento de flexión

$I$  = momento resistente de inercia

## 2.2. Bases Teóricas

Siendo la metalografía una herramienta esencial dentro de los procesos de la industria proporcionando información sobre la condición de un material para ser utilizado en la fabricación de componentes. Dentro de las pruebas metalográficas se muestra microscópicamente su estado y nos revela posibles tratamientos que serán utilizados en él. Teniendo en cuenta que un laboratorio de metalografía tiene como objetivo principal se enfoca en estudiar el metal y aleaciones; dicha maquina o pulidora metalográfica la cual hace parte de un conjunto de herramientas que ayudan a tal estudio.

Ahora bien, “la metalografía es la ciencia que estudia las características de la estructura microscópica en la superficie de un metal y en este procedimiento se determina parámetros en el tamaño de grano, la distribución de las fases y las formas que estas tienen entre los distintos átomos de hierro y carbono presentes en los metales para el estudio metalográfica del material, en base a este estudio se determina si un metal satisface las especificaciones técnicas que se requieran” (Silvia & Idrovo, 2021).

Así mismo, el proceso debe ser coherente cuando se conoce la ventajas que se tiene de realizarlo de forma correcta, además hay que saber bajo un proceso microscópico que la muestra no contenga ralladuras o imperfecciones, de esta forma al estudiar la resistencia de cada material e ir a la práctica sabremos que lo demostrado es real. Bajo la norma “estándar ASTM E3 describe métodos de muestreo y preparación con el fin de investigar temas como los metales metalográficos, su composición, procesamiento en frío y en caliente, mecanizado y examen de microestructuras afectadas por procesos como la soldadura” (laboratuar.com, 2021).

## 2.3. Revisión de pulidoras metalográficas comerciales.

Los siguientes son algunos equipos de pulidora metalográfica analizados. La figura 1 presenta un equipo Pulidora para muestras metalográficas marca CMS Metrology, modelo PG-1. El costo a fecha noviembre de 2021 en pesos colombianos es de \$ 7.251.169 C.O.P. (siete millones doscientos cincuenta y un mil ciento sesenta y nueve pesos, IVA incluido.

No incluye transporte. Garantía de un año contado a partir del día de la compra. (Marín, Javier, 2019).

**Figura 7 Pulidora comercial marca CMS.**



**Fuente 8 (cmsmetrology.jimdo.com, 2020).**

*Nota: Pulidora comercial marca CMS “diseñada después de recoger las sugerencias de muchos clientes. La PG-1 funciona de manera constante con un bajo nivel de ruido, resulta muy fácil su uso y mantenimiento” (cmsmetrology.jimdo.com, 2020).*

Las características técnicas definidas por el fabricante son.

Durante la preparación de muestras metalográficas, el pulido es primario. Después de pulir las muestras, se pueden obtener superficies tan brillantes como un espejo. La pulidora de muestras PG-1 fue diseñada después de recoger las sugerencias de muchos clientes.

La PG-1 funciona de manera constante con un bajo nivel de ruido, resulta muy fácil su uso y mantenimiento.

El tamaño del disco de pulido y la potencia de transmisión son más grandes que algunos otros productos en el mercado. La PG-1 se puede ajustar para trabajar el pulido a todo tipo de materiales.

Diámetro del disco de pulido y lijado: 230 mm Velocidad de la platina: 900 rpm, 1400rpm (a medida). La velocidad de rotación es fija para un equipo particular.

Electromotor: YS71160, 2kW 380V/220V 50Hz

Dimensión total: 325 × 325 × 320 mm

Peso: 14 Kg

La figura 2 presenta una pulidora de origen chino marca Weiyi. Las características técnicas definidas por el fabricante son mostradas en la tabla 1.

El costo de este equipo según el fabricante es de \$ usd 1.999 equivalente a \$ 7754121,00 o siete millones setecientos cincuenta y cuatro mil ciento veintiún pesos c.o.p. No incluye IVA ni transporte del equipo.

Existen muchos fabricantes de pulidoras metalográficas en diversos países con representación en Colombia. Por lo observado, la potencia ronda alrededor de 1 kW con velocidad de rotación del disco entre 50 y 1400 rpm. El valor de la velocidad de rotación del disco para la pulidora marca Weiyi, puede ajustarse manualmente en una pantalla digital, Tabla 1.

**Figura 8 Pulidora Weiyi unipol**



**Fuente 9 (directindustry.es, 2020)**

*Nota: “La operación sólo puede cambiar el disco de esmerilado y la tela del papel de lija, mostrando una mayor aplicabilidad” (directindustry.es, 2020).*

**Tabla 2 Características técnicas de pulidora Weiyi unipol – 1210.**

Modelo:	Máquina pulidora / pulidora metalográfica UNIPOL-1210
---------	---

Breve Introducción:	Máquina pulidora / pulidora metalográfica UNIPOL-1210. Se utiliza principalmente para el procesamiento y la fabricación de muestras metalográficas. El aspecto es hermoso, funciona de manera fiable, con poco ruido. Porque de 300mm (12 Pulgadas) La placa de pulido/pulido de diámetro, a la misma velocidad, puede alcanzar una alta velocidad de línea, mejorada la eficiencia de fabricación de las muestras metalográficas. Las almohadillas de aluminio de fabricación, excelente rigidez.		
Producto EL uso de:	Moler y pulir muestras como metal, cristal, cerámica, vidrio, Roca, Materiales refractarios ¿?		
Característica Principal:	Continua de la velocidad cambio pantalla digital		
Técnica Parámetro:	1. Velocidad de Rotación: 50-60 RPM. 2. Diámetro de Pulido de la placa: 300mm. 3. Potencia motor principal: 200W		
Especificación:	Tamaño 480x620x390mm Peso: 36Kg		
Accesorios Estándar:	1	Almohadilla de pulido	Casa uno 1 pcs
	2	Hoja magnética	2 pcs
	3	Arena de Papel	8 pcs
	4	De pasta	1 pcs
	5	Hoja de Pulido	5 pcs

Fuente 10 (directindustry.es, 2020)

*Nota: Muestra las Características técnicas de pulidora Weiyi unipol – 1210 (directindustry.es, 2020).*

El diámetro del disco para realizar el pulido oscila entre 200 y 300 mm. Además, poseen un sistema de refrigeración y limpieza para el pulido que es de tipo flujo continuo, asegurado por bomba centrífuga de pequeña capacidad (1 a 2 litros por minuto).

En estos equipos se observa que las variables resultantes del proceso de pulido son el acabado superficial al espejo, la temperatura del proceso, ruido y el tiempo para obtener la probeta (Arias, 2012). Ello resulta de manipular variables de control como: velocidad de corte, movimiento relativo material abrasivo – superficie, aplicación de refrigerante, fuerza de contacto, material procesado, posicionado relativo, vibraciones, entre otros. Por ello, en el diseño se incluyen componentes que permiten controlar y parametrizar las variables de

control para asegurar tener las variables de respuesta en rangos aceptables para realizar el pulido al espejo (Norton, 2011).

#### 2.4. Estado del arte en pulidoras metalográficas.

Para el propósito del proyecto en relación al diseño y construcción de pulidoras metalográficas, se han revisado los siguientes trabajos de grado.

- El trabajo de grado “Montadora de probetas en baquelita y pulidoras diseño y construcción”, de José Ricardo Riveros Colorado de la Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, año 1984. El diseño resulta en un equipo de 2 discos. En uno se realiza el proceso de desbaste inicial y en el otro disco el pulido final. Actualmente el proceso puede realizarse con un disco al cual se colocan diversos paños para realizar el desbaste y pulido final. La tabla 2 presenta información básica sobre el montaje de la probeta en algún tipo de polímero (Camargo & Reyes, 2018).

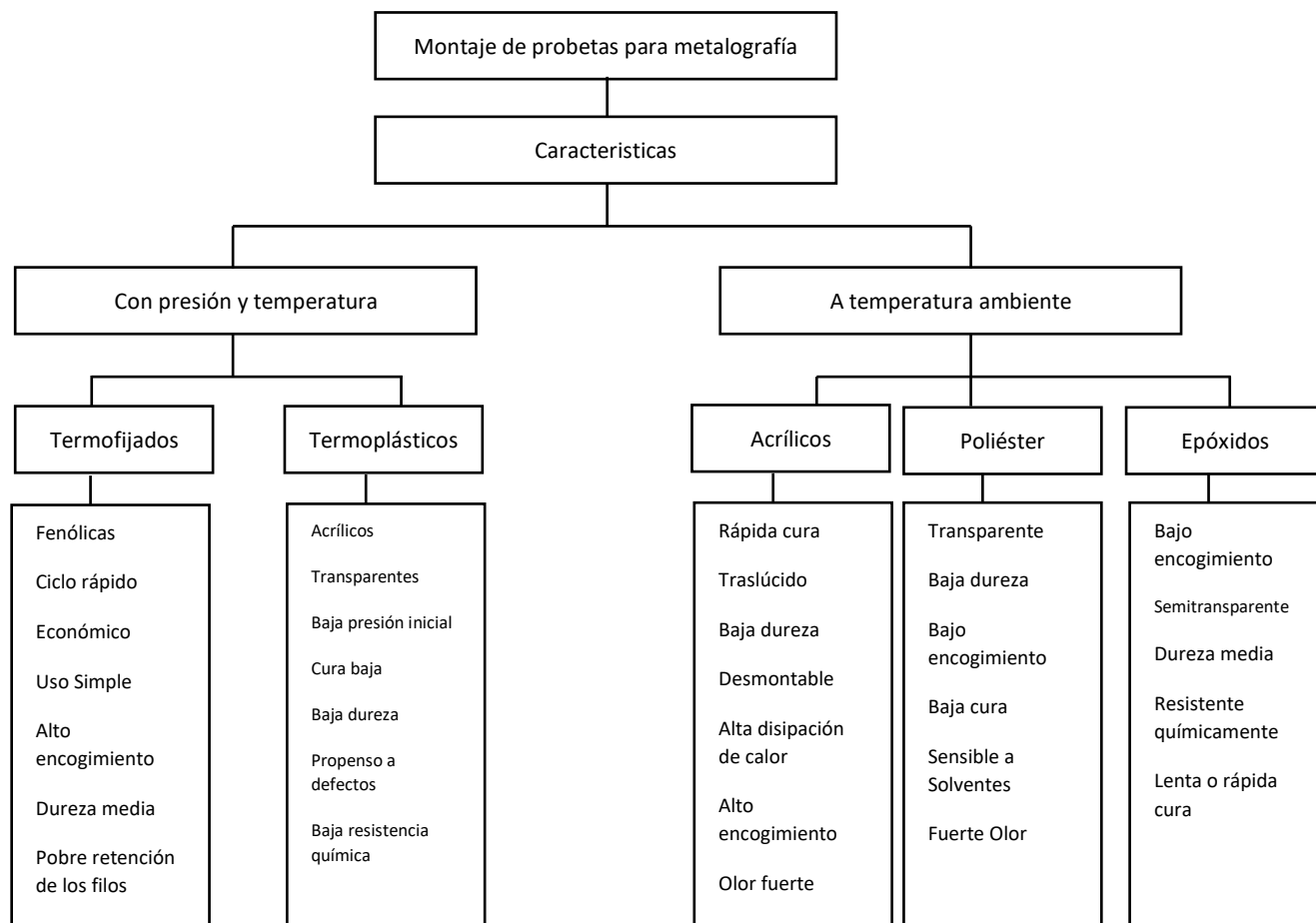
El autor sugiere una táctica de movimiento probeta – disco para asegurar el pulido al espejo en el menor tiempo posible. Estos pasos resumidos aquí son:

1. Corte de la probeta metálica con segueta o similar con cuidado de tener perpendicularidad de la cara con el eje geométrico de la probeta.
2. Inserción de la probeta en el polímero sea manualmente o con equipo, asegurando la perpendicularidad de la cara de la probeta a pulir con el eje geométrico del conjunto insertado.

3. Realizar el acabado basto sostenido la probeta en proceso de pulido fuertemente con la mano girando en círculos contrarios al sentido de giro del disco para asegurar el desbaste uniforme de la cara pulida.
4. Hacer el pulido fino manualmente con lijas desde número 300 hasta 600, con tiras. Para pasar de un número de lija a otro girar  $90^\circ$  para asegurar pulido sin rayas en la superficie al espejo.
5. El pulido final se realiza en el disco de acabado con polvo alumen. Expresa que el tiempo para el acabado final depende de la habilidad del pulidor.



**Tabla 3 Técnicas para montar probetas metálicas.**



Fuente 11 (neurtek.com, 2020)

*Nota: Muestra las Técnicas para montar probetas metálicas.*

- El proyecto de grado “Diseño y construcción de una pulidora metalográfica para el laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad santo tomas seccional Tunja”, de los señores Yordan Andrey Portilla Guerrero Y Cristian Danilo Pinzón Coy, De la Universidad Santo Tomas sede Tunja, año 2018. En este trabajo realizan un modelo de cálculo para el sistema de refrigeración que servirá de guía al actual proyecto, teniendo en cuenta que derivaron datos de forma experimental, información valiosa a la hora de diseñar este tipo de sistema. La tabla 3, presenta el tiempo de descarga para

un litro de agua según la cantidad de gotas por segundo (la refrigeración se aplica por goteo). En promedio se tiene un flujo de 1 litro / hora. Con este referente se tiene la información para seleccionar el sistema de flujo para aplicar el refrigerante durante el pulido de las probetas metalográficas (Cardenas & Carrera, 2016).

El equipo desarrollado es de dos discos. El cálculo para la potencia del motor propulsor es de 425 W, teniendo en cuenta que son dos ejes a mover, aunque se asume que solo debe utilizarse un disco porque no se duplica el motor calculado ni se dobla el valor de la potencia calculada para el eje de un disco. También definen de manera experimental una fuerza máxima sobre el disco de 80 N, obtenida de manera experimental según expresan, asegurando que el disco se mantenga en la zona de deformación elástica (Groover, 2007).

**Tabla 4 Goteo versus tiempo.**

Unidades Gotas por segundo	Gotas / minuto	Tiempo
5 gotas en un segundo	300 gotas/minuto	1 hora, 7 minutos y 6 segundos
6 gotas en un segundo	360 gotas/minuto	55 minutos y 55 segundos
7 gotas en un segundo	420 gotas/minuto	48 minutos y 1 segundo

Fuente 12 (derematerialia.com, 2020).

*Nota: Muestra el Goteo versus tiempo.*

En el diseño y construcción de una pulidora de probetas con paño a implementar en el laboratorio de metalografía de la Universidad Politécnica Salesiana – campus Kennedy, de Jorge Alejandro Cárdenas Espinoza y Julio Cesar Carrera Romero, año 2015. “Presentan la

tabla 4, con datos e información relevante para el diseño de estos equipos según recomendaciones ASTM” (Daza, 2019).

**Tabla 5 Parámetros para diseñar pulidoras metalográficas.**

Superficie	Lubricante	Tipo / tamaño de abrasivo ANSI (FEPA)	Tiempo de Secado	Fuerza4 N (Bf)	RPM de la platina	Rotación
Rectificado plano						
Pape / Piedra	Agua	120-320 (P120 - 400) grit SIC / AI 203	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	COD
Propósitos de molienda						
Papel	Agua	240 (P220) grit SIC / AI 203	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Papel	Agua	320 (P500) grit SIC / AI 203	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Papel	Agua	600 (P1200) grit SIC	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Pulido áspero Paño con poca o ninguna pelusa	Lubricante Compatible	6 $\mu$ m diamond	120-300	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Gamuza sintética Final Polihing Med / paño de siesta alta	Lubricante Compatible	1 $\mu$ m diamond or 0,05m alumina	60-120	10-20 (3-5)	100-150 C	CO
	Agua		30-60	10-20 (3-5)	100-150 C	Contra F

**Fuente 13 (Silvia & Idrovo, 2021).**

*Nota: Muestra los Parámetros para diseñar pulidoras metalográficas.*

- El trabajo de grado “estudio de sistemas de pulido de probetas metalográficas y su incidencia en la calidad de pulido en el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica de la universidad técnica de Ambato”, de Christian Renato Merino Freir, Ecuador, año 2014. En relación al ataque químico necesario para revelar la micro estructura en probetas metálicas, que se presenta en la tabla 3 como guía (Galindo & Rodriguez, 2017).

**Tabla 6 Recomendaciones sobre reactivos.**

<b>Reactivo de ataque</b>	<b>Composición</b>	<b>Usos</b>
Ácido Nítrico (Ntal)	Ácido Nítrico 5 cc Alcohol etílico 95 cc	Aceros y hierros
Ácido Pírico (Pical)	Ácido pírico 4gm Alcohol etílico 100 ml	Aceros de baja aleación
Cloruro férrico y ácido hidroclicóric	Cloruro férrico 5gm Acido hidroclicóric 50 ml Agua 100 ml	Aceros auténticos al níquel y aceros inoxidable
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio 10 gm Agua 90 ml	Cobre, latón, bronce, aluminio, níquel, plata
Ácido hidroclicóric	Acido hidroclicóric 0.5 ml Agua 99.5 ml	Aluminio y sus aleaciones

**Fuente 14 (kupdf.net, 2019).**

*Nota: Muestra las recomendaciones que hay que tener sobre los reactivos.*

La tabla 6, presenta datos relevantes sobre el valor del coeficiente de fricción, obtenidos experimentalmente al presionar con una fuerza de contacto la probeta y el disco con diversos grados de lija.

**Tabla 7 Valores experimentales factor de fricción disco – probeta.**

	No.	Factor de Fricción (Método Actual)	Factor de Fricción (Método Propuesto)
Pruebas	1	0.286	0.249
	2	0.287	0.268
	3	0.325	0.306
	4	0.384	0.231
	5	0.404	0.249
	6	0.249	0.268
	7	0.268	0.213
	8	0.325	0.268
	9	0.287	0.268
	10	0.231	0.268
	11	0.249	0.306
	12	0.268	0.267
	13	0.213	0.286
	14	0.268	0.249
	15	0.287	0.305

Fuente 15 (kupdf.net, 2019).

*Nota: Muestra los datos relevantes sobre el valor del coeficiente de fricción.*

## 3. Capítulo III. Metodología

### 3.1. Tipo de investigación.

Según el planteamiento de los objetivos, esta investigación presenta una índole de tipo descriptiva - explicativa; *“la investigación descriptiva, comprende la colección de datos para probar hipótesis o responder a preguntas concernientes a situación corriente de los sujetos del estudio, un estudio descriptivo determina e informa los modos de ser de los objetos”* (Ñaupas & Mejía, 2014), lo que en este caso implica definir y describir las diversas estructuras de equipos para realizar el pulido de probetas metalográficas. La parte explicativa se relaciona con el proceso de modelar los cálculos, explicando su origen, conexiones y resultados, según las leyes de equilibrio, estático, dinámico y energético.

### 3.2. Plan de acción para alcanzar los objetivos específicos.

Se define el siguiente conjunto de actividades, necesarias para conseguir de modo lógico y secuencial cada uno de los objetivos específicos, definidas por fases.

#### 3.2.1. Fase 1

El objetivo 1 y sus actividades correspondientes son.

- Caracterizar el estado del arte sobre pulidoras metalográficas con el propósito de identificar los requerimientos tecnológicos del equipo y generar las alternativas de diseño bajo lineamientos de la norma ASTM E- 03.

Las actividades pertinentes son:

- Revisión de catálogos de pulidoras metalográficas comerciales para identificar características técnicas.
- Estudio de trabajos de grado sobre pulidoras metalográficas para identificar el proceso de diseño, construcción y puesta a punto.
- Definición de tipos de pulidoras, sus características de diseño y capacidad de pulido metalográfico.
- Determinación de requerimientos para la pulidora a desarrollar.

### 3.2.2. Fase 2

- Seleccionar la opción de pulidora metalográfica mediante aplicar una matriz de comparación y desarrollar las fases de diseño conceptual, básico y de detalle, para establecer la morfología del equipo en relación a su función técnica y requerimientos.

Las actividades pertinentes son:

- Definición de los factores técnicos para comparar las opciones de pulidora definidas.
- Aplicación de una matriz de comparación y selección de la configuración a desarrollar.
- Determinación de la estructura funcional de la pulidora.
- Establecer la configuración conceptual de la pulidora diseñar.

- Definición de características técnicas de los componentes.
- Aplicación de cálculos para definir los componentes finales del equipo.
- Dibujo en SolidWorks de la pulidora a construir.

### 3.2.3. Fase 3

- Elaborar un detallado de costos del equipo para compararlo con equipos comerciales equivalentes.

Elaboración de listado de partes del equipo.

Definición de piezas a comprar

Definición de piezas a fabricar.

Cotización de precios para los componentes.

Consolidación de costo del equipo.

Compra de componentes de la pulidora a fabricar.

Comparación de costo de la pulidora desarrollada y de equipos comerciales equivalentes.

### 3.2.4. Fase 4

- Construir y puesta en marcha de la pulidora metalográfica.

Construcción del chasis o estructura soporte del equipo.

Instalación de sistema de potencia del equipo.

Instalación de sistema eléctrico y controles del equipo



Prueba manual de movimiento de las partes de potencia (motor – sistema de acople y parte funcional).

Prueba de funcionamiento electromecánico del equipo.

Construcción de probetas metalográficas.

Realización de pulido al espejo de probetas fabricadas.

#### 3.2.5. Fase 5

- Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la pulidora metalográfica.

Realización de una guía para conectar, encender y utilizar el equipo para pulido al espejo de superficies de las probetas a atacar químicamente.

Definición de las actividades de limpieza y ajustes del equipo.

Elaboración de documento final del equipo.

## **4. Capítulo IV. Resultados.**

### **4.1. Caracterizar el estado del arte sobre pulidoras metalográficas con el propósito de identificar los requerimientos tecnológicos del equipo y generar las alternativas de diseño bajo lineamientos de la norma ASTM E- 03.**

Los resultados son: definición de la norma ASTM E3-11 y los requerimientos funcionales de la pulidora a implementar.

En el capítulo anterior se desarrollan los aspectos relacionados con el estado del arte y los equipos comerciales tipo pulidora metalográfica disponibles. A continuación, se resumen detalles de la norma ASTM E03 – 11. Posteriormente se define los requerimientos funcionales para el equipo a implementar.

#### 4.1.1. Norma ASTM E03 – 11 (Año 2003 – revisión 2011).

Para obtener micrografías de calidad como las mostradas en las figuras 3 a 5, es necesario seguir un procedimiento normalizado. Una norma de referencia por su influencia técnica en Colombia, referente al pulido al espejo de superficies de probetas a observar en el

microscopio es la ASTM (American Stándar Testing Materials) E03 – 11. A continuación se expresan los aspectos relevantes de la norma.

#### 4.1.2. Selección de la muestra metalográfica.

La selección de la muestra es muy importante debido a que esta es representativa del material a examinar. Existen 3 tipos de estudio en metalografía.

1. Generales
2. De investigación
3. De fallas

Según el tipo de estudio se determinará la localización de la muestra a examinar.

#### 4.1.3. Tipo de sección que será examinada

Fundición: Corte perpendicular

Metales trabajados al calor o al frío: cortes transversales y longitudinales

Alambres y pequeños círculos: secciones a través de centro.

#### 4.1.4. Tamaño de muestra metalográfica

Por conveniencia, no son mayores de 12 a 25 mm cuadrados, o aproximadamente de 12 a 25 mm de diámetro si el material es cilíndrico. La altura del material no debe ser mayor para ser manejado convenientemente.

#### 4.1.5. Corte de muestras

Al cortar la muestra del cuerpo principal del material, se debe tener cuidado de no alterar la estructura del material.

Aserruchar de manera manual o automática, con un lubricante es fácil, rápido y relativamente frío. Esta técnica puede ser utilizada en materiales con dureza hasta 350 HV.

Una cuchilla de corte abrasivo producirá una superficie suave siempre lista para la molienda. La selección de la hoja de corte, el lubricante, las condiciones de enfriamiento y el grado de dureza del material a cortar tendrán influencia en la calidad del corte. Generalmente materiales blandos son cortados con una hoja dura y los materiales duros con una hoja blanda. En la tabla 8 se muestran recomendaciones del tipo de hoja para corte de diferentes materiales.

#### 4.1.6. Limpieza

Durante la preparación es importante que todas las grasas, aceites, residuos de los cortes deben ser removidos por un solvente orgánico. La limpieza ultrasónica puede ser efectiva para remover los últimos rastros de residuos en la superficie de la muestra. Cualquier metal de revestimiento que interfiera con el grabado de la base de metal debe ser removido. En la tabla 8 se muestran las soluciones para la limpieza de la muestra.

**Tabla 8 Recomendaciones para el corte de probetas según tipo de hojas.**

<b>Dureza HV</b>	<b>Materiales</b>	<b>Abrasivo</b>	<b>Vínculo</b>
hasta 300	No ferrosos (AL, CU)	SiC	P or R
hasta 400	No ferrosos (TI)	SiC	P or R
hasta 400	ferroso suave	AL2O3	P or R
hasta 500	medio ferroso blando	AL2O3	P or R
hasta 600	ferroso medio duro	AL2O3	P or R
hasta 700	ferroso duro	AL2O3	P or R&R
hasta 800	Ferroso muy duro	AL2O3	P or R&R
>800	Extremadamente ferroso duro	CBN	P or M

cerámica más quebradiza	diamond	P or M
cerámica más resistente	diamond	M

P: fenólico

R: caucho

**Fuente 16 (demaquinasyherramientas.com, 2018)**

*Nota: Muestra las Recomendaciones para el corte de probetas según tipo de hojas.*

#### 4.1.7. Montaje de la muestra

Hay ocasiones en las que es ventajoso montar la muestra para el esmerilado y el pulido.

Montar muestra es usualmente efectuado en muestras pequeñas, frágiles y de forma amorfa.

#### 4.1.8. Tipos de montaje

- Mecánico

Muestras en forma de hojas o tiras podrán ser montados en la unión de varios ejemplares en un paquete manteniéndolos unidos por pernos.

- Plástico

La muestra es rodeada de plástico para protegerla de daño y proveer una forma uniforme.

Existen 2 tipos de montaje plástico:

Tabla 9 Materiales para realizar limpieza en superficies de probetas.

HCl 6N más 2 g / L Hexametilen tetramina	Sumergir la muestra en solución durante 1 a 15 min. Bueno para aceros. La acción de limpieza se puede mejorar con un cepillado ligero o con períodos breves (5 s) en un limpiador ultrasónico.
3 ml de HCl 4 ml de inhibidor de 2-butino-1, 4 diol 50 ml de agua	Utilice una solución nueva a temperatura ambiente. Úselo en un limpiador ultrasónico durante aproximadamente 30 segundos.
49 ml de agua 49 ml de HCl 2 ml de inhibidor C de Rodine- 50	Lave la muestra en alcohol durante 2 minutos en un limpiador ultrasónico antes y después de un período de limpieza ultrasónica de 2 minutos con el baño ácido inhibido.
6 g de cianuro de sodio 6 g de sulfito de sodio 100 ml de agua destilada	Solución electrolítica reoval de óxido. Úselo bajo una capucha con cuidado. Utilice una densidad de corriente de 100 mA / cm <sup>2</sup> durante hasta 15 min.
10 g de citrato de amoniaco	Use una solución calentada a 30 ° C (86 ° F)
70 ml de ácido ortofosfórico 32 g de ácido crómico 130 ml de agua	Recomendado para eliminar óxidos de fracturas de aleaciones de aluminio (algunas fuentes afirman que solo se deben usar solventes orgánicos).

Fuente 17 (guialab.com.ar, 2020).

*Nota: Muestra los Materiales para realizar limpieza en superficies de probetas. “El criterio más seguro de limpieza se logra humedeciendo la superficie de manera uniforme con agua destilada”* (guialab.com.ar, 2020).

Por compresión: hay 4 tipos de plástico para este tipo de montaje, se pueden observar en la tabla 2. Estos necesitan una prensa de montaje que les proporcione calor (140-180°C) y una fuerza (27-30 MPa)

- Plástico moldeable: estos plásticos son preparados a temperatura ambiente algunos necesitaran calor externo o presión en orden de curarse. Estas resinas consisten en 2 o más componentes que deben mezclarse, existen 4 tipos de plásticos moldeables mostrados en la

tabla 3. Los moldes de plástico moldeables son simples copas las cuales contiene la mezcla hasta que se cura.

#### 4.1.9. Esmerilado y pulido

Muchas aleaciones y metales pueden ser preparados usando una similar secuencia de esmerilado y pulido. La gran diferencia estará en el pulido final.

#### 4.1.10. Esmerilado basto

Este puede ser efectuado en un número de formas, desde frotar la muestra con un papel de abrasivo hasta el uso de equipos automáticos. El número del tamaño del abrasivo esta expresado en la tabla 4. El esmerilado debe iniciar con el tamaño de abrasivo más fino, capaz de aplanar la superficie y remover los efectos de operaciones anteriores. El esmerilado consiste en 2 partes planar (rudo) y fino.

- El esmerilado planar o rudo [número de arena 240 o gruesa] puede ser efectuada en bandas, ruedas giratorias o piedras. En algunas ocasiones abrasivos de diamante son utilizados.

El esmerilado planar es utilizado para:

- Aplanar una zona irregular del corte.
- Remover secciones dañadas.
- Nivelar la cantidad de superficie.

#### 4.1.11. Esmerilado fino

En el esmerilado fino puede ocurrir un daño y este tiene que ser removido por el esmerilado fino. Se usa un papel abrasivo fino usando agua para lavar residuos del esmerilado y también funciona como un refrigerante.

#### 4.1.12. Pulido

Este se distingue del esmerilado mediante el uso de un abrasivo de pérdida ( $\leq 6\mu\text{m}$ ) utilizándolo en una superficie adecuadamente lubricada. La elección del abrasivo, lubricante, y de pulir la superficie es a menudo específica para el metal y el objeto de la investigación.

El pulido se puede dividir en 2 etapas: rudo y fino (final)

- El pulido rudo es a menudo suficiente para las evaluaciones de rutina como la dureza micro indentación y tamaño de grano.
- Cuando el pulido fino es requerido, puede ser efectuado con polvo de diamante, una suspensión de óxido de alúmina o ambos. La elección del abrasivo del pulido final y su tamaño es determinada por la dureza de la muestra



**Tabla 9 Datos para esmerilado y pulido.**

Superficie	Lubricante	Tipo / tamaño de abrasivo ANSI (FEPA)	Tiempo de Secado	Fuerza4 N (Bf)	RPM de la platina	Rotación
Rectificado plano						
Pape / Piedra	Agua	120-320 (P120 - 400) grit SIC / AI 203	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	COD
Propósitos de molienda						
Papel	Agua	240 (P220) grit SIC / AI 203	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Papel	Agua	320 (P500) grit SIC / AI 203	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Papel	Agua	600 (P1200) grit SIC	15-45	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Pulido áspero Paño con poca o ninguna pelusa	Lubricante Compatible	6 $\mu$ m diamond	120-300	20-30 (5-8)	200-300 C	CO
Gamuza sintética Final Polihing Med / paño de siesta alta	Lubricante Compatible	1 $\mu$ m diamond or 0,05m alumina	60-120	10-20 (3-5)	100-150 C	CO
	Agua		30-60	10-20 (3-5)	100-150 C	Contra F

A. Fuerza por montaje de 30 mm (1 1/4) de diámetro.

B. Los cabezales de potencia generalmente giran entre 25 y 150 rpm.

C. Los trituradores de piedra de alta velocidad generalmente giran a más de 1000 rpm.

D. Rotación complementaria, superficie y espécimen rotan en la misma dirección.

E. Paso opcional.

Contrarrotación, la superficie y la muestra giran en direcciones opuestas.

**Fuente 18 (struers.com, 2021).**

*Nota: “La preparación mecánica es el método más común de preparación metalográfica de muestras para el examen microscópico. Las partículas abrasivas se utilizan en los sucesivos pasos de refinamiento para eliminar el material de la muestra, hasta lograr el resultado requerido. En términos generales, este proceso se puede dividir en esmerilado y pulido” (struers.com, 2021).*

#### 4.1.13. Definición de requerimientos funcionales para la pulidora metalográfica.

La tabla 11, describe los requerimientos técnicos definidos en el proyecto para la pulidora a implementar.

**Tabla 10 Lista de requerimientos técnicos para la pulidora metalográfica.**

<p><b>Requerimientos de desempeño</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La vida útil de rodamientos debe ser al menos de 4000 horas.</li> <li>2. La vida útil de las correas debe ser al menos de 6000 horas.</li> <li>3. La vida útil de engranajes si se aplican deben ser de al menos 15.000 horas.</li> <li>4. Los niveles de ruido deben ser mínimos y no superar los 40 decibeles.</li> <li>5. La vida útil de árboles para transmitir potencia mecánica debe ser infinita ante la fatiga</li> <li>6. El peso debe ser menor a 40 kg para facilitar movilización por una persona</li> <li>7. Las medidas deben estar en un volumen máximo de 40 x 40 x 40 cm.</li> </ol>
<p><b>Requerimientos de fabricación</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Las piezas deben poder fabricarse localmente con materiales y procesos metal mecánicos disponibles.</li> <li>9. Las partes sometidas a desgaste deben poder cambiarse fácilmente y localizar su estado operativo si están dañadas.</li> <li>10. Debe minimizarse el número de piezas a fabricar. Se priorizan componentes estandarizados comerciales.</li> <li>11. Los cables eléctricos deben ser de tipo encauchado.</li> <li>12. El diámetro de los cables debe respetar estándares eléctricos de amperaje nominal máximo permitido.</li> <li>13. Los ajustes deben ser amplios para facilitar el ensamble.</li> </ol>
<p><b>Requerimientos de operación</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>14. Debe operar con 110 voltios corriente alterna de 50 / 60 Hz.</li> <li>15. Debe poseer luz roja que encienda al conectar a la toma de energía eléctrica</li> <li>16. Los controles del motor eléctrico deben permitir encenderlo y pagarlo según el tipo pulsador.</li> <li>17. Debe poseer in interruptor maestro para cortar o activar la energía eléctrica.</li> </ol>

18. Debe poseer fusible eléctrico para controlar sobrecargas de voltaje o corriente eléctrica.
19. Se pule una probeta por vez, esto para garantizar máxima calidad y seguridad en las operaciones de pulido.

**Fuente 19 (neurtek.com, 2020).**

*Nota: “Muestra la Lista de requerimientos técnicos para la pulidora metalográfica, teniendo en cuenta que La preparación de la muestra o probeta consiste, en general, en obtener primero una superficie plana y semipulida, terminando con un pulido fino. El final de la operación es la obtención de una superficie especular para después de realizar un ataque químico poder observarla al microscopio” (neurtek.com, 2020).*

#### **4.2. Seleccionar la opción de pulidora metalográfica mediante aplicar una matriz de comparación y desarrollar las fases de diseño conceptual, básico y de detalle, para establecer la morfología del equipo en relación a su función técnica y requerimientos.**

El resultado es definir los detalles de los componentes mecánicos y eléctricos de la pulidora metalográfica después de aplicar las fases de diseño conceptual, básico y de detalle.

A continuación, se definen los resultados que aplican a este objetivo al desarrollar las fases de diseño conceptual, básico y de detalle. El diseño conceptual entrega la estructura conceptual de la pulidora. La fase de diseño básico entrega las características físicas para los componentes de la estructura conceptual y la fase de detalle define los cálculos para definir geometrías, materiales y conexiones.

#### 4.2.1. Fase de diseño conceptual.

Al analizar los equipos comerciales disponibles y los trabajos de grado revisados, en la figura 6.1, se identifican 2 grandes tipos de procesos y equipos de esmerilado y pulido, según el movimiento entre superficie de la probeta y elemento de lijado, estos son: movimientos rectilíneos y movimientos circulares. Esto deriva en pulidoras de cinta y pulidoras de disco.

**Figura 10 Pulidora de cinta y pulidora de disco.**

##### a. Pulidora de cinta



##### b. Pulidora de disco



**Fuente 20 (belltec.com.co, 2020).**

*Nota: "En el caso de las pulidoras su uso está destinado a pulir materiales livianos como madera o plástico, pero también a dar acabados finos y brillantes a superficies de metal o de otra índole. ... Por otro lado, las amoladoras se pueden usar para pulido grueso, cepillar, desbastar e incluso cortar metales."* (belltec.com.co, 2020).

En la tabla 12, realiza un comparativo entre las 2 opciones para seleccionar el tipo a desarrollar en el proyecto. Los factores de comparación se escalan desde el valor 1 (menor peso) hasta 5 (mayor peso)

Sin embargo, la opción con mayor puntaje será la seleccionada para implementar. La opción seleccionada es la de disco. Para el factor facilidad para cambiar papel de lijado, es claro

que en el caso rectilíneo este debe ser una cinta tipo sinfín más difícil de quitar y colocar con un papel de lija en forma de disco. Para el factor velocidad una cinta sinfín de movimiento rectilíneo posee una velocidad constante, pero si se requiere bajarla o elevarla debería regularse la velocidad del motor (Gómez & Gamba, 2017). Para el caso del disco, este puede rotar de manera uniforme, pero la velocidad tangencial o de corte cambia según el radio de contacto, el cual para un área es variable y no puede asegurarse velocidad uniforme, por esto el mejor puntaje es para la cinta sinfín. Sin embargo, para el caso del disco, la experiencia indica que aplicar movimientos como lo presenta la figura 8, asegura buena calidad de los procesos de esmerilado y pulido.

No se consideran factores de costos, tamaños, pesos y similares, porque existen equipos comerciales de ambos tipos que son bastante similares para estos factores.

**Tabla 11 Matriz para seleccionar entre pulidora de cinta y de disco**

Factor de comparación	Alternativa pulidora de cinta	Alternativa pulidora de disco
-----------------------	----------------------------------	----------------------------------

Facilidad para cambiar papel de lijado	3	5
Control para velocidad constante de lijado	5	4
Estabilidad ante vibraciones	3	5
Facilidad para la construcción y ensamble	3	5
Puntaje final	14	19 OPCION GANADORA

**Fuente 21** Elaboración Propia

*Nota: Definido el diseño según pulidora de disco, ahora debe definirse entre utilizar uno o dos discos, dado que existen comercialmente estas dos variantes. La tabla 12 presenta el proceso de comparación para decidir entre estas opciones.*

Cabe resaltar que los factores de comparación se escalan desde el valor 1 hasta el 5. En la tabla 13, para el caso de costo se referencian los precios comerciales de una u otra opción. Evidentemente, la pulidora de dos discos al ser más compleja tenido mayor numero y variedad de piezas define un mayor costo comparativo. Para el factor mantenimiento se define algo similar a lo anterior. Para el caso de la seguridad, se define que el control de la pulidora de dos discos es mayor al poseer interruptores de bloqueo y proximidad necesarios para asegurar que un solo disco este operativo, impidiendo que dos personas utilicen el equipo simultáneamente (Llumiquinga & Quispe, 2016).

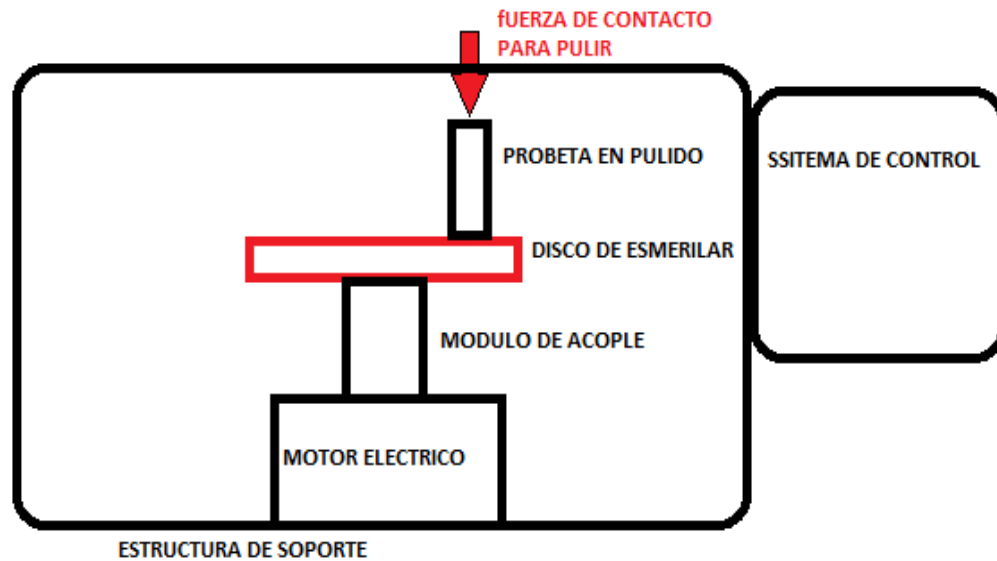
**Tabla 12 Matriz de comparación entre pulidora de uno o dos discos.**

Factor de comparación	Alternativa pulidora de un disco	Alternativa pulidora de dos discos
Costo	5	3
Mantenimiento	5	4
Seguridad	5	4
Tamaño	5	4
Facilidad para la fabricación	4	3
<b>PUNTAJE FINAL</b>	24	18
	<b>OPCION GANADORA</b>	

**Fuente 22 Elaboración Propia**

*Nota: Habiendo definido desarrollar una pulidora de un disco, la figura 11, define la estructura funcional de este equipo, teniendo en cuenta lo observado en los equipos comerciales y los trabajos de grado revisados. Esto representa el concepto estándar de diseño para estos equipos.*

Figura 11 Estructura funcional para pulidora metalográfica.



Fuente 23 (Merino, 2016)

*Nota: El componente de soporte o chasis se construye a medida de los componentes de la pulidora por lo cual es el último en diseñarse.*

Dado que debe rotar el disco de pulir, se requiere un motor eléctrico y un sistema de acople sea por engranajes, poleas – correas o estrellas – cadena. Para encender o apagar se define aplicar botones del tipo pulsado para este tipo de control en el accionamiento del motor (Merino, 2016). Además, debe fabricarse una cubierta en lámina metálica para cubrir los componentes internos, especialmente las partes móviles, las cuales representan fuente de peligro si estuvieran expuestas al contacto físico con partes del cuerpo, específicamente dedos y mano de una persona.








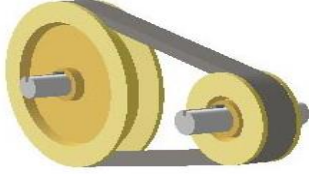
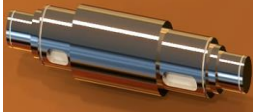



#### 4.2.2. Fase de diseño básico.






La fase de diseño básico que ahora se aplica permite identificar los componentes físicos del equipo según el esquema funcional de la figura 11. La tabla 14, presenta el análisis para esta fase. La columna en la mano derecha indica los parámetros de cálculo para los componentes del equipo. Sus características específicas se definen en la fase siguiente que corresponde al diseño de detalle (Auria & Ibañez, 2000).

**Tabla 13 Desarrollo de la fase básica del diseño para la pulidora**

Componente / Descripción	función	opciones	selección	Parámetros de cálculos
Estructura soporte / Es un armazón fabricado a la medida de las demás piezas. Se fabrica en perfil estructural soldado y/o atornillado.	Ubicar y posicionar cada pieza del equipo, permitiendo su fijación o movilidad según sea requerido	Fabricar con tubería circular Fabricar con tubería cuadrada Fabricar con perfil estructural. Ángulos / canales.  Esqueleto soporte  Cubierta de componentes internos	Perfil estructural en L por asegurar mejor penetración en la soldadura	Ancho y espesor del perfil Material del perfil acero A 36 Las medidas finales se determinarán posterior a determinar los componentes del tren de potencia mecánica

<p>Motor eléctrico / Debe ser de corriente alterna a 110 voltios con control de la velocidad</p>	<p>Entrega la potencia mecánica rotacional al disco de pulido</p>	 		<p>Torque Velocidad rotacional Potencia mecánica</p>
<p>Sistema de acople mecánico entre moto y disco</p>	<p>Adaptar rpm y par del motor a la carga</p>	<p>Acople por piñones cónicos</p>  <p>Por sinfín – corona</p>  <p>Estrellas- cadena</p>  <p>Poleas – correa</p>	<p>Poleas -correa</p>	<p>Tipo de poleas y correas Diámetros de polea Vida útil de la correa Tamaño de correa</p>

				
<p>Eje motriz</p> <p>Es un eje circular apoyado en 2 chumaceras con rodamientos que soporta el disco y demás elementos de potencia mecánica</p>	<p>Soportar el disco para realizar el pulido</p>	  	<p>Árbol de diámetro uniforme</p> <p>La razón básica es la facilidad para el mecanizado y el bajo costo correspondiente</p>	<p>Material</p> <p>Geometría (diámetros y largos)</p> <p>Factor de seguridad contra fluencia y fatiga</p> <p>Deformaciones limites</p>
<p>Disco para pulido</p> <p>/</p>		  	<p>Disco</p> <p>Para asegurar balanceo rotacional</p>	<p>Material</p> <p>Espesor</p> <p>Diámetro</p> <p>Rpm de operación</p> <p>Fs contra fluencia y fatiga</p>

Cumaceras con rodamientos			Igual diámetro en ambos apoyos. / Fijación al eje con prisioneros	Tipo de rodamientos Vida útil Tamaño / código de identificación
Tablero de control		  	Botones Tipo pulsador. Focos portables Color rojo / color verde  Tablero metálico comercial	Todos los elementos eléctricos Se adquieren del comercio local
Sistema de refrigeración	Controlar que las probetas no se	Bomba centrífuga 1 LPM  		Caudal Tipo de motor eléctrico

	recalienten y retirar partículas de lijado			Manguera de flujo de agua
--	---	---	--	------------------------------

**Fuente 24 Elaboración Propia**

*Nota: Muestra el Desarrollo de la fase básica del diseño para la pulidora*

En la tabla 15, presenta el proceso para seleccionar el acoplamiento poleas- correa para conectar el motor al eje motriz del disco par pulido. El factor necesidad de lubricación se escala con valor 1 si el sistema necesita algún tipo de lubricación y 5 cuando no lo necesita. Se asume selección de componentes comerciales y el costo comparativo se deriva de cotizaciones para transmitir un kW de potencia en almacenes técnicos locales.

En relaciona operar con bajo ruido, se conoce que el sistema Poleas – correa es el más silencio de manera comparativa, teniendo el cuidado que la correa posea la tensión mínima.

La alternativa ganadora para acoplar el motor eléctrico que propulsa ele quipo al disco pulidor, es la transmisión por poleas y correa.

**Tabla 14 Selección del acoplamiento motor -eje motriz**

Factor de comparación	Engranajes	Estrellas. cadena	Poleas - correa
Necesidad de lubricación	1	1	5
Operar con bajo ruido	4	3	5
Bajo costo comparativo	1	3	4
Ganador	6	7	14

**Fuente 25 Elaboración Propia**

*Nota: Muestra el proceso para seleccionar el acoplamiento poleas- correa para conectar el motor al eje motriz del disco par pulido.*

#### 4.2.3. Fase de diseño de detalle.

Con el fin de determinar un diseño este como *“tarea compleja que requiere muchas habilidades. Es necesario subdividir relaciones complejas en una serie de tareas simples. La dificultad del tema requiere una secuencia en la cual las ideas se presentan y se revisan”* (Budynas & Nisbett, 2012).

##### A. Cálculos para el sistema de potencia mecánica.

El orden de los cálculos es el siguiente:

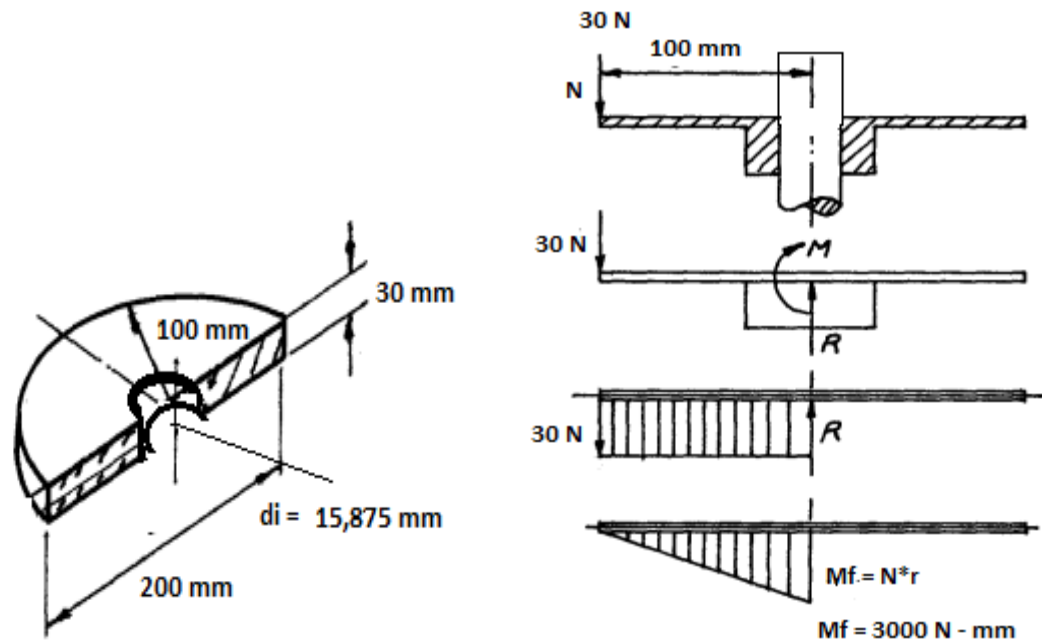
1. Establecer geometría del disco de pulido.
2. Potencia del motor propulsor, con esto se selecciona el motor a utilizar.

3. Definición de las poleas y correas del sistema de acople.
  4. Determinación de la geometría del eje del disco.
  5. Selección de rodamientos del árbol del disco.
- Diseño del disco para pulido.

Se define el Nylon como el material para fabricar el disco de pulido. El diámetro se define en 200 mm siguiendo las recomendaciones de la tabla 12.

La figura 12, define la geometría base del disco pulidor.

Figura 12 Esquema para analizar esfuerzos en el disco de pulido.



Fuente 26 (cidesi.com, 2021).

Nota: Se muestra el Esquema para analizar esfuerzos en el disco de pulido.

En el disco se genera esfuerzo normal por el momento flector y de corte por el par torsor.

La sección sometida a flexión posee momento de inercia I calculado así con la ecuación 4.

4.2.4. Ecuación 4 sometida a flexión posee momento de inercia

$$I = \frac{1}{12} (200 \cdot 30^3 - 15,875 \cdot 30^3) = 393.750 \text{ mm}^4$$

$$C_f = 15 \text{ mm (30/2 mm)}.$$

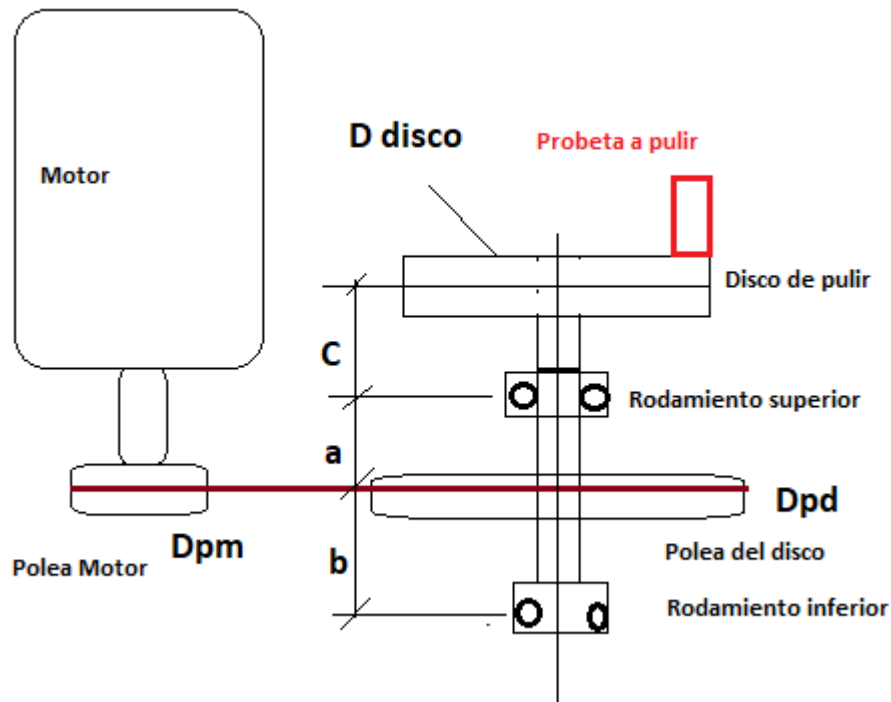
$$M_f = 3000 \text{ Nmm}$$

El esfuerzo normal es  $\sigma = M \cdot c_f / I = 3000 \cdot 15 / 393.750 = 0,112 \text{ MPa}$  (valor menor a 1 MPa).

Para calcular el esfuerzo de corte en el disco de valor máximo que ocurre en el radio de 14,5 mm (15,875\*0,5 mm radio del agujero en el disco + 6 mm que corresponde al diámetro de la probeta más delgada con valor de 6 mm). El par torsor  $T_m = F_{di} \cdot 14,5 \text{ mm}$ . El cálculo del par torsor en el eje del disco se calcula así.



Figura 13 Esquema de sistema de potencia mecánica de la pulidora



Fuente 27 (cidesi.com, 2021).

*Nota: Se muestra el Esquema de sistema de potencia mecánica de la pulidora.*

Los cálculos se inician con determinar el par torsor máximo que se aplica al disco de pulido.

La figura 13, presenta los detalles para realizar el cálculo del par torsor motriz del eje del disco  $T_m$ .

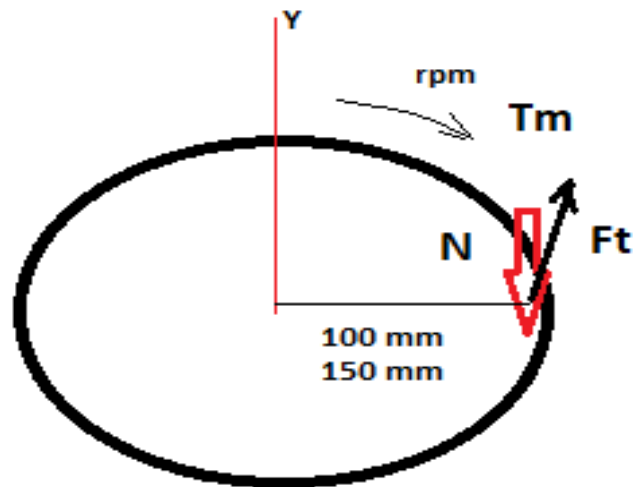
La fuerza normal  $N$  se define en un valor máximo de 30 N según recomendaciones de la tabla 15. El coeficiente de fricción se toma de 0,3 según valores de la tabla 4, asumiendo que el pulido se realiza aplicando refrigeración – lubricación. El par torsor motriz  $T_m$  se define en su valor máximo con la ecuación 5 para el radio mayor de 100 mm.

#### 4.2.4.1. Ecuación 5 par torsor motriz $T_m$

$$T_m = \mu * N * r = 0,3 * 30 * 100 \text{ Nmm} = 900 \text{ Nmm}.$$

Para el caso de fricción máxima que ocurre puliendo en seco (lo cual no debía ocurrir porque puede darse el quemado de la superficie a esmerilar). Asumiendo  $\mu = 0,98$ ,  $T_m$  crítico =  $0,98 * 30 * 100 \text{ Nmm} = 2940 \text{ Nmm}$ .

Figura 14 Esquema para calcular el par torsor al girar el disco de pulir.



Fuente 28 (cidesi.com, 2021).

Nota: Se muestra el Esquema para calcular el par torsor al girar el disco de pulir.

Para este valor máximo de  $T_m$ , la fuerza de corte en el disco para el radio  $r_i = 7,935 \text{ mm}$  ( $15,785 / 2 \text{ mm}$ , para el diámetro del agujero del disco que acopla con el árbol motriz).  $F_c = 2940 \text{ Nmm} / 7,935 \text{ mm} = 270,7 \text{ N}$ . El área de corte  $A_c = 476 \text{ mm}^2$  ( $d_i * e = 15,875 * 30 = 476$ ).

El esfuerzo de corte en el disco se calcula así.

$$T = F / A_c = 270,7 \text{ N} / 476 \text{ mm}^2 = 0,77 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal equivalente  $\sigma_e$  se calcula así.

$$\sigma_e = \sqrt[2]{\sigma^2 + 3T^2} = \sqrt[2]{0,12^2 + 3 * 0,57^2} = 1,33 \text{ MPa}$$

La tabla 16, muestra que la resistencia de fluencia del Nylon es de 85 MPa, por lo que el factor de seguridad contra fluencia es alto de valor  $N_f = 170$  ( $85 / 1,33$ ). La razón principal de sostener este alto valor, es que el disco se asegura al eje por medio de un prisionero roscado con diámetro de 10 mm, lo cual define por datos experimentales manejar un par torsor máximo de 8000 Nmm, valor superior al máximo esperado de 2940 N, con lo que el factor de seguridad mínimo del disco resulta de 2,72 ( $8000 / 2940$ ) y es el modo de falla que limita la capacidad del disco (Olmo, 2017). En todo caso, el diseño así definido garantiza que en caso de sobrecargas inusuales el disco deslice sobre el eje lo cual sería fácil de detectar de manera audible e impide el abuso del equipo por personal inexperto.

La sujeción del disco al árbol motriz, se realiza por medio de tornillo prisionero. Al apretarse con una llave Allen según fuerza manual normal, se determina en un montaje similar que requiere un par torsor de 800 Nmm para hacer girar el disco en un eje de 14 mm, valor muy cercano al definido en este diseño de 15,875 mm, el cual se determina al identificar diámetros probables de ejes para fabricar el árbol motriz, con valor de 16 mm pero que debe maquinarse para dar acabado final (Portillas & Pinzón, 2018).

**Tabla 15 Datos de propiedades del Nylon.**

Características mecánicas	Método/Prueba (DIN /ASTM)	Valor	Unidad
Densidad	53479	1,14	g/cm <sup>3</sup>
Elongación en punto de fluencia	53455	85	MPa
Resistencia al desgarre	53455		MPa
Resistencia a la rotura por alargamiento	53455	70	%
Módulo de elasticidad a la tracción	53457	3200	MPa
Módulo de elasticidad a la flexión	53457		MPa
Dureza Brinell (por penetración de bola)	53456	70/160	MPa
Resistencia al impacto	53453	no.Br.	KJ/m <sup>2</sup>

Fuente 29 (cidesi.com, 2021).

Nota: Se muestra el Datos de propiedades del Nylon.

➤ Selección del motor propulsor.

Para calcular la potencia del motor propulsor del tipo inducción, operando a 110 voltios c.a, es necesario primero calcular la potencia en el árbol motriz del disco. Para definir un motor de bajo costo, estos deben operar con 2 polos, lo cual para una frecuencia de red eléctrica de alimentación de 60 Hz implica una velocidad de 3450 rpm según fabricantes.

Al utilizar acople por poleas y correa en V se define una relación de transmisión de 3:1 la cual está en el rango recomendado para esta aplicación. Con esto, la velocidad del eje motriz es de 1150 rpm ( $3450 / 3$ ). La velocidad de 1150 rpm equivale a 120,47 rad/s ( $1150 * 2 * \pi / 60$ ).

4.2.4.2. Ecuación 6 velocidad del eje motriz

$$P_m = T_m * \omega = 2,940 \text{ Nm} * 120,47 \text{ rad/s} = 354,05 \text{ W}$$

Asumiendo una eficiencia en el eje motriz de 0,96 (0,98 por correa \* 0,99\*0,99 por rodamientos), se tiene que la potencia del motor mínima sería de 369 W (354/0,96). Convertida esta potencia al sistema ingles  $PM = 0,49 \text{ hp}$ . Se selecciona como motor próximo uno marca Rotter mostrado en la figura 15 con potencia nominal de 0,5 hp (1/2 de hp), rotando a 3450 rpm, el cual está disponible y permite reducir costos.

**Figura 15 Motor eléctrico seleccionado.**



**Fuente 30 Elaboración Propia**

*Nota: Se muestra el modelo del Motor eléctrico seleccionado para la construcción de la pulidora metrológica.*

- Selección del sistema poleas – correa.

La polea que acompaña al motor posee un diámetro de 2 pulgadas. Para una relación de 3:1, el diámetro de la polea del árbol motriz es de 6 pulgadas ( $2 \times 3$ ). La figura 16 presenta las 2 poleas seleccionadas.

**Figura 16** Polea del motor y polea del árbol motriz.

a. Polea del motor.  $D = 2$  in.



b. Polea del árbol motriz  $D = 6$  in.



**Fuente 31** Elaboración Propia

*Nota: Se muestran las Polea del motor y polea del árbol motriz que serán utilizadas en el construcción de la pulidora metalográfica.*

Se define utilizar correa tipo V en razón a su disponibilidad comercial, bajo precio comparativo, datos geométricos y de potencia a transmitir estandarizados, tomados como factores principales para decidir.

La correa que acopla es tipo A. se selecciona este tipo porque según fabricantes puede manejar una potencia entre 0,25 y 10 hp, que cubre el valor de  $\frac{1}{2}$  hp que el motor pueda seleccionado entregar para una vida útil de 10,000 horas. Para calcular la potencia máxima que puede manejar esta correa y polea seleccionada, se calcula la velocidad lineal periférica.

La ecuación 7 permite calcular la velocidad periférica  $V_p.w = 3450$  rpm equivalente a  $361,28$  rad / s ( $3450*2*\pi/60$ )

4.2.4.3.Ecuación 7 calcular la velocidad periférica

$$V_p = w*r = 361,28*0,0254 = 9,17 \text{ m/s.}$$

9017 m/s, equivale a 1805 pies/min. De la tabla 16, la correa seleccionada puede manejar 0,59 hp al realizar la interpolación de datos de la tabla 16.

**Tabla 16 Potencia a transmitir según tipo de correa.**

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.0	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	

Fuente 32 (Galindo & Rodriguez, 2017)

*Nota: Se muestra la Potencia a transmitir según tipo de correa, donde la potencia real o corregida se calcula con la ecuación 8.*

4.2.4.4.Ecuación 8 factor de corrección por ángulo de contacto

$$H_c = 0,59*k_1*k_2$$

K1 = factor de corrección por ángulo de contacto. Ver tabla 17.

K2 = factor de corrección por longitud de la correa. Ver tabla 18.

**Tabla 17 Valores para el factor K1.**

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	K1	
		VV	Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

**Fuente 33 (Galindo & Rodriguez, 2017)**

*Nota: Se muestra los Valores para el factor de corrección por ángulo de contacto.*

La distancia entre centros mínima C, se calcula con la ecuación 9.

#### 4.2.4.5. Ecuación 9 Cálculo del Diámetro de la polea

$$C = [D - d] / 0,7$$



*Coeficiente recomendado=0,7* (tomado de la tabla 17 maximizando k1 en 0,84)

*D=Diámetro de la polea mayor*

*d=Diámetro de la polea menor*

$$C = [6 - 2] / 0,7$$

$$C = 5,71 \text{ in.}$$

**Tabla 18 Valores para el factor k2.**

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

**Fuente 34 (Galindo & Rodriguez, 2017)**

*Nota: Se muestra los Valores para el factor de corrección por longitud de la correa.*

#### 4.2.5. Longitud de la correa

##### 4.2.5.1.Ecuación Longitud de la correa

$$Lp=2C + 1,57 [D+d] + [D+d]^2/4C$$

*Lp=Longitud de la correa*

*D=Diámetro polea mayor*

*d=Diámetro polea menor*

*C=Distancia entre centros*

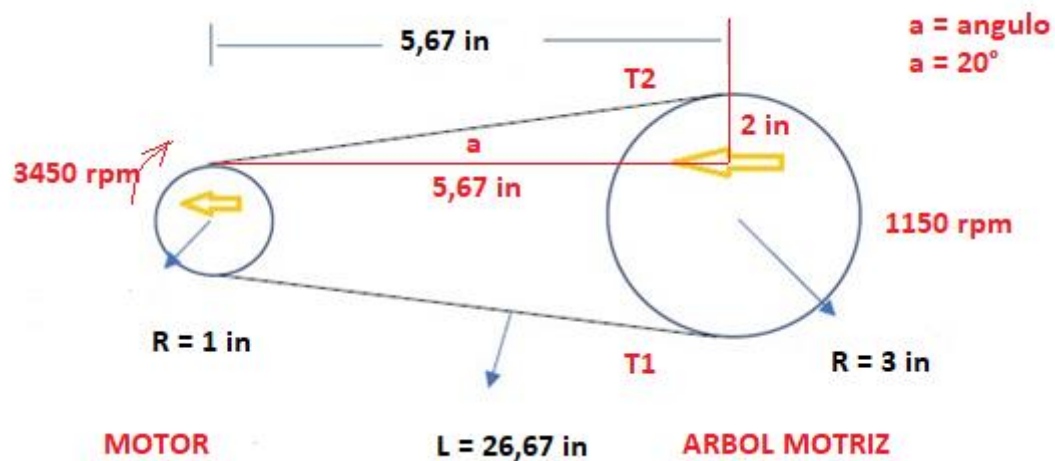
$$Lp=2(5,6) + 1,57[6+2] + \frac{[6+2]^2}{4(5,6)}$$

$Lp=26,61 \text{ in}$ , valor menor 35 pulgadas, por lo que  $K2 = 0,85$ .

La potencia corregida es  $H_p c = 0,59 * 0,84 * 0,85 = 0,42 \text{ hp}$  para 10.000 horas de vida útil de la correa. Comparando con la potencia nominal de la pulidora, obtenida así, se tiene  $PM = T_m * w = (0,3 * 30 \text{ Nm} * 0,1 * 120,47 \text{ rad/s}) / 0,96 = 113 \text{ W}$  equivalente a 0,15 hp. Valor menor a 0,42 hp. Lo cual implica que el sistema poleas - correa cumple con seguridad transmitir la potencia desde el motor al árbol motriz para una vida útil mayor a 10.000 horas.

La figura 17, presenta la geometría del acople poleas - correa. El ángulo  $a$  se obtiene de  $\tan^{-1} (20/5,67)$ .

**Figura 17 Acople poleas – correa.**



Fuente 35 (cidesi.com, 2021).

*Nota: Muestra los acople poleas – correa, relacionadas con sus medidas y Angulo generado para tener en cuenta en la construcción de la pulidora metalográfica.*

#### 4.2.6. Angulo de agarre

Los ángulos de contacto correa – poleas, son.

Polea del motor

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\sin^{-1} [D_{22\_CD1}] = 180^\circ - 2\sin^{-1} [2\frac{266-261}{266-261}] = 171^\circ$$

#### 4.2.7. Polea del árbol motriz

$$\theta_2 = 180^\circ + 2\sin^{-1} [D_{22\_CD1}] = 180^\circ + 2\sin^{-1} [2\frac{266-261}{266-261}] = 188^\circ$$

Las ecuaciones para determinar las tensiones en la correa T1 y T2, se plantean las siguientes ecuaciones 10 y 11.

#### 4.2.8. Ecuación 10 tensiones en la correa T1

$$(T1 - T2) * R_{\text{polea del árbol}} = T_m = 2940 \text{ Nmm}$$

$$(T1 - T2) * 76,2 = 2940 \text{ Nmm}$$

#### 4.2.9. Ecuación 11 tensiones en la correa T2

$$\frac{T1}{T2} = e^{\mu * \theta} = e^{0,3 * \pi} = 2,56$$

Despejando, T2 = 24,73 N y T1 = 63,3 N.

El coeficiente de fricción correa – polea de aluminio se toma de valor  $\mu = 0,3$ .

➤ Diseño del árbol motriz.

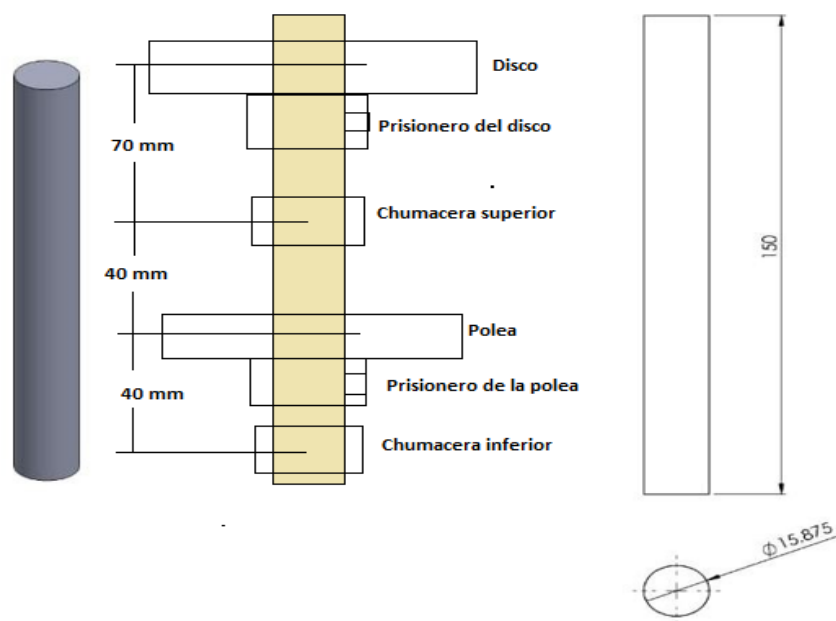
Este árbol es el que soporta el disco de pulido y se apoya en el chasis por medio de dos chumaceras con rodamientos. La figura 18, presenta el esquema de este componente. Las

longitudes definidas corresponden a valores mínimos teniendo en cuenta los elementos acoplados al árbol motriz.

En vista que los ángulos de contacto están próximos a  $180^\circ$ , se considera que las tensiones en la correa están en el mismo plano y la misma dirección.

El caso de carga crítica sobre el árbol motriz ocurre cuando las fuerzas de tensión en la correa se alinean con la fuerza tangencial de corte necesaria para el esmerilado pulido. En este caso se tiene lo mostrado en la figura 19.

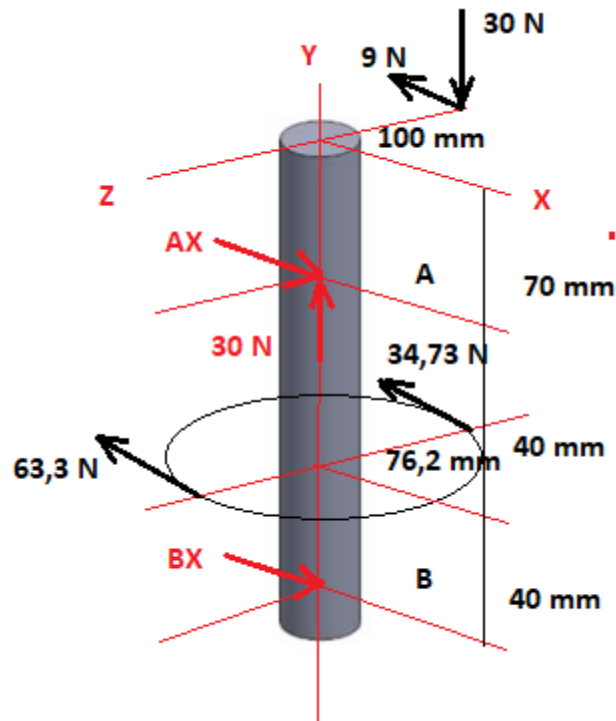
**Figura 18** Esquema del árbol motriz.



**Fuente 36** Elaboración Propia

*Nota: Muestra cómo se presenta el Esquema del árbol motriz dentro de la construcción del proyecto.*

Figura 19 Esquema de fuerzas en el árbol motriz



Fuente 37 Elaboración Propia

Nota: Muestra el Esquema de fuerzas en el árbol motriz y para realizar los cálculos de las reacciones en los apoyos A y b, se tiene.

Plano x – y

Aplicando sumatorias de momento en el apoyo A (rodamiento superior), con scr +, se tiene

$$900 + 9 \cdot 70 - 98,03 \cdot 40 + BX \cdot 80 = 0$$

Despejando,  $BX = 29,89 \text{ n}$

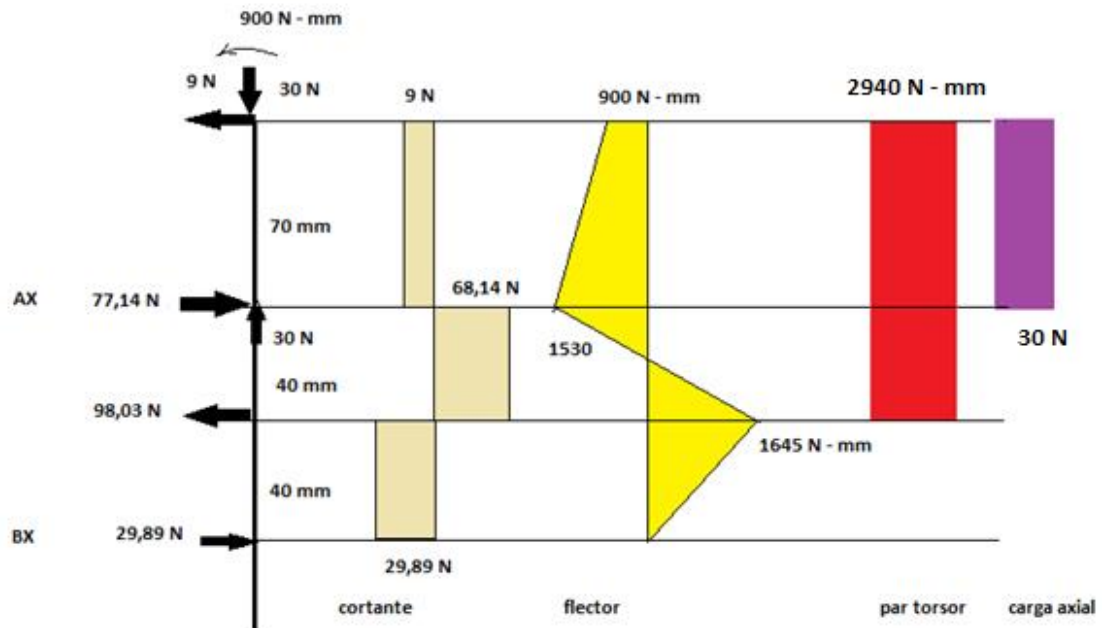
Realizando sumatoria en dirección X Derecha +, se tiene.

$$AX - 9 - 98,03 + 29,89 = 0$$

Despejando,  $AX = 77,14 \text{ N}$ .

La figura 20 presenta el dcl y los diagramas de carga sobre el árbol motriz.

Figura 20 el dcl y Diagramas de carga en el árbol motriz.



Fuente 38 (demaquinasyherramientas.com, 2018)

Nota: Hace referencia al dcl y Diagramas de carga en el árbol motriz.

Se identifica como crítica la sección donde se coloca la polea de diámetro 6 pulgadas, sometida a efectos de momento flector máximo y par torsor máximo. Se tiene carga combinada. Como se dispone del eje con diámetro nominal de 15 mm, puede revisarse el factor de seguridad contra fluencia y contra fatiga, los cálculos son.

La ecuación 12 presenta el modo de calcular el factor de seguridad contra fatiga n.

4.2.10. Ecuación 12 factor de seguridad contra fatiga n

*ED-Goodman*

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

En este caso no existe par torsor alternante dado que el árbol rota en un sentido. Tampoco existe el momento flector medio dado que el árbol al rotar crea un perfil senoidal con valor medio  $M_m = 0$ .

El eje se fabrica de acero AISI 1040, con  $S_yt = 374$  MPa y  $S_{ut} = 590$  MPa. Ver tabla 19.

**Tabla 19 Propiedades mecánicas de aceros típicos.**

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción en el área, %	Dureza Brinell
1030	TyR*	205 (400)	848 (123)	648 (94)	17	47	495
	TyR*	315 (600)	800 (116)	621 (90)	19	53	401
	TyR*	425 (800)	731 (106)	579 (84)	23	60	302
	TyR*	540 (1000)	669 (97)	517 (75)	28	65	255
	TyR*	650 (1200)	586 (85)	441 (64)	32	70	207
	Normalizado	925 (1700)	521 (75)	345 (50)	32	61	149
	Recocido	870 (1600)	430 (62)	317 (46)	35	64	137
1040	TyR	205 (400)	779 (113)	593 (86)	19	48	262
	TyR	425 (800)	758 (110)	552 (80)	21	54	241
	TyR	650 (1200)	634 (92)	434 (63)	29	65	192
	Normalizado	900 (1650)	590 (86)	374 (54)	28	55	170
	Recocido	790 (1450)	519 (75)	353 (51)	30	57	149

Fuente 39 (Galindo & Rodriguez, 2017)

*Nota: Muestra las Propiedades mecánicas de aceros típicos*

La resistencia a la fatiga se calcula con la ecuación 13.

4.2.11. Ecuación 13 resistencia a la fatiga

$$S_e = 0,5 * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e$$

Donde el factor de superficie  $k_a$  se calcula así.

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Figura 21 Relaciona el Acabado superficial de las piezas

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	<u>4.51</u>	<u>-0.265</u>
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente 40 (interempresas.net, 2020).

Nota: “El acabado de superficies metálicas es una operación clave en la fabricación de diferentes componentes metálicos. Entre estos componentes destacan piezas del sector de automoción así como del sector aeroespacial, donde el acabado superficial puede ser crítico en ajustes de ensamblajes, condiciones tribológicas, aerodinámica, etc. En concreto, el acabado superficial en útiles de moldeo y conformado resulta clave” (interempresas.net, 2020).

$$K_a = 4,5 * 590^{-0,265} = 0,83$$

El factor de tamaño  $k_b$  para diámetro de 15 mm, se calcula así.

$$K_b = 1,24 * 15^{-0,107} = 0,93$$

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$K_c = 1 \text{ (flexión)}$$

$$K_d = 1 \text{ (temperatura ambiente)}$$

$$K_e = 0,897 \text{ (90 \% de confiabilidad)}$$

$$S_e = 0,5 * 590 * 0,83 * 0,93 * 0,897 = 204 \text{ MPa.}$$



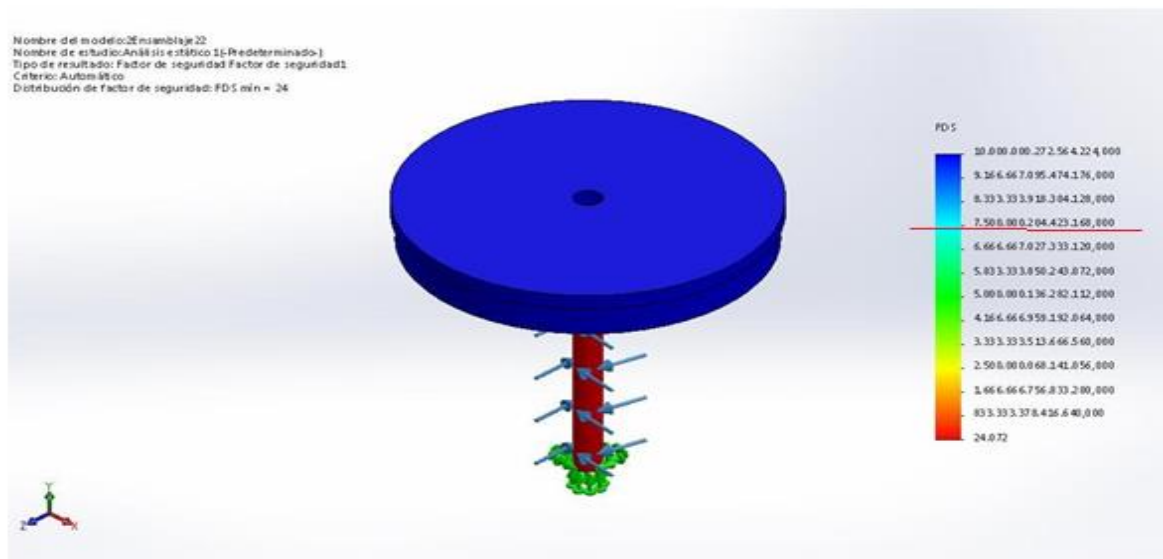
El momento flector crítico es de 1645 Nmm y el par torsor de 2940 Nmm. Ingresando valores en la ecuación 12, se tiene  $n = 71$  ( $1 / 0,0139$ ), factor de seguridad que asegura vida infinita del árbol motriz. No se consideran efectos de concentración del esfuerzo dado que se tiene un árbol con diámetro uniforme de 15 mm. Detalles de planos de los componentes se define en el anexo C.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot 15^3} \left[ \frac{1}{204} \left( 4 * ( 1 * 1645 )^2 \right)^{0,5} + \frac{1}{594} * ( 3 * ( 1 * 2940 )^2 )^{0,5} \right]$$

$$1/n = 0,0139.$$

La figura 22, presenta el resultado de un análisis de esfuerzos al conjunto árbol motriz – disco soporte. Se observa que el Fs de 75 corresponde al árbol valor muy similar al de 71 obtenido con cálculos analítico al evaluar su resistencia contra la fatiga. Resultado para otras simulaciones se muestran en el anexo D.

**Figura 22 Simulación de factores de seguridad al conjunto árbol motriz- disco soporte.**



Fuente 41 Elaboración Propia

*Nota: Modelo de Simulación de factores de seguridad al conjunto árbol motriz- disco soporte.*

➤ Selección de rodamientos.

Se define utilizar rodamientos de bolas con diámetro interno 15 mm de la serie 02, fáciles de adquirir en el comercio local de partes para maquinaria. La figura 22 presenta la capacidad de carga radial estable para rodamientos.

Tabla 20 Capacidades de carga estática y dinámica para rodamientos de bolas.

Diámetro interior, mm	DE, mm	Ancho, mm	Radio del entalle, mm	Diámetro del hombro, mm		Clasificaciones de carga, kN			
				$d_s$	$d_H$	Ranura profunda		Contacto angular	
						$C_{10}$	$C_0$	$C_{10}$	$C_0$
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	1.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0

Fuente 42 (Galindo & Rodriguez, 2017)

*Nota: Muestra las Capacidades de carga estática y dinámica para rodamientos de bolas.*

La carga radial para 90 de confiabilidad  $C_{10} = 7,8$  kN. Para una vida de catálogo de un millón de ciclos. Como, además, se tienen datos de servicio, se aplica la ecuación 14 para calcular la vida L del rodamiento con carga radial mayor  $A_X = 77,14$  N o 0,0771 kN.

4.2.12. Ecuación 14 calcular vida L del rodamiento carga radial mayor  $A_X$

$$L = K_f * L_r \left( \frac{C_{10}}{F_e * K_a} \right)^{3,33}$$

Los datos son.  $K_f = 0,2$  para 99,9 % de confiabilidad.

$L_r = 1$  millón de ciclos o revoluciones.

$C_{10} = 7,8$  kN

$F_e = 0,0771$  kN

$K_a = 1,5$  para impacto medio.

Ingresando valores, la vida esperada para el rodamiento es  $L = 245$  millones de revoluciones.

Si se divide entre 1150 rev/min, se expresa la vida en minutos.  $L = 213,787$  minutos, equivalente a 4000 horas, esto indica vida de 4 años al menos para los rodamientos utilizados.

➤ Cálculos para el sistema de refrigeración.

En relación al flujo de refrigerante se tiene definido para estos equipos un flujo a gotas ente 1 y 1,5 litros / hora. Esto define la bomba de agua de tipo centrífugo mostrada en la figura 22. Sus características técnicas según fabricante son:

Voltaje de CC: 2.5-6V

Altura de elevación: 40-110 cm

Caudal: 1 – 20 L / H

Diámetro exterior de la salida de agua: 8mm

Diámetro interior de salida de agua: 8mm

Diámetro: Aprox. 24 mm

Longitud: Aprox. 44 mm

Altura: aprox. 30 mm

Material: Plástico de la ingeniería del modo de conducción: diseño de corriente continua sin escobillas, conducir magnética.

En cuanto al sistema de refrigeración siendo este uno de los factores claves del corte, todas ellas deben tenerlo para que el proceso de pulimiento no sea afectado con el calentamiento del material y provocar un accidente, hay uno que es el sistema de refrigeración continuo suministrado por una fuente de agua constante la cual va directamente al disco y desocupado por cañería. En cambio el sistema de refrigeración con retorno por temas de agilidad no es muy recomendado por que necesita apoyo de otra bomba para retornar el agua hacia su punto de salida, incrementando sus costos. El más común es el sistema de refrigeración manual el cual queda a criterio del encargado de dejar inundado con agua o no el proceso.

➤ Diseño del sistema eléctrico de la pulidora.

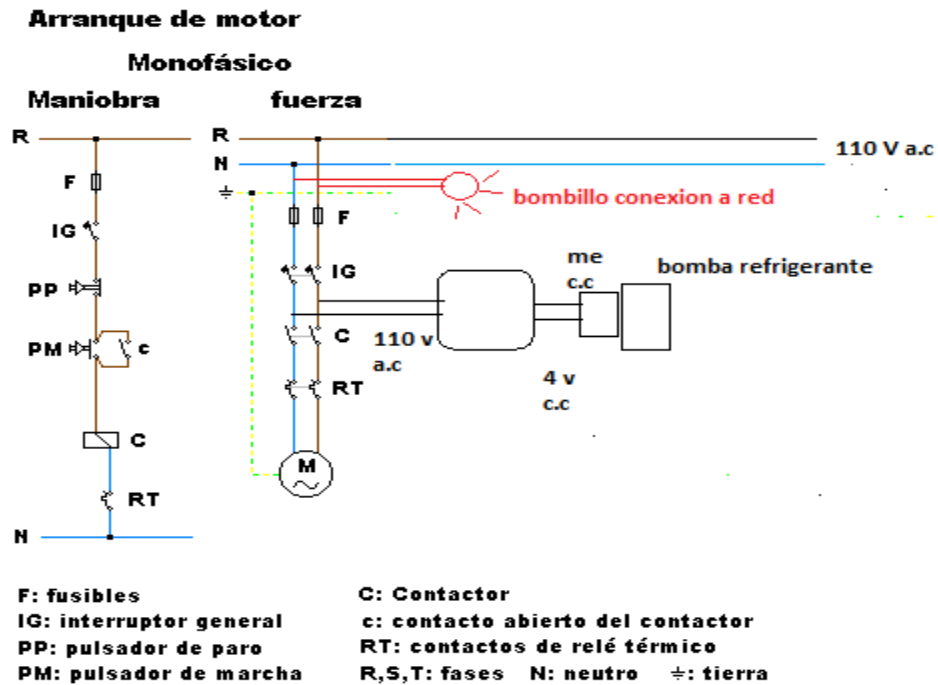
La figura 23, presenta el esquema del circuito eléctrico de la pulidora metalográfica,

Se coloca un contactor que controla la fase y el neutro. Al conectar el equipo a la red se enciende el bombillo rojo. Para encender el motor del disco se pulsa el botón verde. Para detener el motor se pulsa el botón rojo. Como el voltaje de operación es de 110 voltios y la potencia es de 390 W, la ecuación 15 permite calcular la corriente máxima de operación I lo que define un valor de 3,55 Amperios, por lo que se utiliza cable eléctrico calibre N° 16 según catálogo de fabricante.

4.2.13. Ecuación 15 calcular la corriente máxima de operación I

$$I = P / V = 390 / 110 = 3,55 \text{ Amperio}$$

Figura 23 Diagrama eléctrico de la pulidora.



Fuente 43 (cidesi.com, 2021)

*Nota: Se muestra el Diagrama eléctrico de la pulidora*

➤ Planos del equipo definido.

Concluido el diseño se elaboran planos en el programa SolidWorks. La figura 24, presenta algunas partes y el anexo C, detalla los componentes faltantes.



Tabla 21 Listado de precios de Insumos

Factura	Proveedor	Detalle	Valor
575	Servimetal	Corte Plasma	86.000
442056	Tornillería la 11	Tornillo Bristol 5/16	3.000
442056	Tornillería la 11	Tornillo Bristol 5/16	4.000
442056	Tornillería la 11	Polea Tipo A 6"	37.000
442056	Tornillería la 11	Polea Tipo A 2"	12.000
1598	Indumetalica Miraflores	Lamina	66.000
1772	Tornillería Tayromar	Tornillo 3/8 + arandelas	5.000
1772	Tornillería Tayromar	Tornillo 1/4 + arandelas	5.000
85	Ferremax	Motobomba	90.000
108631	Inversiones Electromagdalen	Luz piloto Verde	6.000
108631	Inversiones Electromagdalen	Luz piloto Roja	6.000
108631	Inversiones Electromagdalen	Cable encauchado	43.200
17503	Lobafe Distribuciones	Chumaceras	60.000
17503	Lobafe Distribuciones	Platina	76.000
		regulador de potencia	46.500
		Correa	17.000
		Torno	200.000
		disco de nylon	60.000
		Ángulo 1 1/2 *1/8	70.000
		Transporte	80.000
		Troquelado	80.000
		Pintura - Base	30.000

		Soldadura	15.000
17503	Lobafe Distribuciones	Angulo	12.000
<b>Total</b>			<b>1.109.700</b>

**Fuente 45 Elaboración Propia**

*Nota: Se relaciona el Listado de precios de Insumos que serán utilizados en la construcción de la pulidora metalográfica.*

El presupuesto final asciende a un millón ciento nueve mil setecientos pesos. Comparado con el valor promedio de 7 millones para equipos de función equivalente, se tiene una diferencia a favor o ahorro de 6 millones de pesos. Sin embargo, hay que aclarar que los equipos comerciales poseen un sistema de control de la velocidad del motor entre 200 y 1200 rpm para el disco que capacita realizar el pulido a materiales metálicos, cerámicos y compuestos, según expresan los fabricantes. Ver anexo F.

**4.4.Construir y puesta en marcha de la pulidora metalográfica. Resultado de este objetivo es el equipo armado y funcional, listo para pulir probetas metálicas.**

La figura 25, presenta el proceso de armado de la estructura soporte.



**Figura 25 Armado del chasis del equipo.**



**Fuente 46 Elaboración Propia**

*Nota: Muestra la estructura o esqueleto de la pulidora metalográfica.*

La figura 26 presenta el equipo armado. La cubierta es metálica y se ha pintado con material epóxico de alta durabilidad según garantiza el vendedor de este producto. Para asegurar el correcto armado se ha utilizado nivel y escuadras magnéticas para garantizar verticalidad, horizontalidad, perpendicularidades, paralelismos y ángulos de acople exactos, según se define los planos.

Figura 26 Pulidora Armada



Fuente 47 Elaboración Propia

*Nota: Se muestra la pulidora metalográfica construida.*

Una vez armado y puesto en funcionamiento la pulidora metalográfica, se deja encendido el motor en vacío por 20 minutos para verificar que no ocurra recalentamiento de las partes mecánicas ni eléctricas. Así mismo que no existan partes flojas, ni ocurran ruidos ni vibraciones anormales. Esto se repite 5 veces y los resultados son satisfactorios.

En el anexo D se presentan detalles adicionales de la fabricación de las demás partes que así se han definido y las partes a adquirís comercialmente.

#### **4.5. Elaborar un manual de operación y mantenimiento para la pulidora metalográfica.**

El resultado es un documento dónde se detalla la operación y mantenimiento básico del equipo.

##### **4.5.1. Operación.**

Los siguientes pasos deben seguirse para garantizar el uso seguro de la pulidora. Antes de conectar y encender el equipo deben leerse estas instrucciones.

- Observe que el equipo este desconectado de la red eléctrica. La luz roja impide que se deje conectado.
- Asegúrese que el equipo este estable en una superficie horizontal fija.
- Retire cualquier elemento extraño del área de trabajo.
- Verifique el buen estado de los discos de esmerilar o pulir (tenga cuidado de rayarse las manos o dedos).
- Seleccione la secuencia de discos de esmerilado y pulido a utilizar.
- Verifique que los discos de esmerilado queden bien apoyados en el disco soporte de Nylon.
- Gire el disco con la mano al menos 2 vueltas verificando que no ocurren trabamientos extraños.
- Verifique que el desagüe drene al alcantarillado del sitio.

- Conecte el equipo a una toma eléctrica de 110 voltios c.a. En caso de dudas mida con un multímetro el voltaje real de la toma eléctrica. El sobre voltaje daña y deteriora las partes eléctricas y pone en riesgo de choque eléctrico a operarios y personal vecino o próximo.
- Encienda el sistema de flujo de refrigerante y verifique que no existan fugas de agua o similar.
- En este momento está listo para realizar el esmerilado y pulido requerido. Utilice guante para sujetar la probeta y gafas para proteger sus ojos.
- Encienda el motor y observe que el disco gira normal, no existen golpeteos o vibraciones, ni ruido, ni olores anormales.
- Sujete firmemente la probeta y apóyela en el disco suavemente. Ejercer ligera presión y utilice refrigeración por goteo sostenido.
- Cada cierto tiempo, digamos 20 segundos retire y observe como cambia la superficie que trabaja. Tome los correctivos que su experiencia indique.
- En caso de tener superficies que no dejen huella uniforme mire a ver si continúa o modifica la posición de esmerilado.
- Cuando termine desconecte el equipo de la red eléctrica.
- Al terminar limpie el equipo y área de trabajo.

#### 4.5.2. Mantenimiento.

El equipo sea diseñado para que sus partes principales tengan vida infinita. Los rodamientos son de tipo chumacera auto lubricados con grasa tipo 2 desde fábrica. En caso de notar

manchas de grasa revise y cambie los sellos o retenedores de los rodamientos sin olvidar rellenar con la grasa indicada.

En caso de ruidos anormales revise partes flojas y que la correa o banda posea la tensión adecuada. Esto se verifica presionando con el dedo en la longitud media entre las dos poleas y notando que se tenga tensión. Fije con una mano el disco y con la otra trate de girar la polea del motor. Si ocurre giro la correa está floja y debe tensarla. Observe el soporte del motor y apriete para tensionar.

En caso de sufrir choque eléctrico al tocar el equipo, llévelo a un electricista reconocido. Los cables que se pierde su aislamiento con el tiempo y contactan la carcasa ponen en alto riesgo al personal operativo. Se recomienda colocar un polo tierra para controlar este tipo de eventos peligrosos.

No deje caer el equipo. El peso aproximado es de 35 kilos, por lo que puede manejarse por una persona con estado físico normal.

## **5. Capitulo V. Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones.**

En relación al estado del arte se estudiaron catálogos de fabricantes de pulidoras metalográficas y trabajos de grado sobre diseño y construcción de estos equipos en otras Universidades nacionales y extranjeras. Esto permito establecer los requerimientos tecnológicos y la estructura funcional y física que facilitan el desarrollo del equipo, simplificando la construcción y reduciendo los costos, diseñado para uso exclusivamente metalográfico.

Con base en la información anterior, se desarrolla una pulidora de un disco que es fácil de transportar con un peso de 35 kilos y medidas de 50 x 40 x 35 cm, que una persona en estado físico normal puede manipular. Opera a 110 voltios corriente alterna. El disco de pulir puede girar a una velocidad máxima de 1150 rpm y posee un diámetro de 200 mm, valor apropiado al tamaño de discos de pulir comercial que se venden en el comercio local. Los componentes principales como el árbol motriz, el disco soporte y las poleas y correa de transmisiones se diseñan para vida infinita, lo que asegura largo tiempo de servicio en la UAN. La vida de los rodamientos se calcula en 4000 horas de servicio.

El costo final fue cercano a un millón de pesos, valor 7 veces menor equipos con discos y velocidad de similares. Se reconoce que la tecnología de controle es básica y por ello el mayor costo para equipos comerciales.

Finalmente, se entrega un instructivo para que los usuarios operen y mantenga el equipo en condiciones por al menos 5 años de uso estimado.

## **5.2. Recomendaciones**

Leer el instructivo de operación y mantenimiento antes de utilizar el equipo.

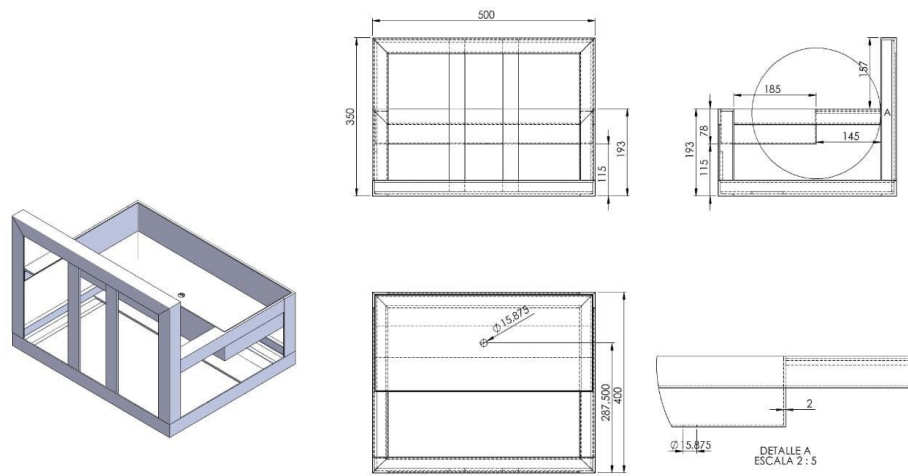
El equipo debe utilizarse dónde exista desagüe por alcantarillado.

Colocar un polo a tierra para asegurar el personal contra choque eléctrico.

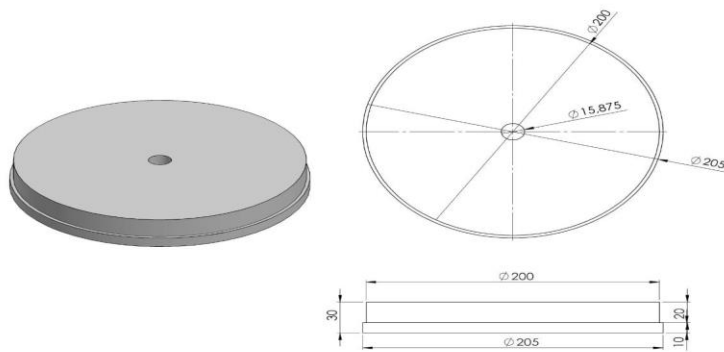
Se debe poner apunto los procesos de pulido de diversos tipos de acero, esto es, posiciones de las probetas en el disco soporte según diámetros, movimientos relativos en el disco soporte, tipo y secuencia de lijado, tiempos en cada número de lija y eventos similares.

**ANEXO A Planos**

**1. Chasis de la pulidora**



**2. Disco soporte.**



ESCALA 1:2

**3. Ensamble del conjunto.**

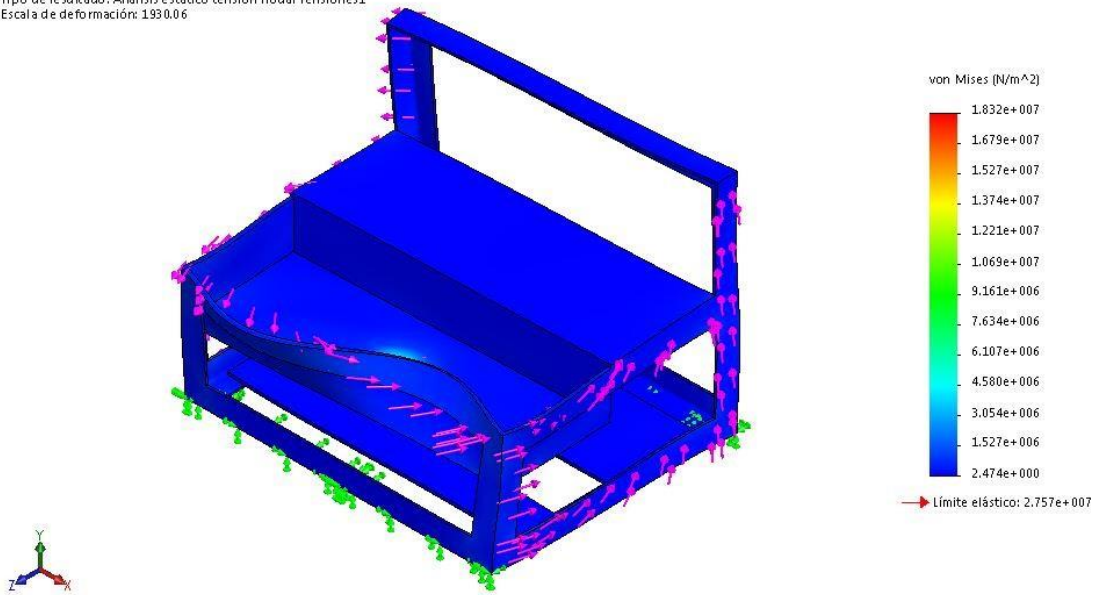




**ANEXO B Simulaciones**

**Análisis Estático de la estructura**

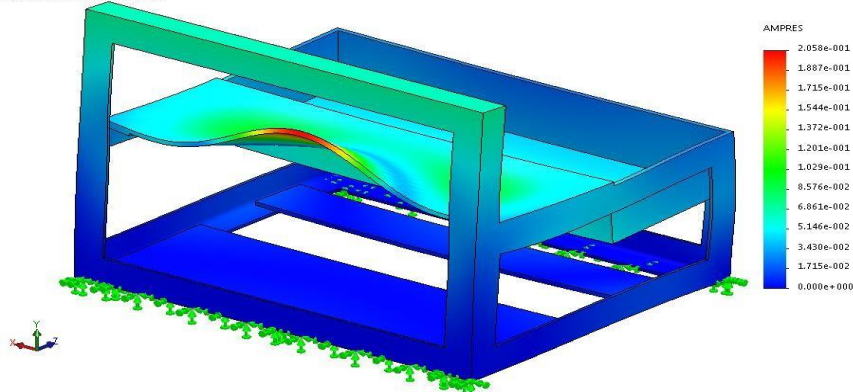
Nombre del modelo: 2estructur21  
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (Predeterminado)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1930,06



Fuente 27 Elaboración Propia

**Estudio de frecuencia de la estructura**

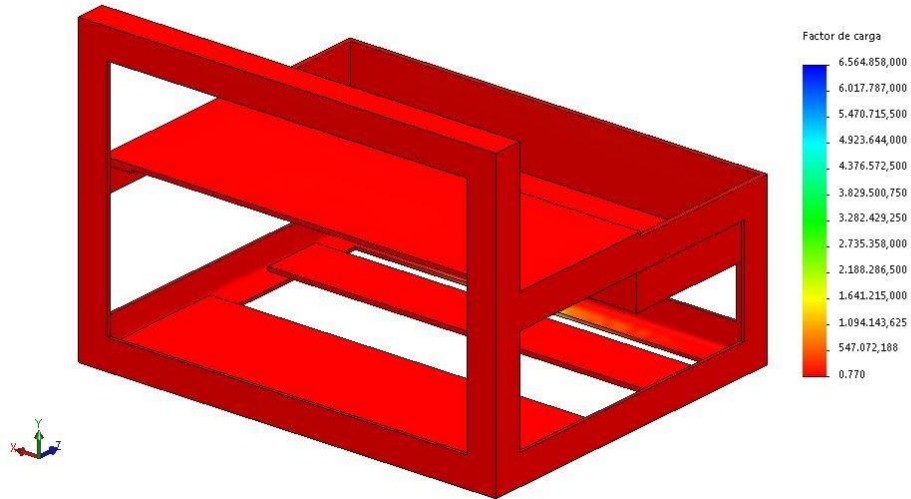
Nombre del modelo: 2estructur21  
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1 (Predeterminado)  
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5  
 Forma modal 5 Valor = 45,286 Hz  
 Escala de deformación: 0,247034



Fuente 28 Elaboración Propia

## Factor de carga de la estructura

Nombre del modelo: 2estructur21  
Nombre de estudio: Fatiga\_1-Pre-determinado-3  
Tipo de resultado: Fatiga (El Factor de carga puede ocasionar fallos) Resultados: 4  
Los factores de carga menores de 1.0 indican un fallo



Fuente 29 Elaboración Propia

## 6. Capítulo VI. Referencias Bibliográficas

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- Auria, J., & Ibañez, P. (2000). *Dibujo Industrial: Conjuntos y Despieces*. España: Paraninfo.
- Avener, S. (1988). *Introducción a la metalurgia física*. México: McGraw-Hill.
- belltec.com.co*. (2020). Obtenido de <https://belltec.com.co/gratas-copas-y-acc-para-pulidoras/21084-disco-de-pulidora-pmaadera-115mm.html>
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.
- Camargo, J., & Reyes, E. (2018). Obtenido de [https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1718/camargo\\_Johnatan\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1718/camargo_Johnatan_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cardenas, J., & Carrera, J. (2016). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7808/6/UPS-KT00893.pdf>
- cidesi.com*. (2021). Obtenido de <https://www.cidesi.com/site/servicios/tecnologia-de-materiales/analisis-de-falla/>
- cmsmetrology.jimdo.com*. (2020). Obtenido de <https://cmsmetrology.jimdo.com/equipos/metalograf%C3%ADa/pulidoras-lijadoras/>
- Daza, L. (2019). Obtenido de [https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2954/Daza\\_Luis\\_Clavijo\\_Luis\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2954/Daza_Luis_Clavijo_Luis_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- demaquinasyherramientas.com*. (2018). Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/pulidoras-tipos-y-usos>
- directindustry.es*. (2020). Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/laizhou-wei-yi-experiment-machine-manufacturing-co-ltd/product-161005-2234531.html>

- Galindo, L., & Rodríguez, C. (2017). Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6008/GalindoCa%F1onLeidyTatiana2017.pdf;jsessionid=9765DE16EDA9A6BF52DEDB12ADE71DE7?sequence=1>
- García, F., & Cortés, J. (2018). Obtenido de [http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A2\\_155.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A2_155.pdf)
- Gómez, J., & Gamba, B. (2017). Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10585/INFLUENCIA%20DEL%20TRATAMIENTO%20TERMICO%20SUBCERO%20EN%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20CORROSION%2c%20DUREZA%20Y%20MICROESTRUC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas*. México: McGraw-Hill.
- guialab.com.ar*. (2020). Obtenido de <https://www.guialab.com.ar/notas-tecnicas/recomendaciones-para-la-limpieza-del-material-de-vidrio/>
- interempresas.net*. (2020). Obtenido de <https://www.interempresas.net/Moldes/Articulos/151253-Acabado-de-superficies-sobre-el-acabado-de-la-huella.html>
- kupdf.net*. (2019). Obtenido de [https://kupdf.net/download/astm-e112-tamano-de-grano-pdf\\_58e9b694dc0d60b34dda9819\\_pdf](https://kupdf.net/download/astm-e112-tamano-de-grano-pdf_58e9b694dc0d60b34dda9819_pdf)
- Llumiquinga, W., & Quispe, J. (2016). Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2978/1/T-UTC-3932.pdf>
- Marín, Javier. (2019). Obtenido de [http://oa.upm.es/54474/1/TFG\\_JAVIER\\_MARIN\\_DE\\_LA\\_PUENTE.pdf](http://oa.upm.es/54474/1/TFG_JAVIER_MARIN_DE_LA_PUENTE.pdf)
- Merino, C. (2016). Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8328/1/Tesis%20I.%20M.%20227%20-%20Merino%20Freire%20Christian%20Renato.pdf>
- neurtek.com*. (2020). Obtenido de <https://www.neurtek.com/es/academia/articulos-tecnicos/metalografia-preparacion-de-muestras/cuales-son-los-pasos-a-tener-en-cuenta-en-una-preparacion-de-muestras>
- neurtek.com*. (2020). Obtenido de <https://www.neurtek.com/es/academia/articulos-tecnicos/metalografia-preparacion-de-muestras/cuales-son-los-pasos-a-tener-en-cuenta-en-una-preparacion-de-muestras>
- Norton, R. (2011). *Diseño de Maquinas: Un Enfoque integrado*. México: Pearson.
- Ñaupas, H., & Mejía, E. (2014). *Metodología de la investigación, Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Olmo, I. (2017). Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91361/fichero/TFG-Inmaculada+Olmo.pdf>

Portillas, Y., & Pinzón, C. (2018). Obtenido de

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/34403/Trabajo%20principal..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reigoza, D. (2017). Obtenido de

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6019/ReigozaGome;jsessionid=59208681229FC007B7E8E471D46855D5?sequence=2>

*struers.com*. (2021). Obtenido de <https://www.struers.com/es-ES/Products/Grinding-and-Polishing/Grinding-and-polishing-consumables>