



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**Tema: “DISEÑO DE UNA DESBASTADORA DE PROBETAS PARA LA
REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE METALOGRAFÍA”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

AUTOR:

Agualongo Caguana Alexis David

TUTOR:

Ing. Luis Miguel Navarrete López

Latacunga – Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Agualongo Caguana Alexis David** portador del número de cédula **172566165-4**, declaro ser el autor del presente proyecto: “**Diseño de una desbastadora de probetas para la realización de prácticas de metalografía**” siendo Ing. Luis Miguel Navarrete López, Tutor del presente trabajo; y expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, Agosto 2021

Agualongo Caguana Alexis David

C.I.: 172566165-4

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UNA DESBASTADORA DE PROBETAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE METALOGRAFÍA” de **AGUALONGO CAGUANA ALEXIS DAVID**, de la carrera **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificaciones.

Latacunga, Julio, 2021

TUTOR

Ing. Luis Miguel Navarrete López

C.I.: 180374728-4



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, el postulante: **AGUALONGO CAGUANA ALEXIS DAVID** con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO DE UNA DESBASTADORA DE PROBETAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE METALOGRAFÍA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes según la normativa institucional.

Latacunga, 26 de julio del 2021

Para constancia firman:

Ing. Laurencio Alonso Héctor Luis
C.I.: 175836725-2

Ing. Reinoso Peñaherrera Héctor Raúl
C.I.: 050215089-9

Ing. Cevallos Betún Segundo Ángel
C.I.: 050178243-7



AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi más sincero agradecimiento primeramente a Dios que me ha dado la fortaleza para culminar con mi carrera.

A todos quienes demostraron preocupación por incentivar me en el cumplimiento de esta tarea, a mi familia en especial a mi madre quien me inculcó valores y deseos de superación, también a mis tíos Enrique y Mariana quienes han sido un pilar de apoyo incondicional durante mi vida académica.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la cual he adquirido conocimientos aplicables en mi futura vida profesional.

A todos los docentes que han compartido su conocimiento en el transcurso de la carrera universitaria.

Alexis Agualongo



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios por darme la oportunidad de vivir, siendo mi guía, mi refugio, mi fortaleza por iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a personas que han sido soporte, ayuda y compañía durante todo el periodo de estudio.

Está dedicado también con todo mi cariño para las personas más especiales en mi vida como son a mi familia mi mamá, papá, hermanos, tíos y primos quienes han estado incondicionalmente conmigo en cada uno de mis logros y fracasos brindándome su apoyo incondicional durante la trayectoria de mi carrera universitaria.

Alexis Agualongo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: DISEÑO DE UNA DESBASTADORA DE PROBETAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE METALOGRAFÍA

RESUMEN

Diseño de desbastadora metalográfica se lo realiza debido a las necesidades que poseen los estudiantes al realizar prácticas de laboratorio en el taller mecánico de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la Carrera de Ingeniería Electromecánica con el fin de acortar tiempo de preparación de muestras debido a la cantidad de estudiantes que reciben dicha materia y cortas horas de clase. El objetivo de realizar este diseño es tener un sistema compacto el cual sea funcional y útil siempre y cuando cumplan con los requisitos de funcionamiento como son las fuerzas a aplicar en el proceso de desbaste, las revoluciones las cuales trabajaran las bandas de lijas, el sistema de refrigeración y el sistema de desagüe ya que esos parámetros que actuaran directamente con la muestra de esta manera el funcionamiento será ideal para un proceso de desbaste óptimo y preciso. Esto se lo conseguirá con la aplicación de normativa técnica para preparación de muestras metalográficas además de un criterio de diseño el cual ayudará para la selección e implementación de accesorios comerciales que se pueden adquirir en el mercado los cuales serán adjuntados de manera adecuada al diseño, tomando en cuenta los cálculos respectivos de diseño ya que a partir de estos se realizara la selección de cada elemento que conformara el sistema propuesto. Con lo planteado se establece un diseño compacto y funcional fundamentado en la normativa ASTM E3, la cual establece los parámetros que debe cumplir el diseño con la aplicación de cálculos y análisis CAE los cuales ayudaran a verificar la eficiencia de la propuesta de la desbastadora metalográfica.

Palabras clave: Desbastadora, diseño, simulación, sistema, dimensionamiento, materiales.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE:

DESIGN OF A SAMPLING MACHINE FOR THE PERFORMANCE OF METALOGRAPHY PRACTICES

ABSTRACT

Design of metallographic grinding machine is carried out due to the needs that students have when carrying out laboratory practices in the mechanical workshop of the Technical University of Cotopaxi of the Electromechanical Engineering Career in order to shorten sample preparation time due to the quantity of students who receive this subject and short hours of class. The objective of making this design is to have a compact system which is functional and useful as long as they meet the operating requirements such as the forces to be applied in the roughing process, the revolutions which the sandpaper bands will work, the system of refrigeration and the drainage system since those parameters that will act directly with the sample in this way the operation will be ideal for an optimal and precise roughing process. This will be achieved with the application of technical regulations for the preparation of metallographic samples in addition to a design criterion which will help for the selection and implementation of commercial accessories that can be acquired in the market which will be attached in an appropriate way to the design, taking The respective design calculations are taken into account, since from these the selection of each element that will make up the proposed system will be made. With the above, a compact and functional design is established based on the ASTM E3 standard, which establishes the parameters that the design must meet with the application of calculations and CAE analysis, which will help to verify the efficiency of the metallographic grinder proposal.

Keywords: Grinder, design, simulation, system, sizing, materials.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de la tesis al Idioma Inglés presentado por el estudiantes **Agualongo Caguana Alexis David** egresado de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, cuyo título versa “**DISEÑO DE UNA DESBASTADORA DE PROBETAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE METALOGRAFÍA**” lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, agosto del 2021

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACION GENERAL	1
Título:.....	1
Fecha de inicio:	1
Fecha de finalización:	1
Lugar de ejecución:.....	1
Facultad que auspicia:.....	1
Carrera que auspicia:	1
Líneas de investigación:.....	2
Sublíneas de investigación de la carrera:	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. EL PROBLEMA.....	2
2.1.1. Situación problemática.....	2
2.1.2. Formulación del problema	4
2.2. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.2.1. Objeto de estudio.....	5
2.2.2. Campo de acción	5
2.3. BENEFICIARIOS	5
2.4. JUSTIFICACIÓN	5
2.5. HIPÓTESIS	5
2.6. OBJETIVOS	6
2.6.1. General	6
2.6.2. Específico	6
2.7. SISTEMA DE TAREAS	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1. NORMATIVA ASTM.....	8
ASTM E-3.....	9
3.2. DEFINICIONES	9

3.2.1. Esmerilado burdo o tosco	9
3.2.2. Desbastadora o lijadora	10
3.2.3. Papel de lija	11
3.2.4. Tipos de materiales.....	12
3.2.5. CAE.....	12
3.2.6. Análisis de elementos finitos.....	14
3.2.7. CFD simulación de fluidos.....	15
Chumacera.....	15
Motores eléctricos DC.....	16
Tipos de motores	17
Potencia de motores	17
Tensiones de motores	17
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1. NORMATIVA ASTM E3	17
4.1.1. ESMERILADO	17
4.1.2. CÁLCULO DE FUERZAS REQUERIDAS	20
Fuerza [2]	20
4.1.3. TAMAÑO DE MUESTRA	21
4.1.4. CRITERIO DE SELECCIÓN DE PAPEL ABRASIVO.....	22
4.1.5. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	23
4.1.6. SELECCIÓN DE MOTOR.....	25
4.1.7. DISEÑO REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR	25
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	26
5.1. CÁLCULO DE FUERZAS REQUERIDAS	26
Fuerza de presión 30N.....	26
5.2. TORQUE	27
5.3. VELOCIDAD DEL SISTEMA	27
5.4. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	29
5.5. SELECCIÓN DE MOTOR.....	31
5.6. DISEÑO DE DEBASTADORA METALOGRAFICA	31

5.7. SELECCIÓN DEL MATERIAL	36
5.8. ANALISIS DE ELEMETOS FINITOS.....	37
5.9. SIMULACIÓN DE FLUIDOS	42
5.10. CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTOR DC.....	46
6. CONCLUSIONES.....	47
7. RECOMENDACIONES	48
8. BIBLIOGRAFÍA	49
9. ANEXOS	52
9.1. Anexo A: Características del motor a utilizar.....	52
9.2. Anexos B: Datos selección de chumaceras.....	53
9.3. Anexo C: Artículo Científico apoyo cálculos	61
9.4. Anexo D: Normativa ASTM E3	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2 1. Diagrama de Ishikawa.....	4
Figura 3. 1. Superficie de muestra para esmerilado.....	9
Figura 3. 2. Esquema rotación para preparación de muestras [2].....	10
Figura 3. 3. Software CAE	13
Figura 3. 4. Nodos y elementos de una malla.....	14
Figura 3. 5. Diagrama análisis de fluido.....	15
Figura 3. 6. Tipos de rodamientos en el mercado.....	16
Figura 3. 7. Dimensiones de motores eléctricos	16
Figura 4. 1. Diagrama de cuerpo libre en soporte de lija[2].....	20
Figura 4. 2. Motor eléctrico de scooter.....	25
Figura 5. 1. diagrama de cuerpo libre de la muestra y la base de lija[2]	26
Figura 5. 2. Dimensiones que debe poseer soportes según la muestra	32
Figura 5. 3. Diseño de resortes para complementar sujeción.	33
Figura 5. 4. Ajuste de probetas con prisioneros	33
Figura 5. 5. Sistema de refrigeración.....	34
Figura 5. 6. Agujero sistema de desagüe	34
Figura 5. 7. . Base con separación para aislamiento del motor	35

Figura 5. 8. Diseño de rodamientos del sistema.....	35
Figura 5. 9. Tipos de material a seleccionar en el software.....	38
Figura 5. 10. Características de cada material a seleccionar.	38
Figura 5. 11. Mallado realizado en la desbastadora	39
Figura 5. 12. Fijar la base para realizar análisis de elementos finitos	39
Figura 5. 13. Fijación de fuerzas que actúan en la base de la lija.....	40
Figura 5. 14. Análisis estático de tensión nodal de software.....	41
Figura 5. 15. Análisis de desplazamiento estático de software	41
Figura 5. 16. Deformación unitaria estática de software.....	42
Figura 5. 17. Sólido creado para simulación	43
Figura 5. 18. Mallado del sistema en software.....	43
Figura 5. 19. Configuraciones de diseño para simulación.....	44
Figura 5. 20. Selección de tipo de fluido con el cual se va a trabajar	44
Figura 5. 21. Continuidad de flujo agua.....	45
Figura 5. 22. Análisis de velocidad diseño tubería, pendiente	45
Figura 5. 23. Análisis de velocidad de agua en el sistema	46
Figura 5. 24. Simulación de circuito control velocidad motor.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Tareas a realizar.....	7
Tabla 3. 1. Clasificación número de lija.....	12
Tabla 4. 1. Tabla 4.1. Métodos de preparación según ASTM E3 (Uso general) [13].....	18
Tabla 4. 2. Métodos de preparación según ASTM E3(Materiales mayores a 45HRC). [13].....	19
Tabla 4. 3. Métodos de preparación según ASTM E3 (Materiales menores a 45HRC) [13].....	19
Tabla 4. 4. Coeficientes de fricción de materiales.....	21
Tabla 4. 5. Clasificación internacional del papel abrasivo[13]	22
Tabla 5. 1. Selección de valores a trabajar	28
Tabla 5. 2. Selección tipo de material	36
Tabla 5. 3. Características del material.....	37

1. INFORMACION GENERAL

Título: Diseño de una máquina desbastadora de probetas para la realización de prácticas de metalografías

Fecha de inicio:

Abril del 2021

Fecha de finalización:

Agosto del 2021

Lugar de ejecución:

Universidad técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Ciencias de la ingeniería y aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería en electromecánica

Equipo de trabajo:

Ing. Luis Miguel Navarrete López

Alexis David Agualongo Caguana

Área de conocimientos:

33. CIENCIAS TECNOLÓGICAS [1]

3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas

3306.03 Motores Eléctricos

3311 Tecnología de la Instrumentación

3311.05 Equipos Eléctricos de Control

3313 Tecnología E Ingeniería Mecánicas

3313.14 Máquinas-Herramienta y Accesorios

3313.15 Diseño de Maquinas

Líneas de investigación:

Procesos industriales.

Sublíneas de investigación de la carrera:

Diseño, Construcción y Mantenimiento de Elementos, Prototipos y Sistemas Electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1. Situación problemática

El análisis metalográfico o análisis microestructural se ha venido desarrollando de mejor manera con el pasar del tiempo debido a que existen combinaciones o fundiciones de metal las cuales deben

ser comprobadas en su estructura y características. Estos metales deben cumplir con parámetros internacionales la cual en este caso es la ASTM que es una normativa internacional de calidad la cual satisface las guías y recomendaciones emitidas por el comité de obstáculos técnicos al comercio.

Al estar estandarizada la calidad de los metales deben poseer características mecánicas específicas las cuales pueden ser comprobadas con un análisis metalográfico para ello la normativa ASTM-E3 estandariza el proceso además de los pasos a seguir para realizar una muestra y de esta manera poder observar la microestructura de uno o varios metales con una misma calidad de muestra y no altere la misma.

Las muestras deben ser preparadas de tal manera que no altere su estructura molecular y para ello se necesita seguir cierta cantidad de pasos secuenciales los cuales si se realizan de forma manual llevara mayor cantidad de tiempo que al tener un sistema automatizado, debido a que si es preparado de manera adecuada se obtendrán mejores resultados en menor tiempo.

Teniendo en cuenta lo mencionado sobre el análisis metalográfico los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la materia impartida de materiales en sus prácticas de laboratorio realizan este proceso de manera manual con esto al tener poco tiempo en el taller de la universidad no se puede lograr un resultado satisfactorio.

Además que al no tener el conocimiento de los estándares planteados internacionalmente para realizar dicho análisis estos se podrían realizar de manera errónea en los diferentes metales que se vayan a utilizar según su composición o aleaciones ya que se aplica diferentes pasos de papel abrasivo dependiendo de sus diferentes durezas para así poder llegar al resultado deseado.

2.1.2. Formulación del problema

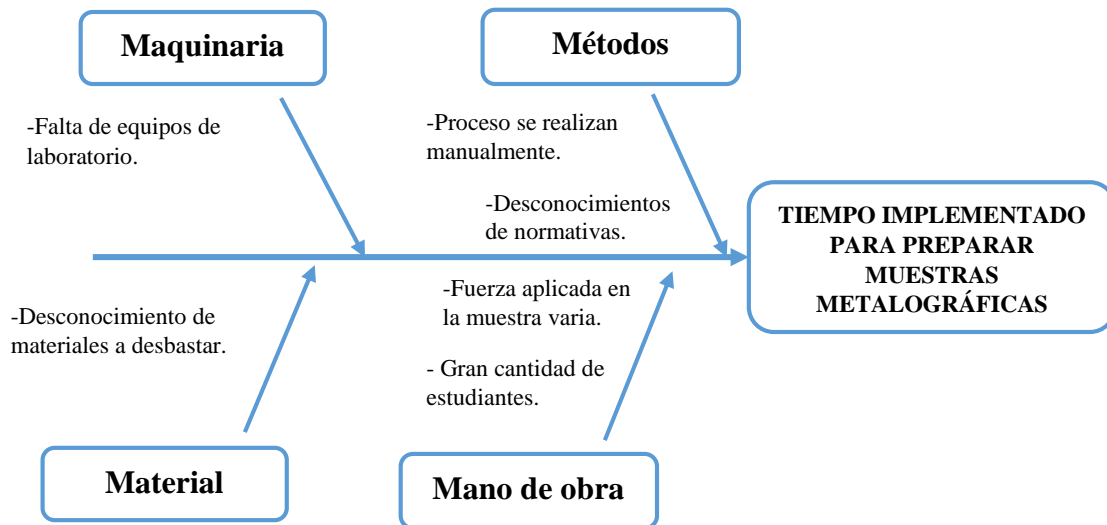


Figura 2 1. Diagrama de Ishikawa

Los largos tiempos empleados al momento de preparar una probeta para un análisis metalográfico de manera manual debido a la cantidad de estudiantes que deben realizar las practicas además de la falta de quipos de laboratorio, otro de los factores que intervienen son la fuerza que se aplica, el desconocimiento de los materiales a preparar y de normativas existentes las cuales sustentan y garantizan el proceso a realizarse en la práctica.

2.2. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de estudio

Desbastadora metalográfica de cuatro bandas.

2.2.2. Campo de acción

El diseño de este sistema empleara conocimientos basados en diseño de máquinas adicionando desarrollo de herramientas y accesorios además constara de una implementación de un motor con circuito de control el cual ayuda un proceso más controlado.

2.3. BENEFICIARIOS

Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi

2.4. JUSTIFICACIÓN

Al diseñar una desbastadora metalográfica de cuatro bandas se puede solventar la necesidad que tienen los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica en la asignatura de materiales, debido a su cantidad de estudiantes los cuales lograrán realizar el proceso de desbaste para sus prácticas de laboratorio en menor tiempo al tener trabajando las múltiples bandas que posee el sistema diseñado.

De esta manera se podría acortar tiempos de preparación de muestras y así permitir que una mayor cantidad de estudiantes realicen una práctica de laboratorio satisfactoria teniendo en cuenta todos los parámetros que recaen sobre el metal a preparar como una superficie equiplanar o limpieza necesaria del material posterior al corte sin alterar la estructura del material.

El proceso de desbaste se logrará basándose en la Normativa ASTM-E3 la cual nos da los parámetros a seguir en un método automatizado para preparar muestras metalográficas teniendo en cuenta las revoluciones por minuto del papel lija, la fuerza a aplicar sobre la muestra, la refrigeración necesaria para no alterar la microestructura del metal y el tiempo de desbaste que tendrá la muestra según su nivel de dureza según indica las tablas en la normativa.

2.5. HIPÓTESIS

Con el diseño de una desbastadora metalográfica basada en la normativa ASTM-E3 se pretende reducir los tiempos para preparar las muestras metalográficas.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Diseñar una maquina desbastadora de probetas de cuatro bandas basada en la normativa internacional ASTM-E3 para la realización de pruebas metalográficas en menor tiempo.

2.6.2. Específicos

- Revisión de propuestas existentes y normativa que sustenten el diseño de la desbastadora de 4 bandas.
- Desarrollar propuesta de desbastadora.
- Verificar diseño propuesto mediante softwares de ingeniería.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos Específicos	Actividades (Tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Revisión de propuestas existentes y normativa que sustenten el diseño de la desbastadora de 4 bandas.	<ul style="list-style-type: none"> - Búsqueda de normativas que respalden proceso de desbaste - Revisión de propuestas existentes de mecanismos similares. 	<ul style="list-style-type: none"> - PDF con Normativa ASTM que sustente proceso de análisis metalográfico. - Documento científico de desbastadora de una banda sustentado con diseño y creación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de proceso que debe cumplir el proceso de desbaste. - Revisión de cálculos y de diseños para posterior aplicación en nuevo sistema
Desarrollar propuesta de desbastadora	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de software de dibujo el cual ayude para el diseño de la propuesta. - Creación de diseño que se desea obtener. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de software de diseño CAD, CAE. - Inicio de cálculos para diseño del mecanismo de la desbastadora metalográfica 	<ul style="list-style-type: none"> - Software CAD, CAE Solid works. - Registro de cálculos y selección de piezas en el mercado.
Verificar diseño propuesto mediante softwares de ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> - Ejecución de simulaciones y análisis del sistema verificando la eficiencia del mismo - Modificaciones finales de diseño 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de elementos finitos para verificar eficiencia del mecanismo diseñado. - Correcciones de diseño y ajustes del mecanismo 	<ul style="list-style-type: none"> - Software que permita análisis CAE con mallado detallado para análisis de deformación. - Verificar y corregir memorias de calculo

Tabla 2. 1. Tareas a realizar

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Metalografía es el estudio que se realiza a los metales para un análisis de su microestructura en los diferentes tipos de aleaciones metálicas, con este análisis se observa las propiedades químicas y mecánicas del material. En el cual consiste en la preparación y análisis del metal para ello se necesita de un proceso adecuado para cada material de esta manera no alterar su estructura para realizar el análisis metalográfico correcto.

A través del tiempo se ha demostrado que poco o nada se puede obtener de un análisis metalográfico si la probeta a realizar el ensayo no se la ha preparado adecuadamente y se obtiene una superficie completamente plana y que cumpla con los estándares exigidos bajo normas para la realización de este proceso. [2]

La preparación de la probeta consiste primero en una superficie plana y semipulida con la ayuda de papel lija de diferente finura de grano para obtener el resultado esperado para el próximo proceso que es un pulido fino. Uno de los factores más importantes que recae sobre la preparación de probetas metalográficas es con el cuidado que se las realiza dicha operación debido a que si existe alguna anomalía inutilizará la muestra. Además de que las muestras deben ser del tamaño adecuado la cual permita su manejo debido a que las muestras de gran tamaño tienden a redondearse y se necesita de un mayor tiempo para preparar la muestra. [2]

Teniendo en cuenta el proceso metalográfico, esta investigación se ha centrado en el proceso de desbaste o esmerilado para ello se ha tomado en cuenta normativa mecánica ASTM E-3 la cual se la ha citado de tal manera que con esta información se desea partir el diseño de una desbastadora metalográfica.

3.1. NORMATIVA ASTM

ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grande del mundo.

Las normas ASTM se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo sistemas de calidad comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales por todo el mundo. [3]

ASTM E-3

Guía estándar para muestras metalográficas siendo el objetivo principal de este revelar los componentes y estructura de los materiales metálicos enfocados en su microestructura para un análisis de daños del material.

3.2. DEFINICIONES

3.2.1. Esmerilado burdo o tosco

La muestra obtenida debe ser fácil de manipular, una muestra blanda se puede aplanar si se mueve lentamente a través de una lima plana poco áspera.

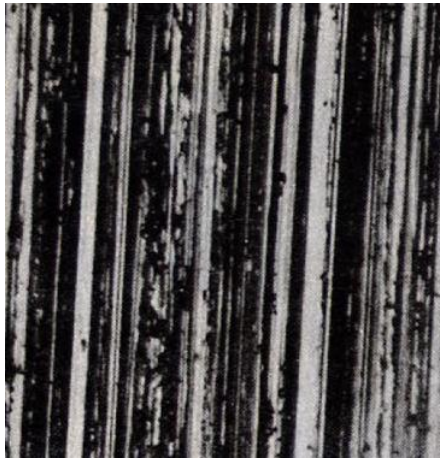


Figura 3. 1. Superficie de muestra para esmerilado

El esmerilado se lo realiza hasta que la superficie se encuentre plana y libre de mella, rebabas y todas rayaduras que son visibles por el corte sea este manual o por corte de disco.

La muestra blanda o dura se puede esmerilar sobre una lija de banda siempre manteniendo esta muestra fría sumergiéndola constantemente en agua durante el esmerilado. En todas las operaciones de esmerilado o pulido la muestra debe moverse de manera perpendicular a las rayaduras existentes.

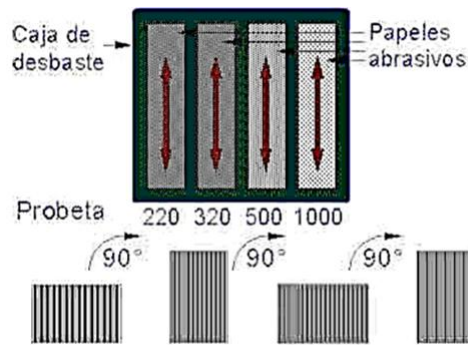


Figura 3. 2. Esquema rotación para preparación de muestras [2]

3.2.2. Desbastadora o lijadora

Las lijadoras son máquinas que simulan el movimiento de vaivén o circular que se realiza una persona con una lija manual el cual quieren cumplir con un proceso que es un pulido, el polvo producido como residuos después del lijado se aloja en sus agujeros. [4]

Este proceso se lo utiliza en varios campos y se ha creado varios tipos de estas entre que varían según la lija que se utiliza y la fuente de alimentación con la que funciona

3.2.2.1. clasificación según su movimiento

- **Rotativas:** Su característica es que gira sobre un punto central que es fijo este tipo se caracteriza por su fuerte poder abrasivo para eliminar residuos.
- **Vibratorias:** Replica un movimiento elíptico que se realiza una persona en un lijado manual.
- **Orbitales:** Posee un eje interno que permite realizar un movimiento rotativo evitando dejar marcas de lija y es utilizado para trabajos de lijado fino

3.2.2.2. clasificación según tipo de lija

- **Lijadora de banda:** Este sistema posee dos rodillos en el cual circula la lija y este sistema es empleado para lijar superficies planas
- **Lijadora rectangular:** Esta lijadora posee dos platos rectangulares la cual sirve para lijar superficies planas.

- **Lijadora rectangular:** Posee platos circulares las cuales poseen lijas de la misma forma, pero de diferente diámetro según la necesidad.

3.2.2.3. clasificación según la fuente de alimentación

Lijadora neumática: Son más livianas y producen poco ruido en comparación a las lijadoras eléctricas

Lijadora eléctrica: Estas lijadoras poseen una velocidad de trabajo estable y permanente para conseguir esto se emplea un motor eléctrico el cual las hacen pesadas, ruidosas y de gran tamaño

3.2.3. Papel de lija

Herramienta que tiene adherido material abrasivo sobre un soporte de papel o tela [5]

3.2.3.1. Clasificación de lijas [6]

3.2.3.1.1 Según el tipo de grano

Carburo de silicio: grano delgado, anguloso pero de gran durabilidad.

Oxido de aluminio: grano redondo sin aristas agudas, tenaz y de alta durabilidad, es ideal para lijado de materiales como el metal.

Corindón de circonio: Grano uniforme muy tenaz y muy alta duración.

3.2.3.1.2. Según el soporte

Existe 3 tipos de soporte:

Papel: es más barato debido a su resistencia y flexibilidad

Poliéster: es flexible y resistente más utilizado para lijas de metales e imprescindible para utilizar en bandas

Fibra vulcanizada: excelente rigidez y máxima resistencia.

3.2.3.1.3. Según el número de grano

Nos brinda información sobre el tamaño del grano

GRANO	TIPO DE LIJA	
de 40 a 50	muy gruesa	
de 60 a 80	Gruesa	
de 100 a 120	Media	
de 150 a 180	Fina	
de 240 a 400	muy fina	

Tabla 3. 1. Clasificación número de lija

3.2.4. Tipos de materiales

Los materiales se clasifican en 5 grupos que son: metales, polímeros, cerámicos, semiconductores y compuestos.

- **Metales:** Materiales de alta densidad, sólidos excepto el mercurio
- **Polímeros:** También llamados plásticos
- **Cerámicos:** Sólidos inorgánicos producidos mediante tratamiento de calor
- **Semiconductores:** Son conductores bajo determinadas características caso contrario son aislantes.
- **Compuestos:** Poseen gran resistencia en relación al peso.

3.2.5. CAE

Ingeniería asistida por computadora de sus siglas en inglés CAE (Computer Aided Engineering) con la ayuda de un software que permite realizar diferentes análisis estáticos dinámicos de fluidos térmicos electromagnéticos acústicos entre otros. Brinda varios beneficios con la elaboración de proyectos detectando e identificando fallas.

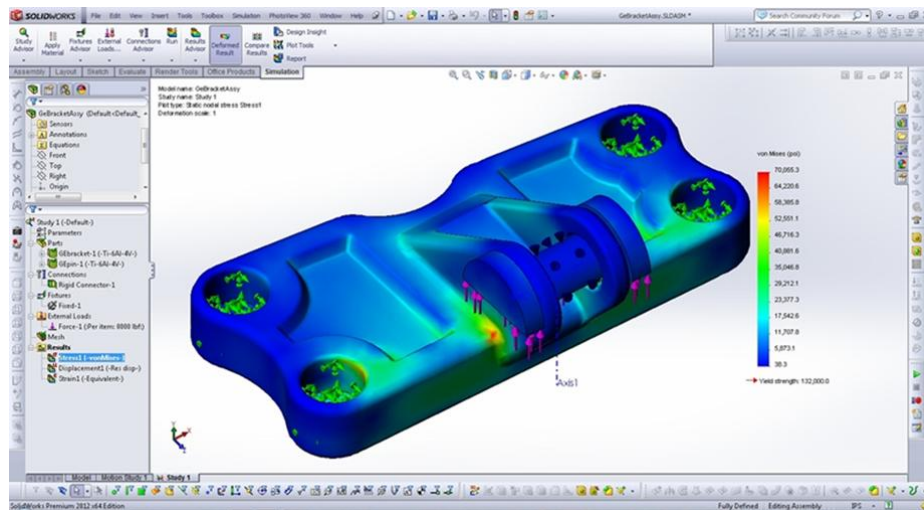


Figura 3. 3. Software CAE

Con la ayuda de la ingeniería asistida por computadora se pueden crear prototipos virtuales, los diseños pasan por diferentes procesos pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento.

Durante la primera etapa se define materiales, restricciones e interacciones con elementos externos, fuerzas aplicadas temperatura, entre otras.

En la fase de procesamiento es la etapa donde el software realiza cálculos y genera archivos donde se podrá almacenar resultados que posterior serán analizados

En la etapa de post procesamiento los datos son analizados y procesados utilizando herramientas visuales y de diagnóstico de tal manera que se puede validar el comportamiento del diseño y tomar decisiones de aprobar el diseño o realizarse alguna modificación.

Las herramientas CAE son muy utilizadas en la ayuda para la elaboración de proyectos con el análisis de evaluación de producto realizando pruebas sean estas para mejoras o analizando fallas, adecuación y optimización de productos y equipos.

Las técnicas de análisis asistido por computadora se las realiza por varios métodos entre estas destacan las más comunes que son Análisis por Elementos Finitos (FEA) y Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) entre otros. [7]

3.2.6. Análisis de elementos finitos

Método computarizado para predecir el funcionamiento y la reacción de un producto ante fuerzas, vibraciones calor flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real. La simulación de elementos finitos permite verificar si el producto se romperá desgastará o tendrá un funcionamiento óptimo. [9]

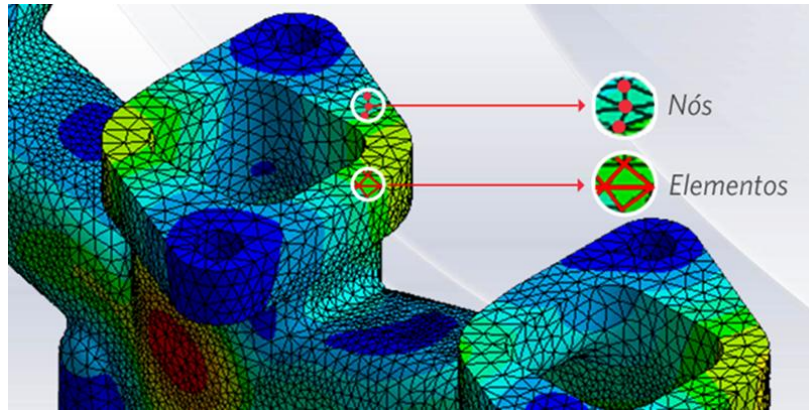


Figura 3. 4. Nodos y elementos de una malla

La geometría de la pieza sometida a cargas y restricciones se subdivide en partes más pequeñas a estos se los conoce como elementos.

El método propone que un gran número de variables sean remplazadas por una cantidad limitada de elementos que tienen bien definido el comportamiento. Estas divisiones poseen diferentes formas entre estas cuadrangular, triangular, etc. esta forma depende del tipo y tamaño del elemento a analizar. Al ser limitados el número de elementos que se va a analizar de aquí sale el nombre de elementos finitos la cual da el nombre al método mencionado

Los elementos finitos están unidos unos a otros por puntos los cuales toman el nombre de nodos o puntos nodales y al conjunto de estos elementos y nodos se lo llama malla. Este método numérico se resolverá de manera aproximada debido a las subdivisiones geométricas que posea.

La precisión de este método depende de la cantidad de nodos y elementos además también del tamaño y elementos que conformen la malla, con lo mencionado podemos mencionar que si el

elemento a analizar es de menor tamaño y tiene una gran cantidad de elementos en su malla más exacta será el resultado del análisis. [8]

3.2.7. CFD simulación de fluidos

Análisis de dinámica computacional CFD de sus siglas en inglés (Computational Fluid Dynamics) este análisis nos permite conocer el comportamiento de un fluido en un sistema sea este por dentro del mismo o a su alrededor. [9]

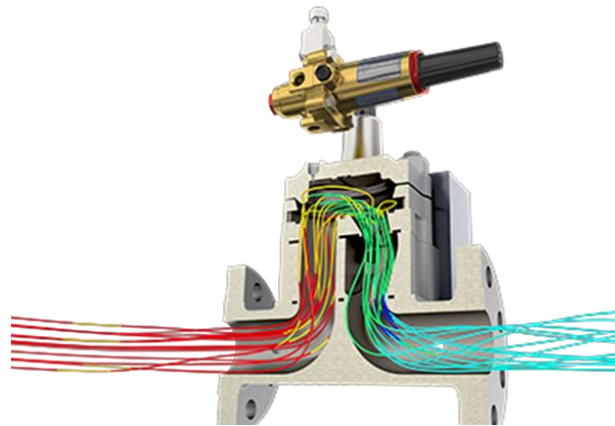


Figura 3. 5. Diagrama análisis de fluido

Este análisis permite calcular fácilmente las fuerzas de fluidos e interpretar el impacto que genere un líquido o gas dentro de un producto. La simulación de análisis de fluidos elimina la complejidad en el diseño ahorrando costes de desarrollo eliminando la creación de prototipos para la revisión del diseño. [10]

Chumacera

Rodamiento montado que se usa para dar apoyo a un eje de rotación estas se seleccionan bajo un criterio específico de horas de uso que se les dará en un sistema. [11]



Figura 3. 6. Tipos de rodamientos en el mercado

Motores eléctricos DC

Los motores eléctricos de corriente continua se encuentran alimentados por una batería o fuente y su función principal es transformar energía eléctrica en energía mecánica de rotación.



Figura 3. 7. Dimensiones de motores eléctricos

Las ventajas de seleccionar un motor eléctrico es que se puede hallar motores pequeños y ligeros que posean un par de giro elevado y una velocidad constante, una de las características que sobresalen es que son silenciosos. [12]

Los motores posibles a tener en cuenta son los motores que se implementan en bicicletas o scooters esto teniendo en cuenta el torque con el que trabajan.

Tipos de motores

Para las bicicletas se pueden montar dos tipos de motores de corriente continua con escobillas además de motores Brushless (sin escobillas).

La diferencia entre estos motores es la potencia de arranque que posee cada una de estas debido a que el motor de escobillas tiene más potencia de arranque en comparación a los motores tipo brushless de iguales características.

Potencia de motores

La potencia con la que trabaja estos motores varían entre 180w y 250w estos siendo valores nominales, además de que se debe tener en cuenta que en el arranque se presentan picos de potencia de casi el doble por ello estos motores deben tener un controlador para disminuir o aumentar la potencia de arranque.

Tensiones de motores

La tensión con la que trabajara el motor varía entre los 24V a 36V aproximadamente

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño de la desbastadora metalográfica primero se realizó la investigación en artículos científicos, normativas y propuestas de sistemas existentes para lo cual primero se debe tener conocimiento del proceso metalográfico además de conocimiento de transmisión de poleas y fuerzas sobre un cuerpo para ello se ha tenido en cuenta los siguiente.

4.1. NORMATIVA ASTM E3

Según la normativa ASTM E3 para el proceso de esmerilado se debe tener en cuenta lo siguiente:

4.1.1. ESMERILADO

el esmerilado se puede realizar de varias formas que van desde frotar muestras en una pieza estacionaria de papel abrasivo hasta el uso de mecanismos automáticos. La elección del método depende del número y tipo de muestras que se van a preparar considerando requisitos de uniformidad y planitud.

Para iniciar con el diseño se debe realizar los respectivos cálculos para el dimensionamiento de la desbastadora estos valores son tomados desde la normativa considerando el método de preparación de muestras automatizado se establece lo siguiente:

Los mecanismos para preparación de muestras automatizada utilizan soportes capaces de acomodar múltiples especímenes, las principales ventajas de este procedimiento son la calidad constante de la muestra y la sustancial disminución de tiempo al preparar la muestra

La mayoría de dispositivos de desbaste o pulido reduce la cantidad de rayaduras en la muestra la cual es necesaria entre etapas de la limpieza de la superficie.

Los métodos de preparación de muestras se clasifican en tres tipos los cuales se evidencian en las siguientes tablas.

La tabla 2 ilustra un método de preparación automatizada la cual utiliza papel lija de SiC para el desbaste y es adecuado para todos los materiales excepto los más duros

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Tabla 4. 1. Tabla 4.1. Métodos de preparación según ASTM E3 (Uso general) [13]

El método de la tabla 3 ha demostrado ser eficaz con materiales más duros que 45 HRC, mientras que la tabla 4 se puede utilizar para preparación de materiales más blandos a 45 HRC.

TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials \geq HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6–15 μ m diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6 μ m diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth synthetic suede ^E	compatible lubricant water	1 μ m diamond 0.04 μ m colloidal silica or 0.05 μ m alumina	60–120 30–60	10–20 (3–5) 10–20 (3–5)	100–150 100–150	CO CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Tabla 4. 2. Métodos de preparación según ASTM E3 (Materiales mayores a 45HRC). [13]

TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials \leq HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6–15 μ m diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6 μ m diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth synthetic suede ^E	compatible lubricant water	1 μ m diamond 0.04 μ m colloidal silica or 0.05 μ m alumina	60–120 30–60	10–20 (3–5) 10–20 (3–5)	100–150 100–150	CO CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Tabla 4. 3. Métodos de preparación según ASTM E3 (Materiales menores a 45HRC) [13]

Estos procesos de desbaste pueden dar excelentes resultados fuera de los rangos recomendados de dureza siempre y cuando se cumpla con los procesos para realizar un análisis metalográfico.

4.1.2. CÁLCULO DE FUERZAS REQUERIDAS

Para el dimensionamiento se procede con los siguientes cálculos

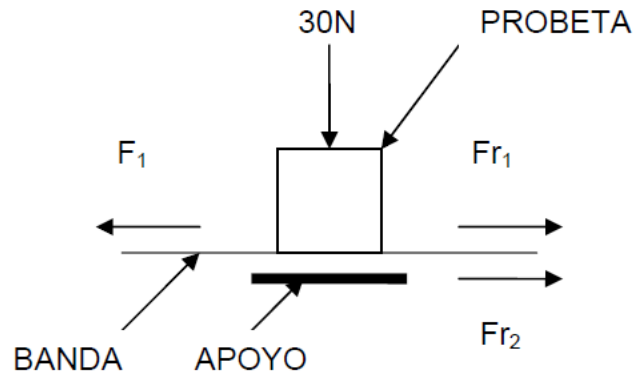


Figura 4. 1. Diagrama de cuerpo libre en soporte de lija[2]

Fuerza [2]

Para el análisis de las fuerzas se ha tenido en cuenta lo siguiente

$$F_1 = Fr_1 + Fr_2 \quad (4.1.)$$

Donde:

F₁: Fuerza Periférica sobre el eje.

Fr₁: Fuerza de Fricción entre la probeta y la banda

Fr₂: Fuerza de Fricción entre la banda y el apoyo.

Teniendo esto en cuenta cada una de las variables procedemos a calcular las fuerzas de fricción mediante las siguientes ecuaciones

$$Fr_1 = \text{fuerza aplicada a la probeta } (F_a) \cdot K1 \quad (4.2.)$$

$$Fr_2 = \text{fuerza aplicada a la probeta } (F_a) \cdot K2 \quad (4.3.)$$

Donde:

K1: (0,6) Coeficientes de fricción entre la probeta y la banda

K2: (0,1) son los coeficientes de fricción entre la banda y el apoyo

<i>Material de fricción</i>	<i>Material de fricción</i>		<i>Rango de presión</i>	
	<i>En seco</i>	<i>En aceite</i>	<i>(psi)</i>	<i>(kPa)</i>
Compuestos moldeados	0.25–0.45	0.06–0.10	150–300	1 035–2 070
Materiales tejidos	0.25–0.45	0.08–0.10	50–100	345–690
Metal sinterizado	0.15–0.45	0.05–0.08	150–300	1 035–2 070
Corcho	0.30–0.50	0.15–0.25	8–15	55–100
Madera	0.20–0.45	0.12–0.16	50–90	345–620
Hierro fundido	0.15–0.25	0.03–0.06	100–250	690–1 725
Con base de papel	—	0.10–0.15	—	—
Grafito/resina	—	0.10–0.14	—	—

Tabla 4. 4. Coeficientes de fricción de materiales

4.1.3. TAMAÑO DE MUESTRA

Además que para el dimensionamiento de desbastadora se debe tener en cuenta el tamaño de la muestra debido a la superficie de esmerilado debe de cubrir toda el área de la muestra

Con lo mencionado se debe tener en cuenta su dimensión según ASTM E3 las muestras que se van a esmerilar son generalmente de entre 12 a 25 mm cuadrados o aproximadamente de 12 a 25 mm de diámetro si es cilíndrico, su altura no debe ser mayor a lo necesario para conveniencia en momentos de realizar el pulido. [13]

Teniendo en cuenta las dimensiones de las muestras se establece que mientras más grandes son las muestras mayor dificultad presentara al prepararlas mientras que al ser pequeñas serán más fácil de manipular durante el proceso de esmerilado.

4.1.4. CRITERIO DE SELECCIÓN DE PAPEL ABRASIVO

Para la selección de tamaño de grano abrasivo son expresados en ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) o sistema CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) unidades con la correspondiente FEPA (Federación Europea de Productores abrasivos). Teniendo en cuenta similitud según el diámetro medio de partículas aproximado sienta el tamaño de partículas dado en micrómetros. [13]

TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	...	...
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	...	...
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	...	...
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000 ^A	5.0	...	...

^A Not found in the FEPA grading system.

ANSI—American National Standards Institute
 CAMI—Coated Abrasives Manufacturers Institute
 FEPA—European Federation of Abrasive Producers

Tabla 4. 5. Clasificación internacional del papel abrasivo[13]

El esmerilado debe comenzar con el mejor papel o piedra capaz de aplanar la muestra y eliminar los efectos de operaciones anteriores como el seccionamiento.

El esmerilado consta de dos etapas plana (rugoso) y fina:

El rectificado plano o rugoso (grano 240(P220) y más grueso) se puede realizar en correas giratorias o piedra para lograr.

- Aplanar una superficie de corte irregular o dañada.
- Eliminar daños de seccionamiento o incrustaciones.
- Eliminar cantidades de material de muestras para llegar al plano deseado.
- Nivelar la superficie de montaje

En el esmerilado fino el paso del esmerilado rugoso se debe eliminar. La muestra se la pasa por papel abrasivo más fino utilizando agua para actuar como un refrigerante.

Posterior realizado el proceso de desbaste la muestra debe de ser limpiada a fondo con solución que contenga inhibidor de corrosión

4.1.5. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Para seleccionar los rodamientos se procede a calcular con el catalogo SKF siguiendo los siguientes pasos y diagramas de apoyo.

- **Seleccionar el rodamiento**

Seleccionado del catálogo de rodamientos SKF

- **Lubricación**

$$dm = 0.5(d + D) \quad (4.4.)$$

d = diámetro interior

D = diámetro exterior

En el **Diagrama 13**, según el dm y la temperatura se selecciona la viscosidad del lubricante V1.

- **Vida nominal básica**

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right) * \left(\frac{c}{p}\right)^n \quad (4.5.)$$

Donde:

n = *velocidad que va a trabajar*

C = *Capacidad de carga dinamica valor en tabla de rodamiento.*

p = *Carga que soportara*

n **exponente** = *valor segun rodamiento sea de rodillos (3) o de esferas (1/3)*

- **Condiciones de lubricación**

Seleccionar valor de viscosidad según su grado de contaminación de la tabla 5

- **Factor de contaminación**

$dm < 100$

$$nc * \frac{Pu}{p} \quad (4.6.)$$

- **Vida nominal a_{SKF}**

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h} \quad (4.7.)$$

- **Carga mínima**

$$F_{rm} = kr \left(6 + \frac{4n}{nr}\right) * \left(\frac{dm}{100}\right)^2 \quad (4.8)$$

Si F_{rm} menor al P_u del catálogo por ende si soportará la carga mínima del sistema y no tendrá deslizamiento existiendo desgaste prematuro.

4.1.6. SELECCIÓN DE MOTOR

Para seleccionar el motor eléctrico se debe tener en cuenta los valores de funcionamiento que este tiene como son el torque mínimo, potencia y la velocidad que necesita la desbastadora de cuatro bandas y ajustarlos a las necesidades que se desea cumplir.

Buscando ante estas características además de lo mencionado anteriormente se desea buscar un motor eléctrico que se ajuste a las dimensiones del diseño.



Figura 4. 2. Motor eléctrico de scooter

4.1.7. DISEÑO REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR

Para implementar un motor eléctrico de corriente directa se debe tener en cuenta que sus velocidades nominales son altas por ello se debe plantear un circuito eléctrico el cual permita regular y controlar dichas revoluciones según se lo requiera por ello se propone el diseño de un circuito de control de velocidad.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para iniciar con el diseño de la desbastadora se debe tener en cuenta procesos innecesarios de manufactura debido a que existen partes comerciales las cuales se las puede adquirir bajo catálogo con dimensionamiento específico, como son las poleas, correas, chavetas, motor etc. Y así reducir tiempos de diseño.

5.1. CÁLCULO DE FUERZAS REQUERIDAS

Fuerza de presión 30N

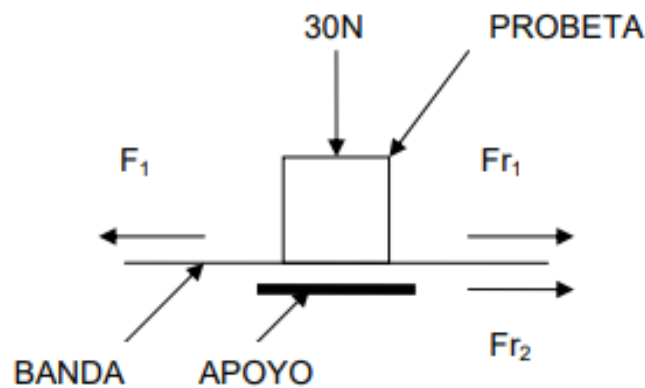


Figura 5. 1. diagrama de cuerpo libre de la muestra y la base de lija[2]

Se considera que la fricción entre la parte posterior de la lija y la superficie metálica es similar a la del papel sobre una superficie metálica. Con ello se obtiene los siguientes resultados.

$$F_{r1} = 30 * 0.15 = 4.5 N \quad (5.1.)$$

Se asume que la fricción entre la probeta y la lija es similar al de una hoja y metal.

$$F_{r2} = 30 * 0.6 = 18 N \quad (5.2.)$$

Por lo tanto:

$$F_1 = F_{r1} + F_{r2} \text{ (5.3.)}$$

$$F_1 = 4.5 + 18 = 22.5 \text{ N (5.4.)}$$

5.2. TORQUE

El torque mínimo que debe soportar el motor es el correspondiente a la fuerza que ejercen las probetas en relación a las lijas y soportes, teniendo esto en cuenta se realiza el siguiente calculo.

$$T_1 = F_1 * \left(\frac{D}{2}\right) = N.m \text{ (5.5.)}$$

$$T_1 = 22.5 * \left(\frac{0.05}{2}\right) = \mathbf{0.5625 \text{ N.m}} \text{ (5.6.)}$$

Donde

T_1 : Torque producido por cada sección de lijadora

D : Diámetro de la polea conductora

Obtenido el valor de T_1 se procede a calcular el torque total debido a que el sistema completo posee 4 secciones de lijado por ende el torque o par mínimo para que trabaje el sistema es.

$$T_{Total} = T_1 * \text{secciones de lijado} = N.m \text{ (5.7.)}$$

$$T_{Total} = 0.5625 * 4 = \mathbf{2.25 \text{ N.m}} \text{ (5.8.)}$$

5.3. VELOCIDAD DEL SISTEMA

Para dimensionar un motor eléctrico el cual realice el trabajo de desbaste se procede con la selección de las revoluciones que debe realizar la banda abrasiva (Banda de lija).

La velocidad lineal del sistema se calcula partiendo desde las RPM que especifica las tablas de métodos de preparación de muestras metalográficas.

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Tabla 5. 1. Selección de valores a trabajar

Las RPM del Sistema oscilaran entre 200 y 300 con ello se procede con el cálculo tomando en cuenta el de mayor valor y se obtiene la velocidad angular (w) de la siguiente manera

$$300 \frac{rev}{min} = \frac{2 \pi rad}{1 rev} = \frac{1 min}{60 seg} = w \quad (5.9.)$$

$$w_1 = 31.4159 \text{ rad/s} \quad (5.10.)$$

Con esta información obtenemos con que velocidad periférica del equipo es la siguiente

$$v = w_1 \cdot r_1 \text{ [m/s]} \quad (5.11.)$$

$$v = 31.4159 \cdot \frac{0.05}{2} \text{ [m/s]} \quad (5.12.)$$

$$v = 0.7854 \text{ [m/s]} \quad (5.13.)$$

5.4. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Para seleccionar los rodamientos se procede a calcular con el catálogo SKF siguiendo los siguientes pasos y diagramas de apoyo.

- **Seleccionar el rodamiento**

61800 (Seleccionado del catálogo de rodamientos SKF)

d = diámetro interior = 10mm

D = diámetro exterior = 19mm

- **Lubricación**

$$dm = 0.5(d + D) \quad (5.14.)$$

$$dm = 0.5(10 + 19) \quad (5.15.)$$

$$dm = 14.5 \quad (5.16.)$$

En el **Diagrama 13**, según el dm y la temperatura se selecciona la viscosidad del lubricante

$$V1 = 90 \frac{mm^2}{s} \quad (5.17.)$$

ISO VG 100

- **Vida nominal básica**

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right) * \left(\frac{c}{p}\right)^n \quad (5.18.)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60*300}\right) * \left(\frac{1.72}{0.065}\right)^3 \quad (5.19.)$$

$$L_{10h} = 1029372.98 h \quad (5.20.)$$

- **Condiciones de lubricación**

Seleccionar valor de viscosidad tabla 5

$$\text{ISO VG 100} = 100 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

$$K = \frac{V}{V_1} \quad (5.21.)$$

$$K = \frac{100}{90} \quad (5.22.)$$

$$K = 1.11 \quad (5.23.)$$

- **Factor de contaminación**

$$dm < 100$$

Tipo de contaminación (selección valor de tabla 6)

Contaminación típica (0.3 – 0.2 – 0.1)

$$nc * \frac{Pu}{p} \quad (5.24.)$$

$$0.2 * \frac{0.036}{0.065} \quad (5.25.)$$

$$0.1107 \quad (5.26.)$$

Con el valor encontrado se ha seleccionado del Diagrama 9 el valor a_{SKF}

$$a_{SKF} = 0.4 \quad (5.27.)$$

- **Vida nominal a_{SKF}**

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h} \quad (5.28.)$$

$$L_{10mh} = 0.4 * (1029372,98 \text{ h}) \quad (5.29.)$$

$$L_{10mh} = 411749,192 \text{ h} \quad (5.30.)$$

- **Carga mínima**

$$F_{rm} = kr \left(6 + \frac{4n}{nr} \right) * \left(\frac{dm}{100} \right)^2 \quad (5.31.)$$

$$F_{rm} = 0.025 \left(6 + \frac{4*300}{80000} \right) * \left(\frac{14.5}{100} \right)^2 \quad (5.32.)$$

$$F_{rm} = 0.00189 < P_u (0.065) \quad (5.33.)$$

F_{rm} menor al P_u del catálogo por ende si soportará la carga mínima del sistema

5.5. SELECCIÓN DE MOTOR

Para seleccionar el motor primero se ha tomado en cuenta las dimensiones del sistema debido a que se desea realizar un mecanismo compacto por ende el motor debe encontrarse dentro del mismo además de que debe cumplir con los valores de rpm y los calculados de torque el cual permitirá el funcionamiento óptimo del sistema con las cargas nominales

Teniendo en cuenta lo mencionado se plantea utilizar un motor de scooter el cual tendría de diámetro 123 mm además teniendo en cuenta que posee el torque necesario para realizar el trabajo de desbaste además de la potencia requerida para ello.

5.6. DISEÑO DE DEBASTADORA METALOGRAFICA

Para realizar el diseño se debe utilizar la normativa ASTM E3 debido a que esta habla sobre el proceso de cómo realizar un estudio metalográfico con esta información se procede a establecer parámetros de diseño.

El factor principal para partir con el diseño es establecer los productos del mercado que se van a utilizar debido a que el diseño se debe de adaptar a las dimensiones de los mismos.

Continuando con el diseño de la desbastadora metalográfica se procede a tomar en cuenta las medidas de las muestras según lo recomienda la normativa ASTM E3 adicional teniendo en cuenta la cantidad de bandas del diseño que en este caso serían 4 bandas de esmerilado.

Se toma en cuenta los soportes de la lija como un factor importante a diseñar debido a que la base de la lija debe cubrir la superficie de la muestra.

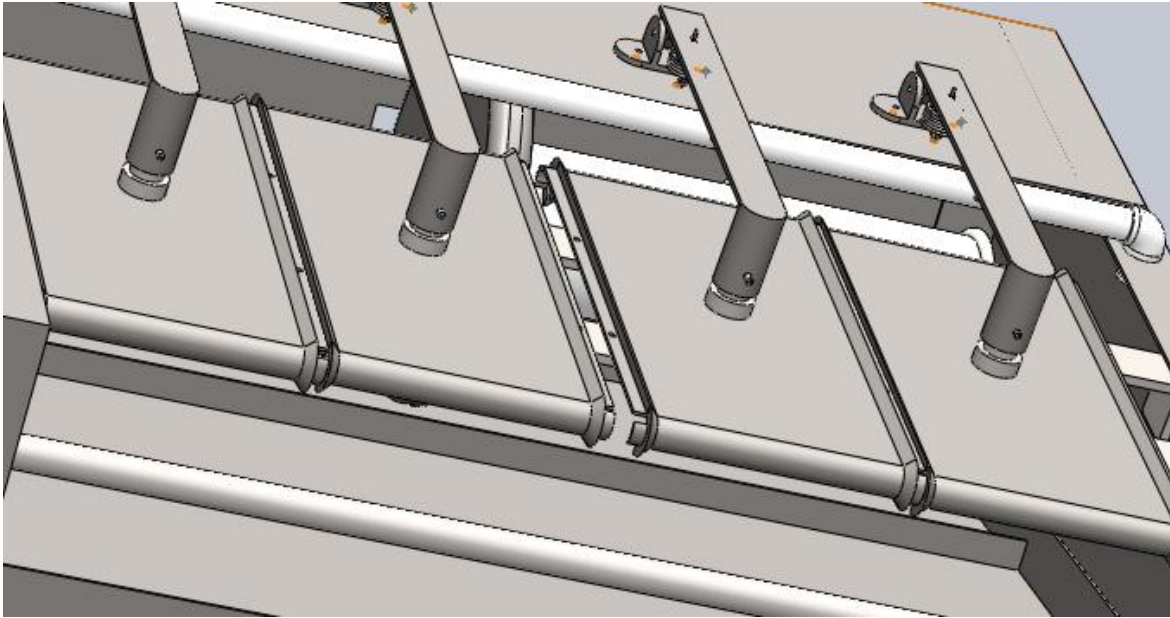


Figura 5. 2. Dimensiones que debe poseer soportes según la muestra

Otro factor a tener en cuenta es que se obtenga superficies equiplanares con ello se procede con el diseño de una sujeción para la muestra, haciendo esta la fuerza necesaria para el proceso de desbaste.

Con respecto a la fuerza que se aplica hacia la lija se lo realizara con mayor precisión con ayuda de un resorte que realizara la tarea de ajustar la muestra con la banda de la lija.

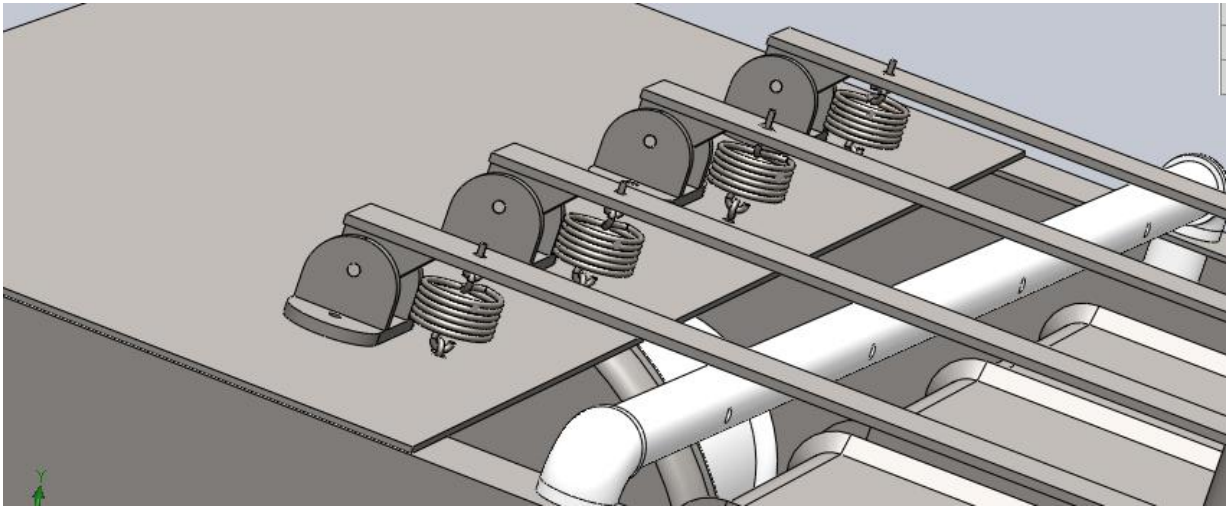


Figura 5. 3. Diseño de resortes para complementar sujeción.

Ademas de las sujeciones mencionadas se plantea un ajuste de la probeta en el brazo de sujeción esta se asegurará con un prisionero el cual impedirá el movimiento de la muestra.

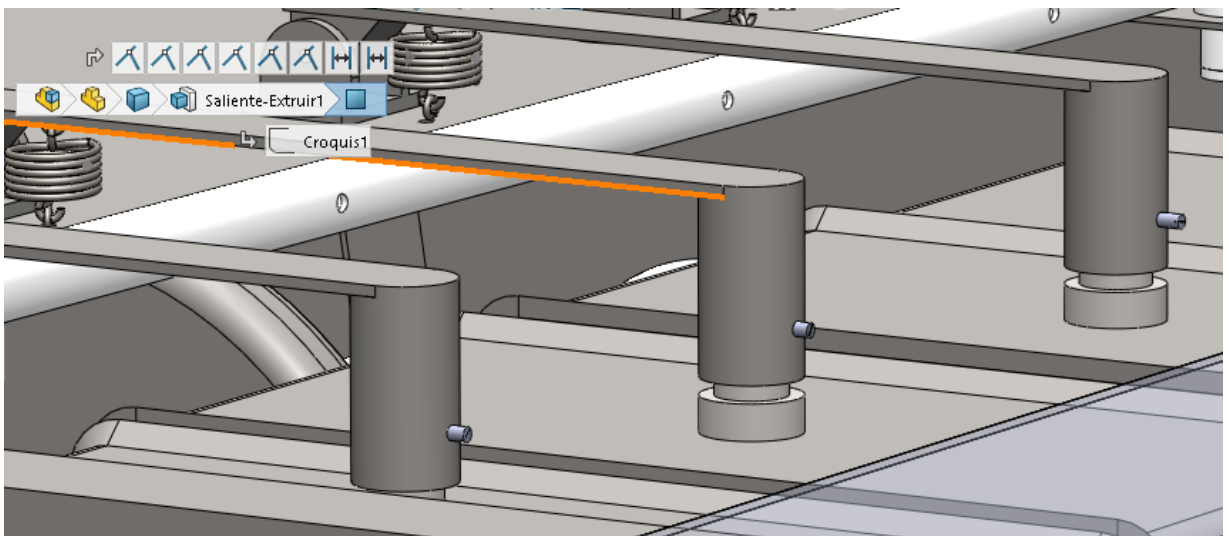


Figura 5. 4. Ajuste de probetas con prisioneros

Como factor importante a tener en cuenta según la ASTM E3 es el no alterar la estructura interna del metal durante el proceso de desbaste por ello se plantea un sistema de refrigeración para enfriar

la muestra durante el proceso de lijado además de mantener limpia la superficie para evitar rayaduras excesivas.

Se realiza un sistema de refrigeración por tubos de PVC por el cual permitirá el flujo de agua por cada una de las bandas.

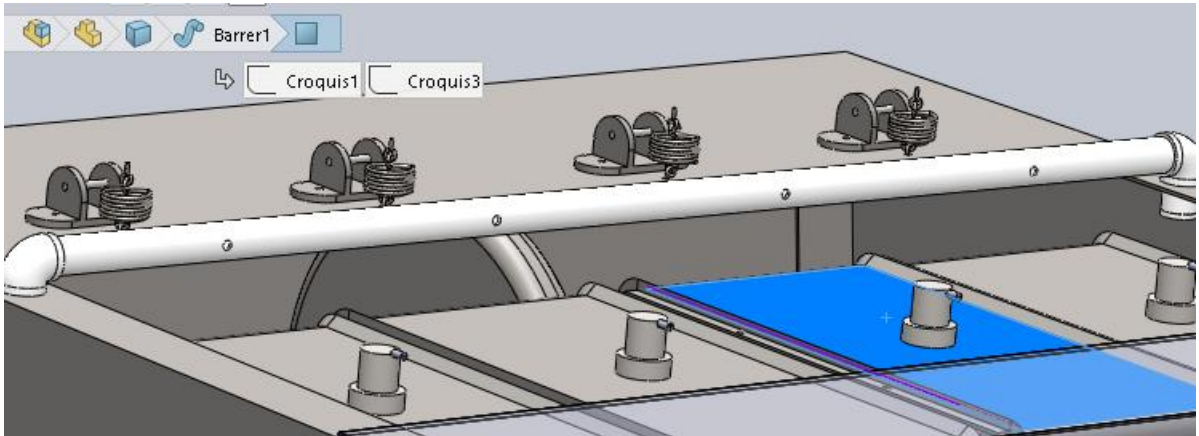


Figura 5. 5. Sistema de refrigeración

Como elemento adicional se tiene en cuenta un sistema de desagüe por el cual permitirá el flujo del refrigerante con los residuos de lija y material esmerilado.

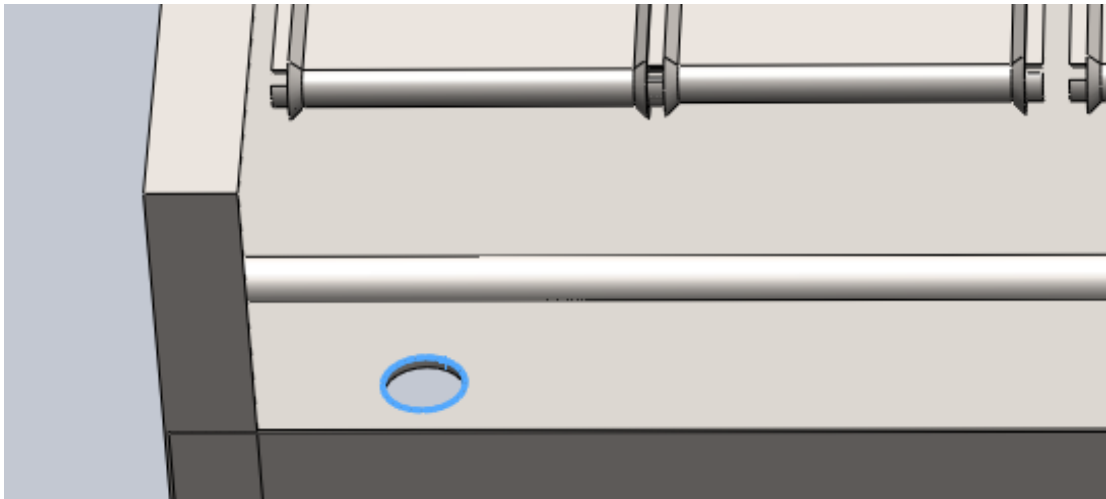


Figura 5. 6. Agujero sistema de desagüe

Teniendo en cuenta los sistemas de refrigeración y desagüe se debe evitar el contacto con el motor por ello se crea una separación de la bandeja inferior el cual impedirá el contacto directo del refrigerante con el motor.

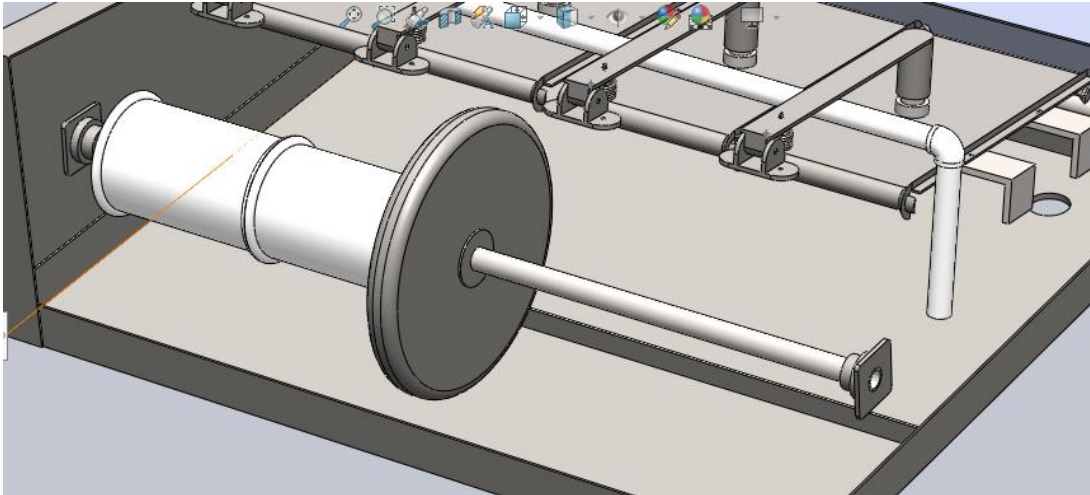


Figura 5. 7. . Base con separación para aislamiento del motor

Los ejes los cuales guiarán la lija de banda tendrán un soporte para los ejes como rodamiento se seleccionan chumaceras.

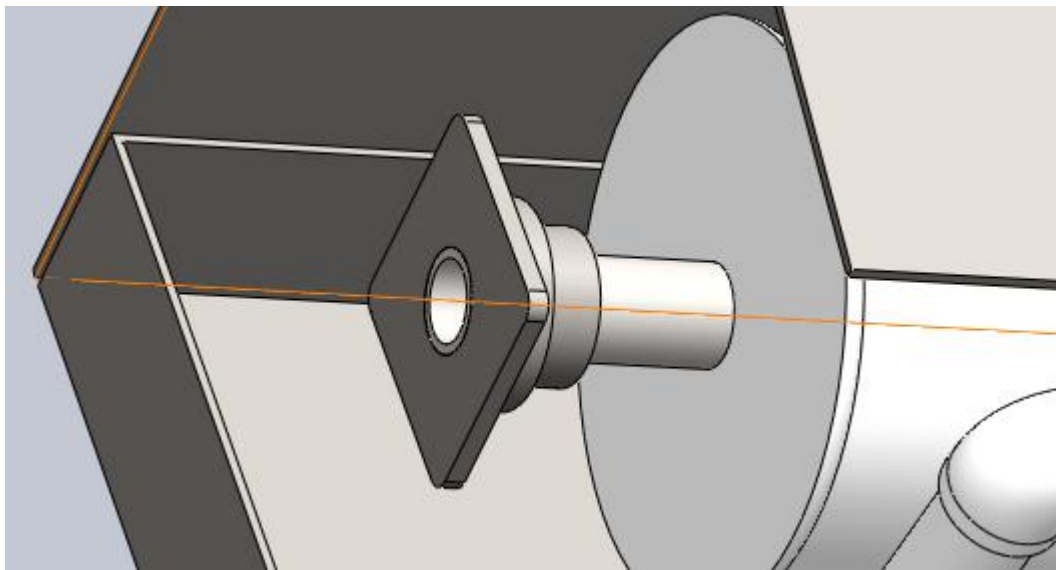


Figura 5. 8. Diseño de rodamientos del sistema

5.7. SELECCIÓN DEL MATERIAL

Los materiales seleccionados deben cumplir con características de diseño según lo necesitado tomando en cuenta la función que va a realizar y sus agentes externos los cuales actuaran sobre el sistema.

OBJETO	MATERIAL
Bases	<i>Acero inoxidable</i> Se ha seleccionado chapa metálica para conformar su estructura
Laterales	
Espalda	
Frente	
Base lija	<i>Acero inoxidable</i> El material seleccionado se debe a que estas estructuras tendrán contacto con el líquido refrigerante.
Sujeción	
Bisagra	
Pasador	<i>Acero estructural</i> Estas secciones deben soportar fuerzas que actúan en ellas.
Soportes de lija	
Eje	<i>Acero aleado</i> Este acero debe poseer un tipo de aleación debido a que deberá soportar fuerzas de torsión.
Tubo	<i>PVC Rígido</i> Se desea utilizar este material debido a que transportara agua y el cual no se oxidara.
Tapón	
Codos	
Polea de lija	

Tabla 5. 2. Selección tipo de material

Características de los materiales seleccionados.

MATERIAL	CARACTERISTICAS
Acero inoxidable	<ul style="list-style-type: none">- Resistente a la corrosión- Alta durabilidad- Fácil de limpiar- Resistente a altas temperaturas
Acero Estructural	<ul style="list-style-type: none">- Soporta grandes pesos sin modificar su estructura- Gran durabilidad
Acero aleado	<ul style="list-style-type: none">- Mayor resistencia y dureza- Resistente al impacto- Resistente al desgaste- Resistencia a la corrosión soporta altas temperaturas
PVC Rígido	<ul style="list-style-type: none">- Excelente resistencia- Se puede soldar o pegar- Ideal para transporte de agua- Baja tenacidad

Tabla 5. 3. Características del material

5.8. ANALISIS DE ELEMETOS FINITOS

Para poder comprobar la eficacia del diseño se lo verificara con métodos matemáticos los cuales analizaran su estructura del sistema ya conformada.

Para poder realizar este tipo de análisis debemos de establecer en el mismo diseño los materiales de los cuales están conformados cada uno de los elementos que conforman el sistema

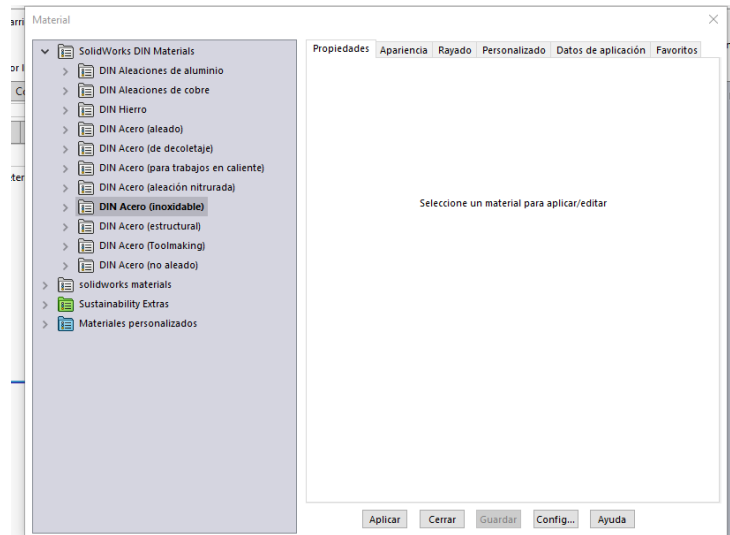


Figura 5. 9. Tipos de material a seleccionar en el software

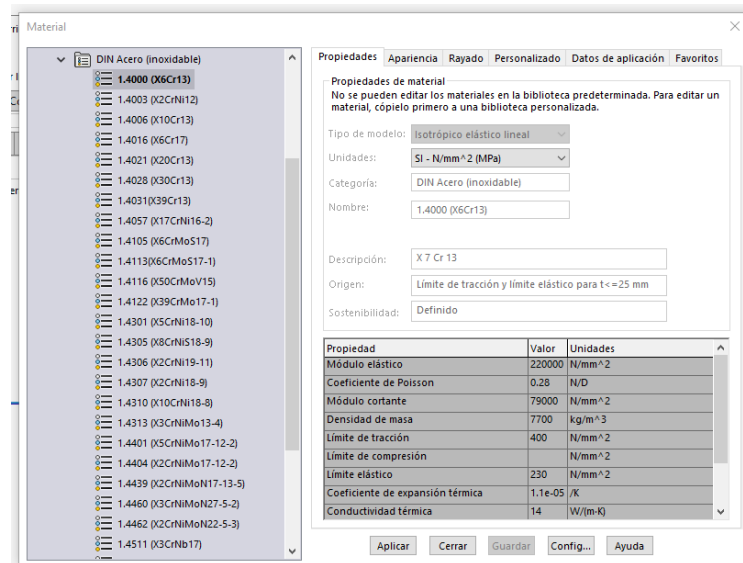


Figura 5. 10. Características de cada material a seleccionar.

Continuando con el proceso de diseño ya seleccionado los materiales llegan a conformar la pieza estableciendo los límites de movilidad de cada elemento para que simule las fuerzas que actuarán sobre el sistema.

Para realizar el análisis de elementos finitos se debe de cumplir varios requisitos entre estos es establecer un mallado el cual entre más nodos tiene mejor será el análisis. En este diseño están

establecidos mayor cantidad de nodos en las partes donde se aplicarán más fuerza para que el análisis sea el correcto.

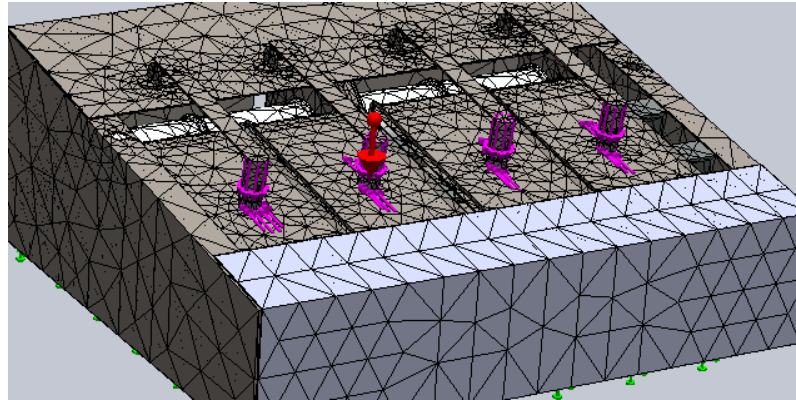


Figura 5. 11. Mallado realizado en la desbastadora

Para continuar con el análisis de elementos finitos se debe fijar la base la cual permitirá tener una base fija para el análisis con las fuerzas aplicadas.

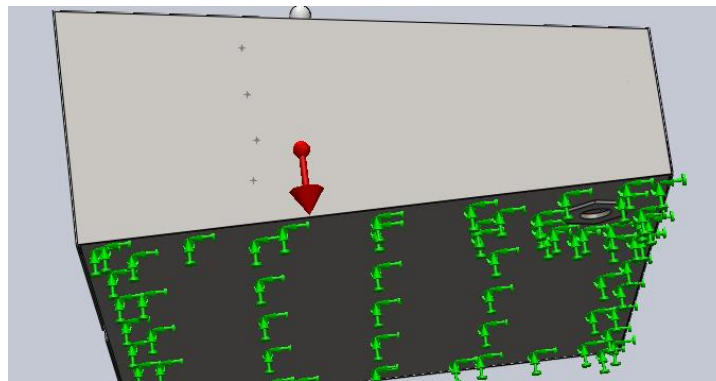


Figura 5. 12. Fijar la base para realizar análisis de elementos finitos

Posterior procedemos a ingresar las fuerzas que actuarán en todo el sistema, al ser las fuerzas de sujeción de la probeta las que ejercerán mayor presión sobre los soportes de la lija se procede colocando las fuerzas además que es posible modificar el valor de cada una de ellas.

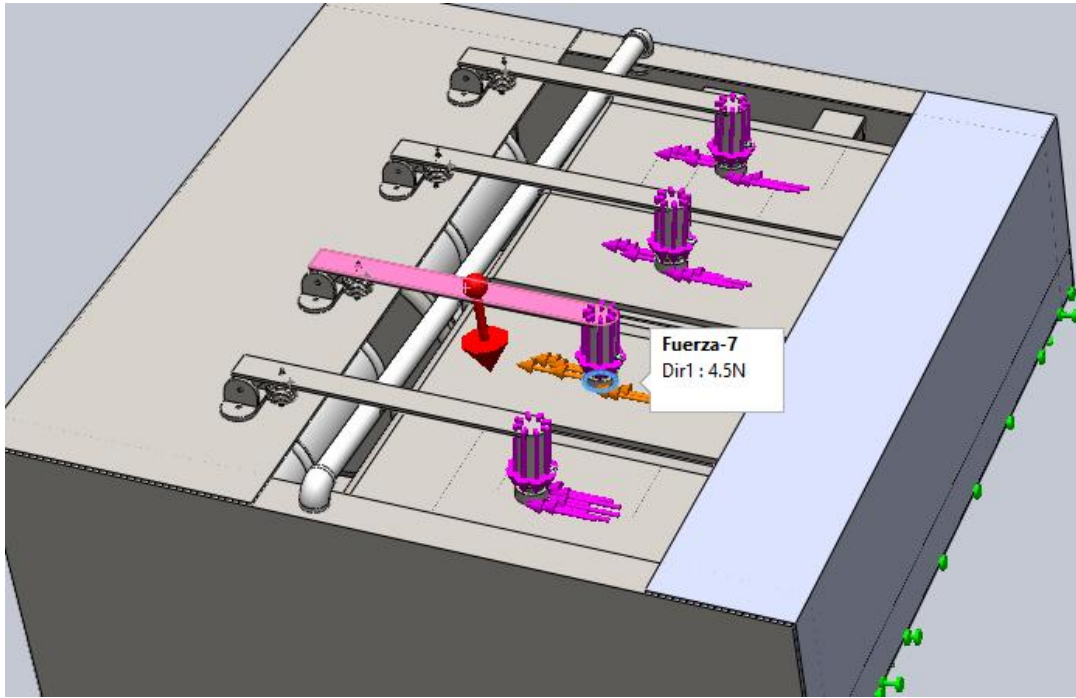


Figura 5. 13. Fijación de fuerzas que actúan en la base de la lija

Teniendo todos los parámetros anteriores bien definidos procedemos con la simulación para establecer si el diseño soportara las cargas las cuales se le está aplicando

Como siguientes se está simulando la aplicación de cargas al sistema las cuales a un costado se encuentran valores los cuales nos indican si soportará dichas fuerzas, el análisis que se realiza se está tomando en cuenta que las 4 bandas trabajan al mismo tiempo esto quiere decir que se encuentra trabajando a condiciones nominales.

Las fuerzas en este análisis están actuando más sobre la sujeción de las probetas las cuales podemos ver en la tonalidad de la sujeción.

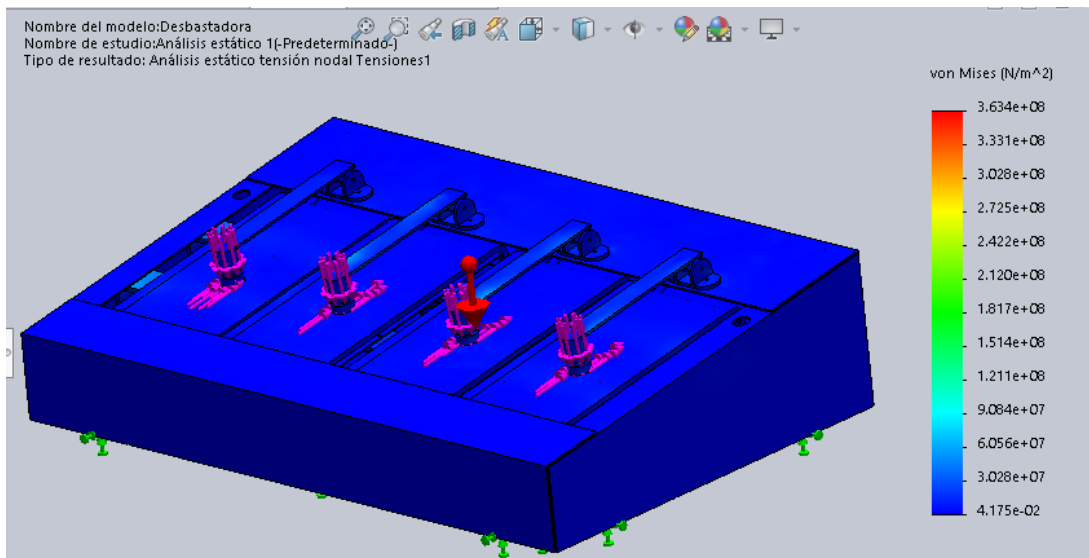


Figura 5. 14. Análisis estático de tensión nodal de software

En este análisis como se evidencia tendrá una mayor deformación en las bases centrales de la lija debido a que actúan las fuerzas de las sujeciones de las probetas y el rozamiento de las lijas que están simuladas

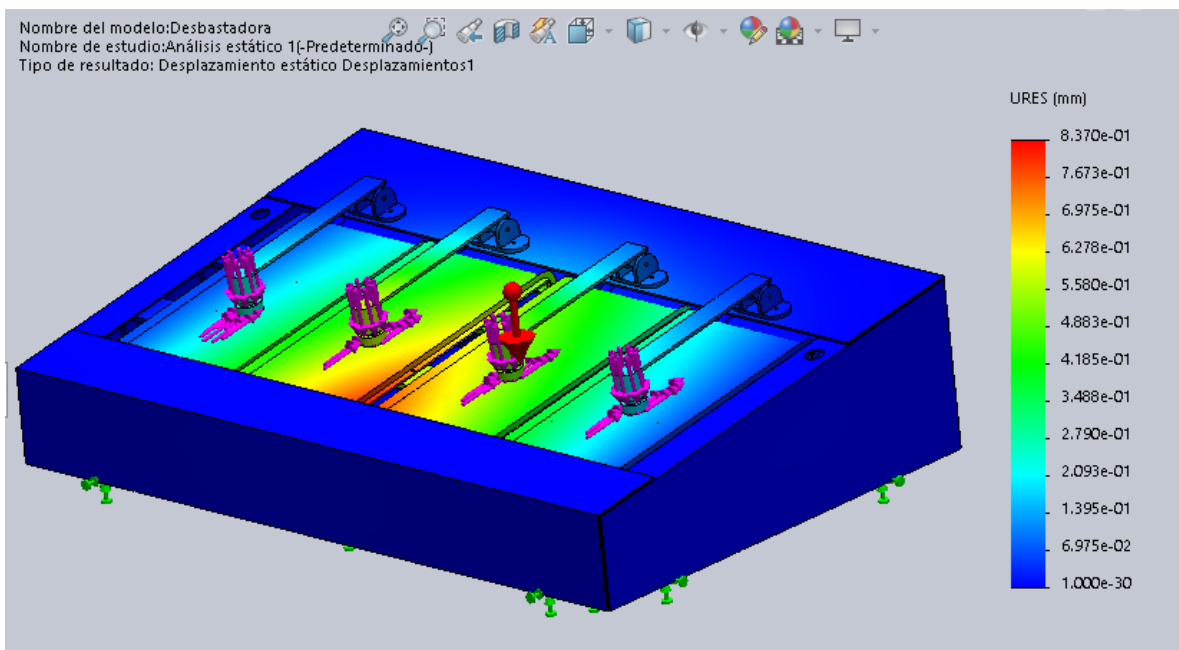


Figura 5. 15. Análisis de desplazamiento estático de software

Las fuerzas que más actúan sobre el sistema son las que ejercen los soportes de las muestras hacia las bases de las lijas por ello su variación de tonalidad en la simulación.

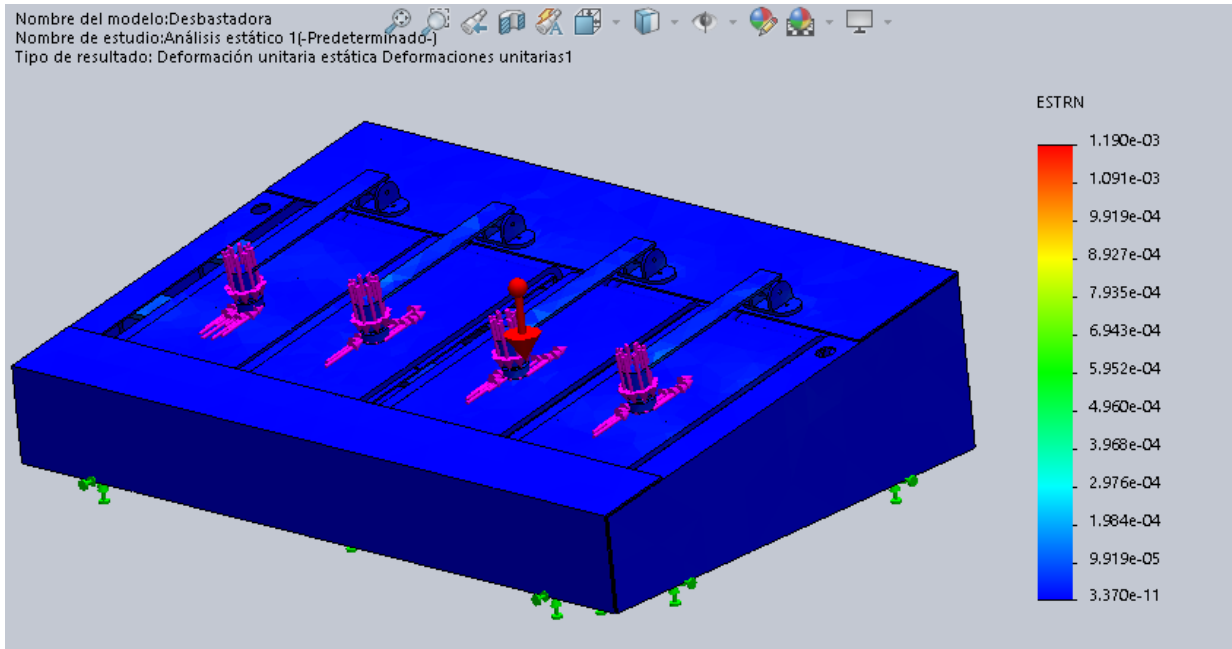


Figura 5. 16. Deformación unitaria estática de software

5.9. SIMULACIÓN DE FLUIDOS

Para realizar este análisis se ha tomado en cuenta solo el sistema de refrigeración debido a que solo se analizara el comportamiento del fluido en este caso agua.

Para el análisis de fluidos se lo ha realizado de tal manera se analiza el flujo y llenado del sistema y su salida del sistema de refrigeración.

Para este proceso creamos un sólido el cual representara la salida de agua desde el tubo y la pendiente del sistema.

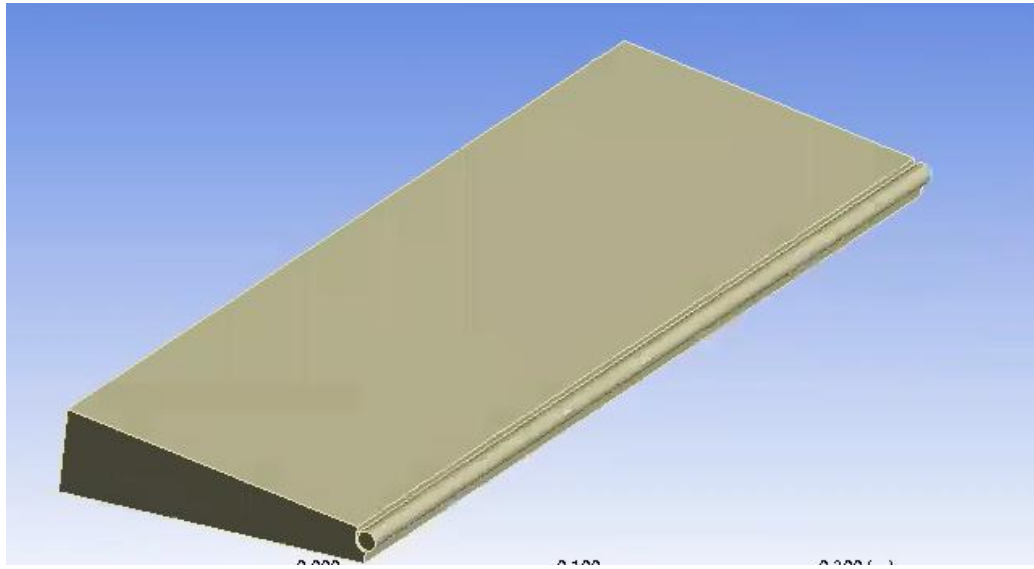


Figura 5. 17. Sólido creado para simulación

Al igual que en los análisis de fuerzas se malla el diseño para tener mayor precisión en este análisis se establece un mallado más fino en la tubería del sistema y en la pendiente

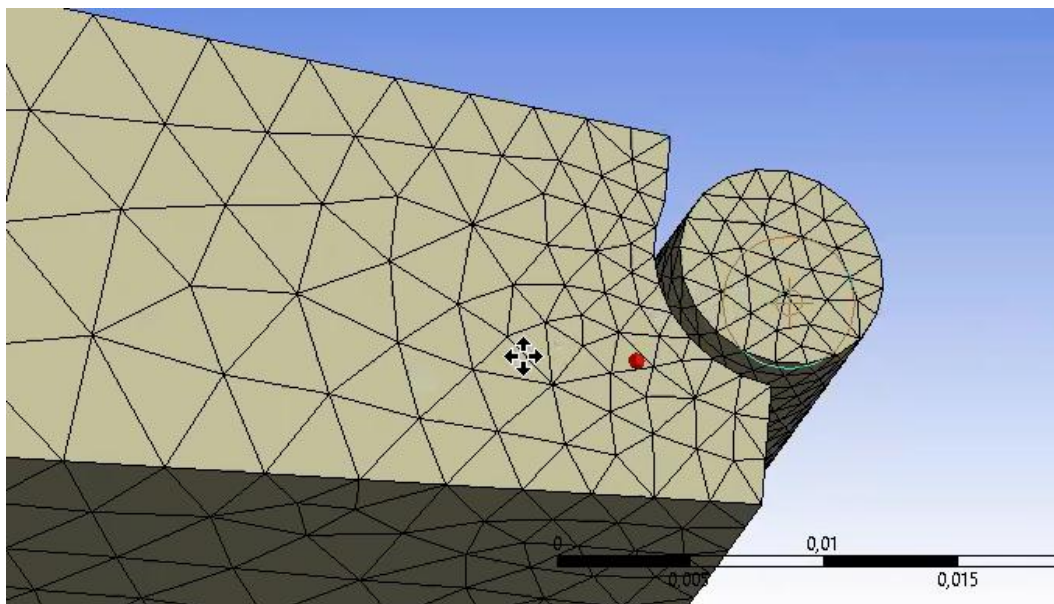


Figura 5. 18. Mallado del sistema en software

Para realizar la simulación al igual como en el análisis de elementos finitos se establecen parámetros los cuales como son el tipo de fluido al ser una pendiente por donde circulara el agua se establece un valor de gravedad de 9,8

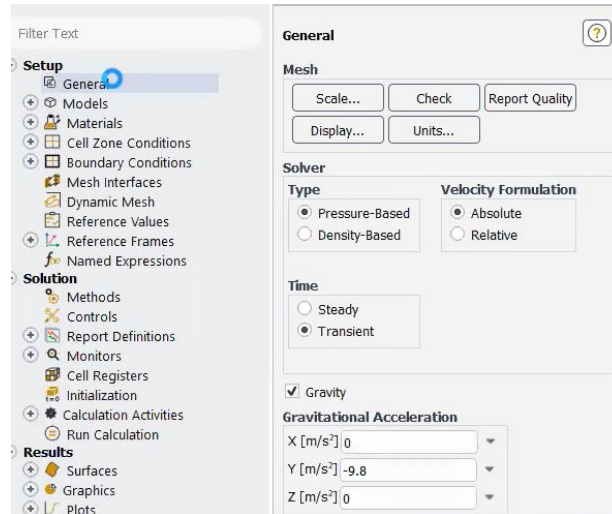


Figura 5. 19. Configuraciones de diseño para simulación

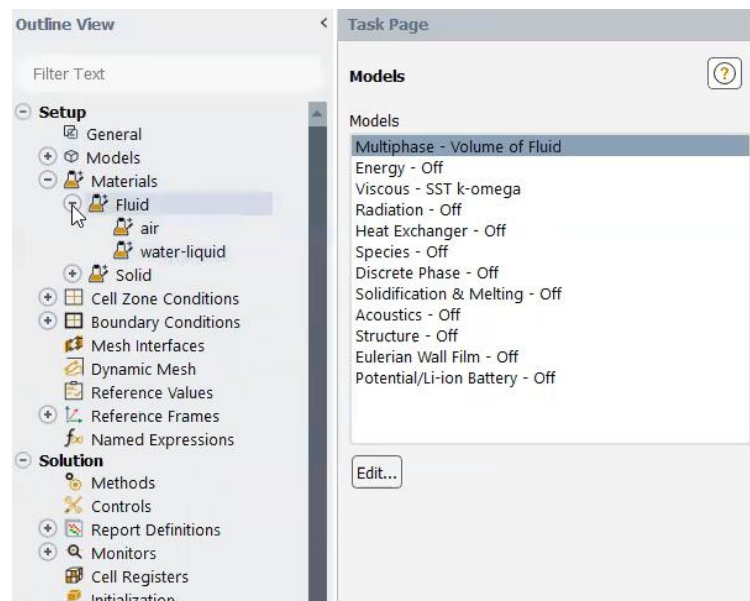


Figura 5. 20. Selección de tipo de fluido con el cual se va a trabajar

Una vez realizado este proceso el cual se establece los parámetros se procede a inicializar la simulación de tal manera que se obtiene el comportamiento de la salida de agua desde la tubería como se ve en la simulación realizada mayor presión tiene dentro de la tubería del sistema de refrigeración.

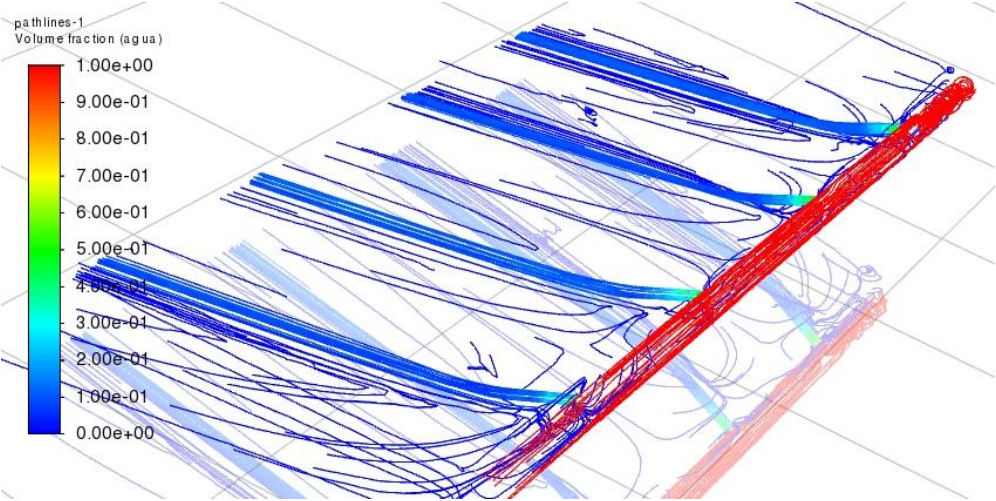


Figura 5. 21. Continuidad de flujo agua

en la simulación realizada se puede observar el flujo del líquido y su velocidad con la cual se encuentra en el sistema.

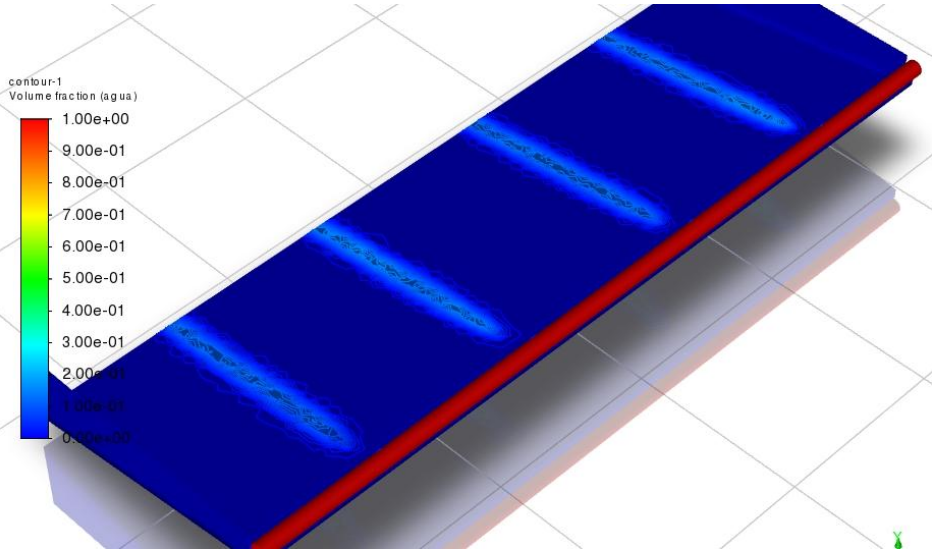


Figura 5. 22. Análisis de velocidad diseño tubería, pendiente

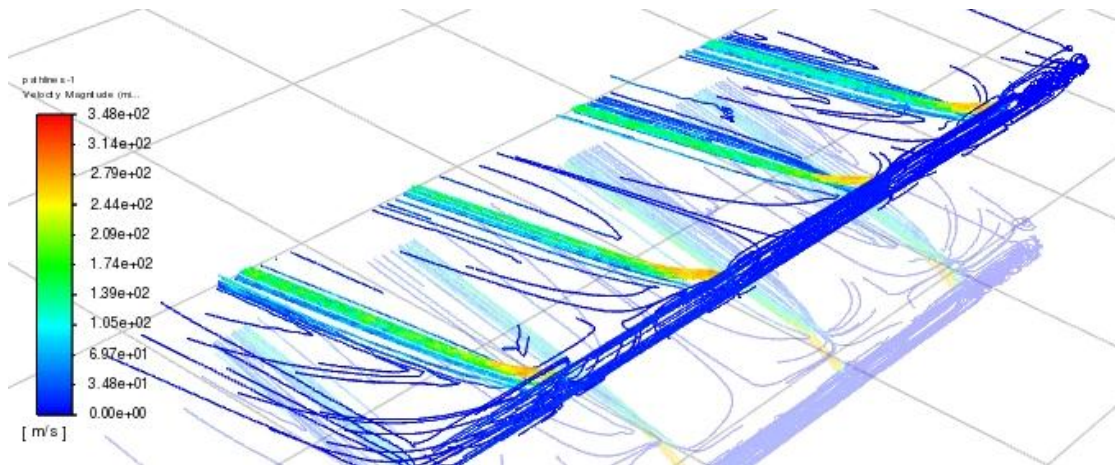


Figura 5. 23. Análisis de velocidad de agua en el sistema

5.10. CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTOR DC

Para realizar el control de la velocidad del motor se plantea realizar un circuito PWM para controlar los pulsos de reloj controlando sus pulsos con un potenciómetro el cual ayude a ampliar o reducir el tamaño de la honda el cual ayude a modificar la señal de salida al circuito integrado 4017 el cual da movimiento del motor.

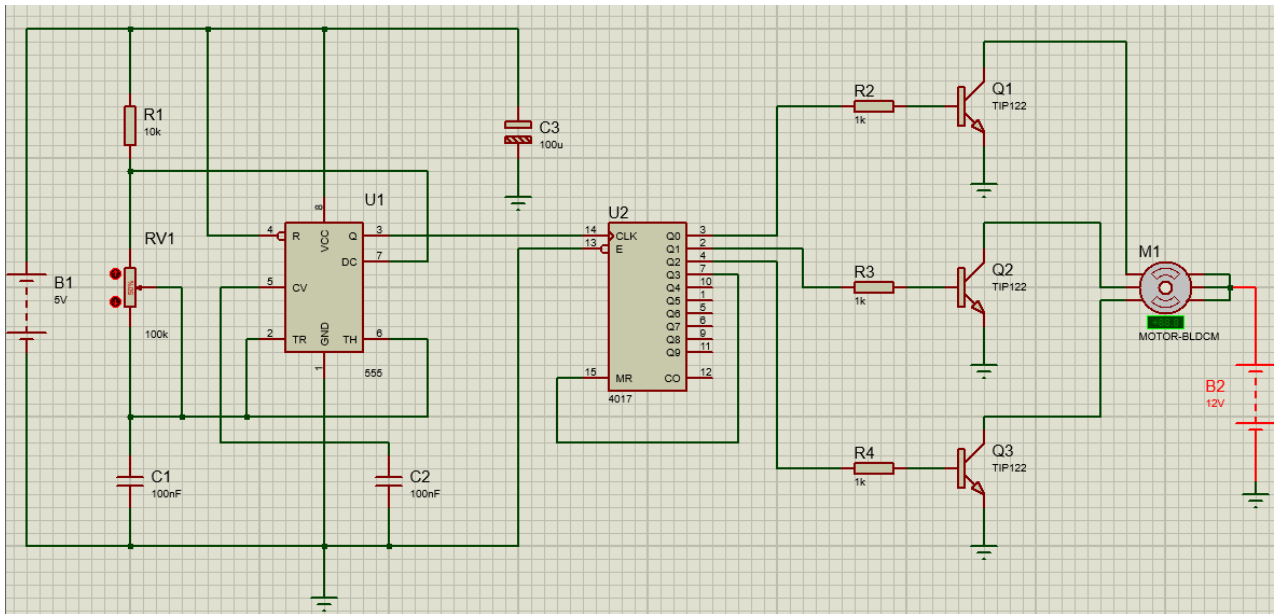


Figura 5. 24. Simulación de circuito control velocidad motor.

6. CONCLUSIONES

- El diseño de la desbastadora se lo realizado pensando en la función que se le dará y el tamaño que cubrirá, debido a con el pasar del tiempo los equipos de laboratorio son más compactos, pero cumpliendo sus necesidades por ello se presenta la adaptación de sistemas externos para la creación de la propuesta de desbastadora metalográfica de cuatro bandas.
- Con la selección correcta de partes a utilizar se logrará plantear una propuesta factible ya que la desbastadora presenta características esenciales de funcionamiento a cumplir para que se pueda realizar de manera adecuada el proceso de desbaste, como es la selección del motor debido a que necesita un torque adecuado para que no afecte la velocidad cuando actúen fuerzas sobre el mismo.
- Para el diseño de la desbastadora se planteó un sistema compacto por ende tendrá todos sus componentes internamente, además las partes seleccionadas deben ser resistentes al contacto con el agua ya que se utilizara como refrigerante y por ello tendrá flujo o salpicaduras de agua en el sistema, con lo ya mencionado se plantea el uso de un motor eléctrico de scooter el cual cumplirá con los requisitos de resistencia a la corrosión además que se puede controlar la velocidad debido a que los valores de desbaste varían entre 200N y 300N adicional cumple con un torque de 12N el cual soportara el torque máximo de diseño por ende cumpliría parámetros de diseño.
- Al continuar con el diseño de la desbastadora de cuatro bandas se enfocó en su gran mayoría en la normativa ASTM E3 debido a que en esta brinda la información necesaria a tener en cuenta para la creación del sistema, los sistemas que influyen en el mismo es la refrigeración, tiempo de desbaste, revoluciones que debe tener la cinta abrasiva.
- Para el análisis estructural se toma en cuenta las fuerzas que actúan sobre la muestra como indica la normativa ASTM E3, la cual plantea un valor de 30N está siendo la fuerza con la que se sostiene la muestra además teniendo en cuenta las fuerzas de rozamiento que presentara entre las bandas de las lijas y las muestras, esto causando una mayor reacción sobre la estructura diseñada y posible alteración al sistema.
- Con un criterio de diseño bien sustentado y establecido se cumplirás con todos los parámetros requeridos para realizar procesos adecuados y factibles de manufactura cuidando costos de producción reducidos.

7. RECOMENDACIONES

- Los documentos que sirvan de apoyo deben ser artículos científicos o normativas los cuales contengan parámetros establecidos, que sustenten el diseño de manera adecuada debido a que el proceso que realizara debe ser en su mayoría preciso para que la desbastadora cumpla con su fin.
- Es necesario conocer el proceso de preparación de una muestra metalográfica debido a que el diseño se ha enfocado en uno de ellos, por tal motivo se debe conocer todos los pasos a seguir y parámetros que debe cumplir la máquina para un correcto diseño y dimensionamiento.
- Para realizar el análisis CAE del diseño se debe de tener en cuenta todas las fuerzas que actúan sobre el mecanismo debido a que de esta manera se podrá verificar la eficiencia del mismo con mayor precisión y evidenciando si existen fallos en su estructura.
- Al ser un sistema compacto se debe tener en cuenta los componentes eléctricos debido a que trabajara con líquidos por ende se debe realizar el diseño pensando en ello como son separaciones o aislamiento de los mismos.
- Investigar en varias fuentes los costos de los productos y materia prima ya que debido a que se puede abaratar costos de manufactura como es la selección y adquisición de motor rodamientos ejes y hasta chapa metálica.

8. BIBLIOGRAFÍA

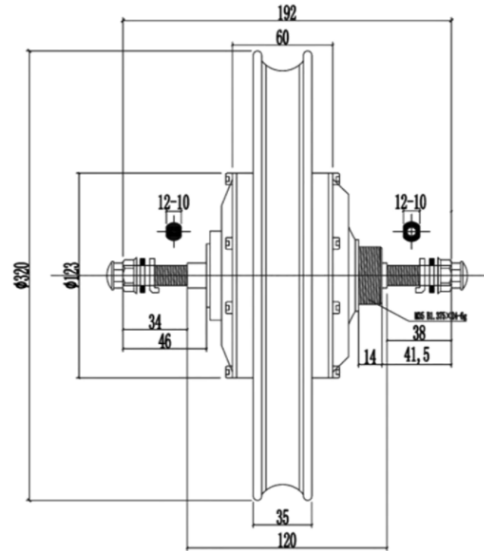
- [1] UNESCO, «www.epn.edu.ec,» Marzo 2017. [En línea]. Available: https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2017/03/codigos_unesco.pdf. [Último acceso: 10 Diciembre 2020].
- [2] O. H. L. F. Jose Trstancho, «revistas.utp.edu.co,» Septiembre 2007. [En línea]. [Último acceso: 26 Noviembre 2020].
- [3] EAC, «aec.es,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>. [Último acceso: 10 Junio 2021].
- [4] Rosa Gripsa, «www.rozagrapisa.com,» 2020. [En línea]. Available: https://www.rozagrapisa.com/index.php?route=blog/post&post_id=138. [Último acceso: 4 diciembre 2020].
- [5] Ecured, «ecured.cu,» 2020. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Papel_de_lija. [Último acceso: 17 12 2020].
- [6] bricotodo, «bricotodo.com,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.bricotodo.com/lijar.htm>. [Último acceso: 10 01 2021].
- [7] ESSS, «www.esss.co,» 08 Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.esss.co/es/blog/ingenieria-asistida-por-computadora-que-es-y-como-funciona/>. [Último acceso: 11 02 2021].
- [8] G. Mirlisenna, «www.esss.co,» 22 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>. [Último acceso: 11 02 2021].
- [9] J2MECH, «j2mech.com,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.j2mech.com/analisis-cfd/>. [Último acceso: 11 02 2021].

- [10] Intelligy, «intelligy.com,» 2021. [En línea]. Available: <https://intelligy.com/dinamica-fluidos-computacional/>. [Último acceso: 11 02 2021].
- [11] W. Hanz, «quinterohurtado.com,» 7 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.quinterohurtado.com/post/qu%C3%A9-es-una-chumacera>. [Último acceso: 10 01 2021].
- [12] Nichese, «vehiculoselectricos.nichese.com,» [En línea]. Available: <http://vehiculoselectricos.nichese.com/motorbicicleta.html>. [Último acceso: 22 07 2021].
- [13] ASTM, «Guia estandar para preparacion de probetas metalograficas,» 2017. [En línea]. Available: https://drive.google.com/file/d/1G_y2R8WTgPU-l4XqR-wbgLAI9JsjCl2B/view?usp=sharing. [Último acceso: 6 Junio 2021].
- [14] Molinaro, «molinaro.com.ec,» 2020. [En línea]. Available: <https://molinaro.com.ec/pf/correas-distribucion-dentadas/>. [Último acceso: 15 12 2020].
- [15] Juntadeandalucia, «juntadeandalucia.es,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/41700555/helvia/aula/archivos/repositorio/0/4/html/poleas.htm#:~:text=La%20relaci%C3%B3n%20de%20transmisi%C3%B3n%2022i,motriz%20y%20la%20polea%20conducida.&text=En%20este%20ejemplo%20%2C14,la%20velocid>. [Último acceso: 26 12 2020].
- [16] Denetim, «denetim.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.denetim.com/es/laboratuvar/metal-test-laboratuvari/astm-e3-metalografik-numunelerin-hazirlanmasi-icin-standart-kilavuz/>. [Último acceso: 02 06 2021].
- [17] Transmision de Potencia, «blogspot.com,» 18 Mayo 2014. [En línea]. Available: http://transmicionequipo6.blogspot.com/2014/05/bandas-y-poleas-los-elementos-por_18.html. [Último acceso: 14 05 2021].

- [18] R. Marquez, «windtux.com,» 22 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://windtux.com/cade-simu-programa-esquema-electrico/>. [Último acceso: 10 Mayo 2021].
- [19] Birt LH, «ikastaroak.ulhi.net,» 2021. [En línea]. Available: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DPM/DPM01/es_DFM_DPM01_Contentidos/webseite_511_transmision_por_poleas_y_correas.html. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [20] WEG MOTORES, «static.weg.net,» 02 2020. [En línea]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/h2b/WEG-w22-motor-electrico-monofasico-50070884-brochure-spanish-web.pdf>. [Último acceso: 15 01 2021].

9. ANEXOS

9.1. Anexo A: Características del motor a utilizar

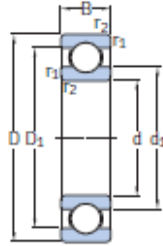


型号: Product Type:	QH-YM500W(16)	前叉距 (mm): Open Size Front (mm):	100
轮径寸数 (IN): Wheel Size (IN):	16	后叉距 (mm): Open Size Rear (mm):	135
额定电压 (V): Rated Voltage (V):	36/48	驱动方式: Drive:	后置 Rear
空载电流 (A) No-load current (A)	0.9	出线方式: Cable Location:	主轴中心出线 右侧 Shaft center right
额定电流 (A) Rated current (A)	13	辐条规格: Spoke Specification:	无 no
额定力矩 (N): Rated torque (N):	12.0	霍尔: Hall Sensor:	可选 Optional
额定功率 (W): Rated Power (W):	500	速度显示: Speed Display:	可选 Optional
额定时速 (km/h): Rated Speed (km/h):	25-35	表面处理: Surface:	黑色/白色 Black painted/white painted
额定效率 (%): Rated Efficiency (%):	≥82	前置刹车方式: Brake Type for Front:	V/碟刹 V/saucer Brake
减速比: Reduction Ratio:	1: 5	后置刹车方式: Brake Type for Rear:	V/碟刹 V/saucer Brake
前置轮子重量 (Kg): Weight(Front wheel) (Kg):	1.4	噪音 (db): Noise (db):	< 50
后置电机重量 (kg): Weight(Rear motor) (kg):	4.2	防水等级: Waterproof Grade:	IP54

9.2. Anexos B: Datos selección de chumaceras

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 9–10 mm

1.1



ZZ



2RSL



2RS1



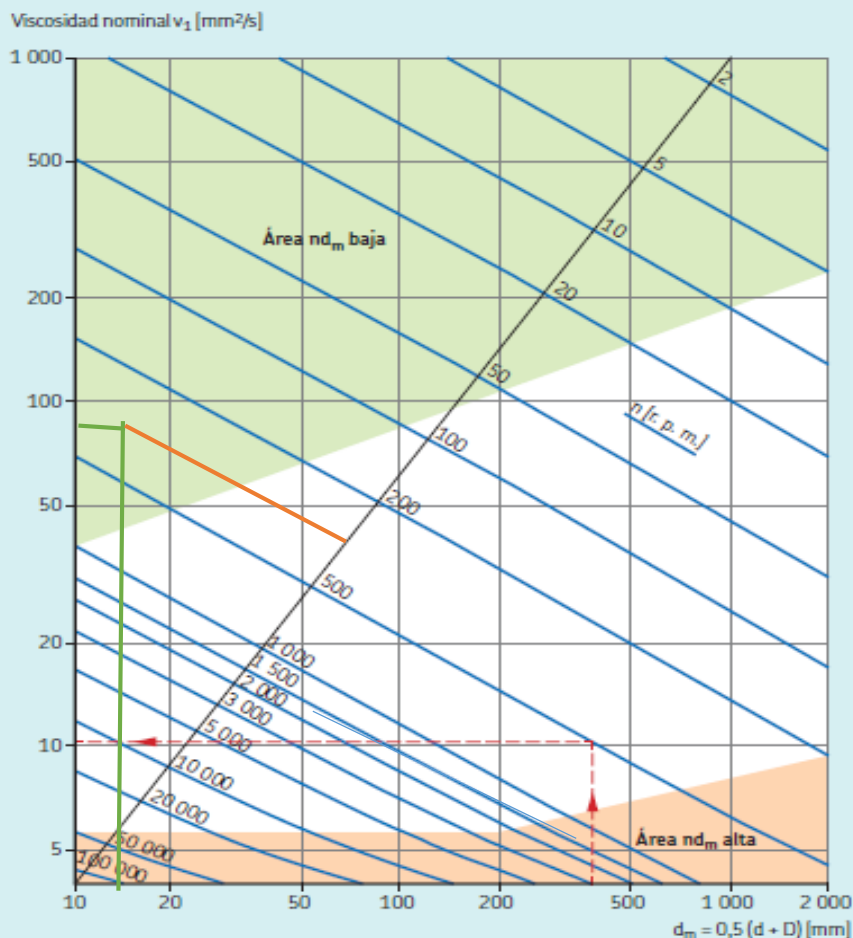
2RS1



2RSH

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ⁴⁾
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–	
9 cont.	24	7	3,9	1,66	0,071	–	19 000	0,015	▶ 609-2RSH	609-RSH
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	34 000	0,014	▶ 609-2RSL	609-RSL
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	34 000	0,015	▶ 609-ZZ	609-Z
	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	38 000	0,02	▶ 629	–
	26	8	4,75	1,96	0,083	–	19 000	0,02	▶ 629-2RSH	629-RSH
	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	30 000	0,02	▶ 629-2RSL	629-RSL
	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	30 000	0,021	▶ 629-ZZ	629-Z
10	19	5	1,72	0,83	0,036	–	22 000	0,0055	▶ 61800-2RS1	–
	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	38 000	0,0055	▶ 61800-ZZ	–
	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	48 000	0,0053	▶ 61800	–
	22	6	2,7	1,27	0,054	–	20 000	0,01	▶ 61900-2RS1	–
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	36 000	0,01	▶ 61900-ZZ	–
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	45 000	0,01	▶ 61900	–
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	▶ 6000	–
	26	8	4,75	1,96	0,083	–	19 000	0,019	▶ 6000-2RSH	6000-RSH
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	34 000	0,019	▶ 6000-2RSL	6000-RSL
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	34 000	0,02	▶ 6000-ZZ	▶ 6000-Z
	26	12	4,62	1,96	0,083	–	19 000	0,025	▶ 63000-2RS1	–
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	30 000	0,026	▶ 16100-ZZ	–
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,024	▶ 16100	–
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	36 000	0,031	▶ 6200	–
	30	9	5,4	2,36	0,1	–	17 000	0,032	▶ 6200-2RSH	6200-RSH
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	28 000	0,032	▶ 6200-2RSL	6200-RSL
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	28 000	0,034	▶ 6200-ZZ	6200-Z
	30	14	5,07	2,36	0,1	–	17 000	0,04	▶ 62200-2RS1	–
35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	32 000	0,053	▶ 6300	–	
35	11	8,52	3,4	0,143	–	15 000	0,054	▶ 6300-2RSH	6300-RSH	
35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	26 000	0,053	▶ 6300-2RSL	6300-RSL	
35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	26 000	0,055	▶ 6300-ZZ	6300-Z	
35	17	8,06	3,4	0,143	–	15 000	0,06	▶ 62300-2RS1	–	

Cálculo de la viscosidad nominal v_1



- Área nd_m baja, donde $nd_m \leq 10\,000$ mm²/min. Con estos valores de nd_m más bajos, se necesitan aditivos AW o EP para reducir el desgaste.

- Área nd_m alta, donde $nd_m \geq 500\,000$ mm²/min para $d_m \leq 200$ mm, y $nd_m \geq 400\,000$ mm²/min para $d_m > 200$ mm. Con estos valores de nd_m más altos, se debe prestar más atención a la temperatura de funcionamiento. Determinados tipos de rodamientos, como los rodamientos de rodillos a rótula, los rodamientos de rodillos cónicos y los rodamientos axiales de rodillos a rótula, suelen tener una temperatura de funcionamiento superior a la de otros tipos, como los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos cilíndricos, en condiciones de funcionamiento similares.

Diagrama de la temperatura de viscosidad según los grados de viscosidad de la ISO
 (Aceites minerales, índice de viscosidad 95)

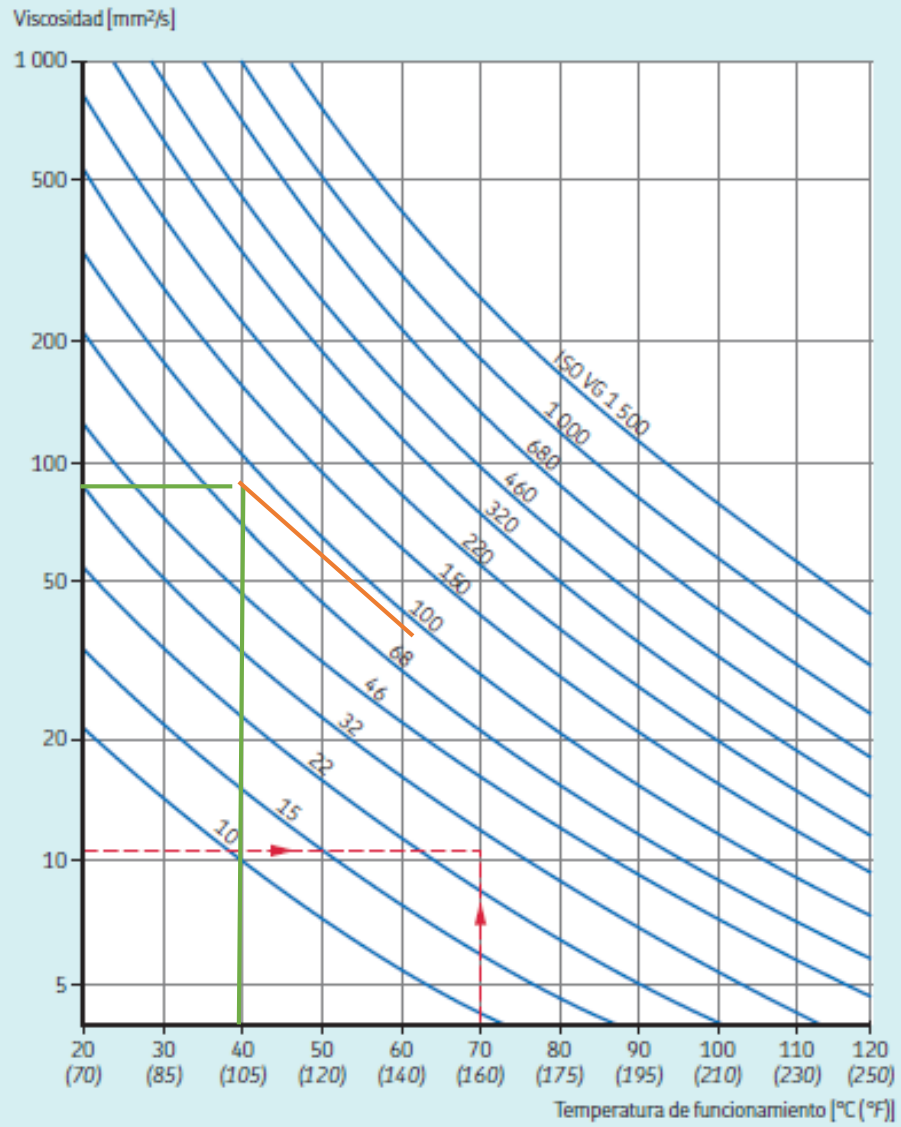


Tabla 5

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448

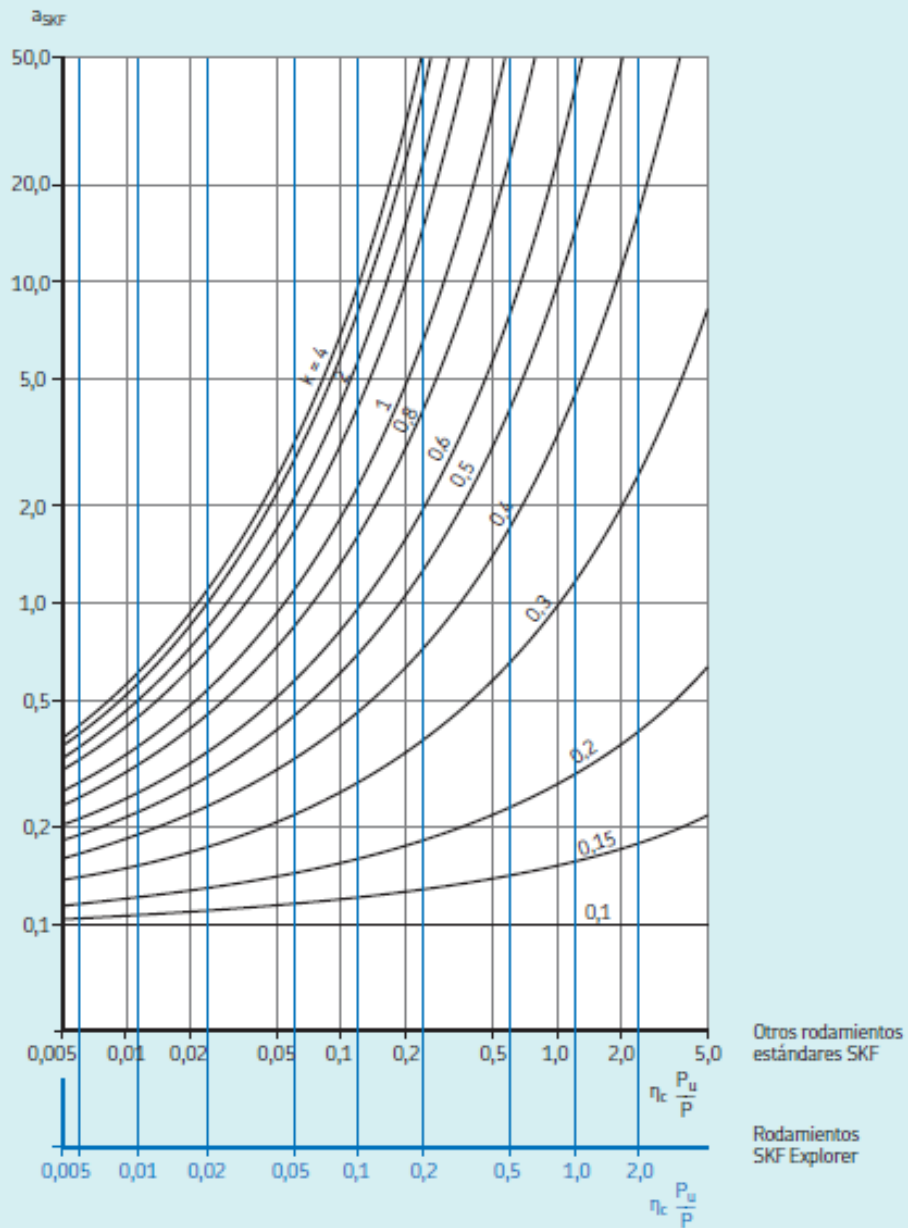
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	mín.	máx.
–	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

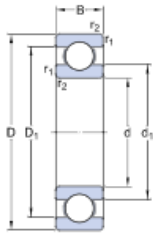
Tabla 6

Valores orientativos para el factor η_c para distintos niveles de contaminación

Condiciones	Factor $\eta_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema <ul style="list-style-type: none"> Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio 	1	1
Gran limpieza <ul style="list-style-type: none"> Aceite lubricante con filtración muy fina Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida 	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal <ul style="list-style-type: none"> Aceite lubricante con filtración fina Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida 	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes 	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior 	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados 	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa <ul style="list-style-type: none"> Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de η_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento 	0	0

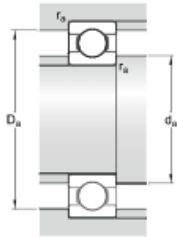
Factor a_{SKF} para los rodamientos radiales de bolas





DIMENSIONES

d	10 mm	Diámetro del agujero
D	19 mm	Diámetro exterior
B	5 mm	Ancho
d ₁	= 12.74 mm	Diámetro del resalte del aro interior
D ₁	= 16.26 mm	Diámetro del resalte del aro exterior/diámetro interior de la arandela del soporte
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Dimensión del chafán del aro exterior



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _a	min. 12 mm	Diámetro del resalte del eje
D _a	max. 17 mm	Diámetro del resalte del soporte
r _a	max. 0.3 mm	Radio de acuerdo

DATOS DEL CÁLCULO

C	1.72 kN	Capacidad de carga dinámica básica
C ₀	0.83 kN	Capacidad de carga estática básica
P ₀	0.036 kN	Carga límite de fatiga
	80 000 r/min	Velocidad de referencia
	48 000 r/min	Velocidad límite
k _r	0.015	Factor de cálculo
f ₀	14.8	Factor de cálculo

MASA

0.005 kg	Rodamiento de masa
----------	--------------------

TOLERANCE CLASS

Normal	Dimensional tolerances
Normal	Radial runout

9.3. Anexo C: Artículo Científico apoyo cálculos

2.4. Diseño de la Máquina.

2.4.1. Cálculo de fuerzas en la banda y selección del motor: en la Figura 2 se muestra el esquema de la fuerza aplicada en la probeta y las fuerzas resultantes en la banda debido a esta. El cálculo de estas fuerzas es necesario para determinar el valor del torque necesario para mover cada banda con lo cual se podrá proceder a la selección del motor.

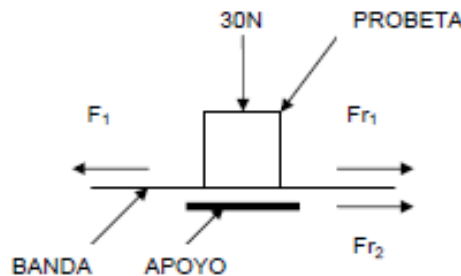


Figura 2. Diagrama de Cuerpo Libre.

En donde:

- F_1 : Fuerza Periférica sobre el eje.
- Fr_1 : Fuerza de Fricción entre la probeta y la banda
- Fr_2 : Fuerza de Fricción entre la banda y el apoyo.

Las fuerzas de fricción se calcularon mediante las siguiente ecuaciones [3,4,5]

$$Fr_1 = \text{fuerza aplicada a la probeta } (F_a) \times K_1 \quad (1)$$

$$Fr_2 = \text{fuerza aplicada a la probeta } (F_a) \times K_2 \quad (2)$$

En donde K_1 (0,6) y K_2 (0,1) son los coeficientes de fricción entre la probeta y la banda y entre la banda y el apoyo respectivamente.

Teniendo en cuenta que.

$$F_1 = Fr_1 + Fr_2 \quad (3)$$

$$F_1 = 21N. \quad (4)$$

La determinación del torque del motor se realizó mediante la siguiente ecuación [6]:

$$T_{\text{motor}} = (63000 \times Hp_{\text{motor}}) / \text{RPM} \quad (5)$$

$$T_{\text{motor}} = 1 \text{ N-m.} \quad (6)$$

2.4.2. Diseño de Transmisión por Correas: la potencia de diseño, es un valor importante para determinar la transmisión por correa y se determina por medio de la siguiente expresión [6]:

$$Pd = P_{\text{motor}} \times K_s \quad (7)$$

Donde K_s es el coeficiente de servicio, para determinar su valor se deben tener en cuenta lo siguiente:

- El equipo, diseñado, tendrá un servicio intermitente entre 3 y 5 horas diarias.
- El equipo estará conformado por bandas de papel de carburo de silicio.

Bajo estos criterios el valor del K_s , para el equipo diseñado, será de 1,2, por lo tanto:

$$Pd = 0.3 \text{ Hp} \quad (8)$$

Se determino, además, utilizar una correa tipo A38 con una longitud de 37,6 pulgadas (figura 3)

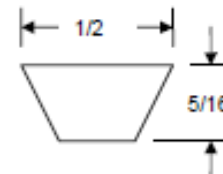


Figura 3. Correa tipo A (dimensiones en pulgadas)

2.4.3. Cálculo de los Diámetros de las Poleas: para la primer polea se selecciono un mínimo diámetro exterior, según NEMA, considerando que se tendrá un motor de 1/4 de caballo y que trabajará a 1800 RPM, se determino que diámetro de la primer polea debe ser de 3 pulgadas. [6]

Para determinar el diámetro de la segunda polea se utilizo la siguiente expresión.

$$D_2 = i \times D_1 \times (1 - K) \quad (9)$$

En donde: i corresponde a la relación de transmisión de potencia y K es el coeficiente de deslizamiento de la correa, 0.015. Por lo que:

$$D_2 = 6,12 \text{ pulgadas.}$$

2.4.4. Cálculo de la Velocidad Periférica: para determinar la velocidad periférica del equipo se utilizó la siguiente expresión [6].

$$V_p = \pi \times D_1 \times n \quad (10)$$

$$V_p = 1413,7 \text{ pies/min} \quad (11)$$

2.4.5. Cálculo de la Distancia entre Centros: la distancia entre los centros se determina mediante la siguiente expresión.

$$C = \text{MAX} [(D_1 + D_2/2) + D_1, D_2] \quad (12)$$

9.4. Anexo D: Normativa ASTM E3

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: E3 – 11(Reapproved 2017)

Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

Note 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

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

1.3 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E34 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E34.01 on Specimen Preparation. Current edition approved June 1, 2017. Published June 2017. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2011 as E3–1111. DOI: 10.1520/E0003-11R17.

- A90/A90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings²
- E7 Terminology Relating to Metallography
- E45 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel
- E768 Guide for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel
- E1077 Test Methods for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens
- E1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis (Withdrawn 2006)³
- E1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis
- E1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures
- E1558 Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens
- E1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E7.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same

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

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

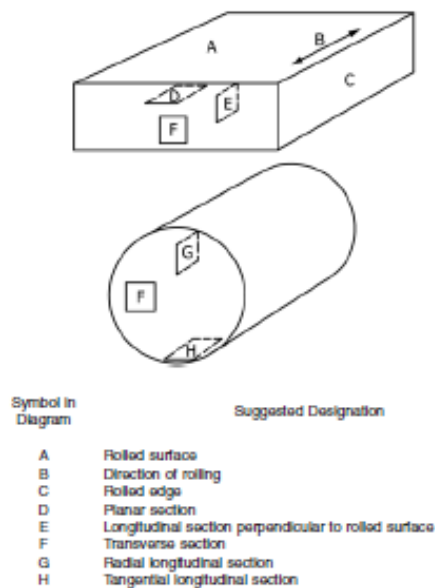


FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

8. Cleanliness

8.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases, oils, coolants and residue from

TABLE 1 Cutoff Blade Selection

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	mod. hard
up to 400	soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	mod. hard
up to 600	medium hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 700	hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	mod. soft
up to 800	very hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic
R—rubber
R&R—resin and rubber
M—metal

cutoff blades on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning may be effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO₃, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H₂SO₄) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO₃ method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A90/A90M.

NOTE 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylenepolyamine) or SbCl₃ are two useful inhibitors.

8.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

9. Mounting of Specimens

9.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimen prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, fragile, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

9.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10–15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate ^A	thermosetting, cure time 5–10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy ^A	thermosetting, cure time 5–10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic ^A (Bakelite)	thermosetting, cure time 5–10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

^AThese compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used. Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

9.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

9.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140–180°C) and force (27–30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen

is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

9.4.5 The molds for castable plastics are often simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

9.5 Mounting Porous Specimen:

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into fine pores, cracks, and holes.

9.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

9.5.3 Vacuum impregnation is an effective method for ensuring optimal results for porous metallographic mounts. It is imperative that the specimens be completely dry prior to impregnation.

9.5.4 A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time 15-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

10. Plating of Specimens

10.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures. Electroless plating solutions can be purchased commercially.

10.2 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

10.3 Chromium, copper, iron, nickel, gold, silver, and zinc may be electrolytically deposited although copper and nickel are predominantly used in metallographic laboratories.

10.3.1 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

10.3.2 Nonferrous metals may be plated with silver and the precious metals may be plated with nickel, gold, or silver.

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

11. Grinding and Polishing

General Information

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure.

Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 *Grinding*—Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. Table 4 provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages—planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

- 11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,
- 11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,
- 11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,
- 11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive (≤6µm) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

11.3.1 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.

TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	...	...
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	...	...
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	...	...
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000 ^A	5.0	...	...

^A Not found in the FEPA grading system.

ANSI—American National Standards Institute
 CAMI—Coated Abrasives Manufacturers Institute
 FEPA—European Federation of Abrasive Producers

11.3.2 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO₂ or Al₂O₃. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as edge rounding and relief.

11.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

11.3.4 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

Manual (Hand-held) Methods

11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45–90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in Table 5.

Automated Methods

11.8 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

11.9 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

11.10 Table 5 illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. Tables 6 and 7 are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in Table 6 has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in Table 7 may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

12. Special Procedures

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E1558.

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see 9.5) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paperstone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1½ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials ≥ HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paperstone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1½ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials ≤ HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paperstone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1½ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

epoxy for impregnation depends on the nature of the specimen. It should be inert toward the specimen.

12.3 Composite Materials—Composite materials, particularly hard fibers in a soft matrix or wires in a soft insulation,

can be particularly difficult to prepare. The best approach is to first seal or impregnate pores or holes. Then grind carefully, using copious lubrication. The grinding surface must be kept flat and firm. In the polishing stages, the substrate should have no nap and should be fairly hard. Diamond abrasive is recommended. Both will minimize rounding of the hard components. Sometimes, a compromise will have to be made between accepting a few artifacts such as scratches or rounded edges.

12.4 Coated Materials:

12.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electroplated metal, enamel ware, and so forth, can be considered a variety of composite materials. They present problems of their own, such as flaking, chipping, and rounding. For example, some coatings are so thin as to be unresolvable on simple cross sections (tinplate). Other problems are the presence of a soft coating on a harder substrate (galvanized steel) or a hard brittle coating on a soft substrate (porcelain enamel on aluminum).

12.4.1.1 The problem of thin coatings can be handled by using a taper mount. In this method, the specimen is mounted so that the plane of polish is at a small angle to the plane of the surface. For example, a tapered plug is inserted in the mounting press with the taper up. A blank tapered mount is prepared. Masking tape is wrapped around the circumference of the mount to make a well on the tapered end. A small amount of epoxy mounting compound is mixed. The specimen, cut to fit inside the well, is wetted with the epoxy and laid on the face of the tapered mount, coated side up. Using a probe, the specimen is pressed down firmly onto the tapered face. The balance of the epoxy compound is added and allowed to harden. The mounted specimen is ground and polished on the epoxy face in the conventional manner exercising care that the plane of

polish is perpendicular to the cylindrical axis of the mount. This is easily done with most automatic grinding machines.

12.4.1.2 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. Caution: some cements will dissolve in epoxy mounting compounds. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example, electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate. The mounting procedure used must result in excellent adhesion to the coated surface to minimize edge rounding. If edge rounding persists, the polishing time and applied force may have to be decreased.

12.4.1.3 Hard coatings on softer substrates can be mounted with a backup piece or a hard-filled mounting compound. Diamond abrasives on a napless cloth will minimize surface relief during polishing.

12.5 Fragile specimens should be mounted in one of the castable mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure filling of holes and cavities (see 9.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

12.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

13. Keywords

13.1 alloys; grinding; metallography; metals; mounting; polishing; sectioning; specimen preparation (metallographic)

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be

used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547⁴ as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, several approaches can be used.

⁴“Manual Electron Metallography Techniques,” 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

TABLE X1.1 Cleaning Solutions for Use When Standard Methods Are Inadequate

6N HCl plus 2 g/L Hexamethylenetetramine ^A	Immerse specimen in solution for 1 to 15 min. Good for steels. Cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner.
3 mL HCl 4 mL 2-Butyne-1, 4 diol inhibitor 50 mL water ^D	Use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s.
40 mL water 40 mL HCl 2 mL Rodine-50 inhibitor ^E	Wash specimen in alcohol for 2 min in an ultrasonic cleaner before and after a 2-min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath.
6 g sodium cyanide 6 g sodium sulphite 100 mL distilled water ^{D,E,F}	Electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm ² current density for up to 15 min.
10 g ammonium citrate 100 mL distilled water ^D	Use solution heated to 30°C (86°F).
70 mL orthophosphoric acid 32 g chromic acid 130 mL water ^D	Recommended for removing oxides from aluminum alloy fractures (some sources claim that only organic solvents should be used).
8 oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of Photo-Flo) ^D	Use electrolytically at 250-mA/cm ² current density for 1 min with a Pt cathode to remove oxidation products. Wash in an ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. Repeat this cycle several times if necessary. Use under a hood.

^AdeLorins, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463-472.

^BDahlberg, E. P., "Techniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis," *Scanning Electron Microscopy*, 1974, Part IV, pp. 911-918.

^CBrooks, C. E., and Lundin, C. D., "Rust Removal from Steel Fractures—Effect on Fractographic Evaluation," *Microstructural Science*, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21-33.

^DdeLorins, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Examined by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463-472.

^ERuss, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *JISI*, December 1969, pp. 1635-1638.

^FPickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224-237.

^GInerrante, C. G., and Hicho, G. E., "Removal of Iron-Sulfide Deposits from Fracture Surfaces," *ASTM STP 610*, 1976, pp. 349-365.

^HBaachm, C. D., *The Interpretation of Electron Microscope Fractographs*, NRL Report 6360, U.S. Government Printing Office, Jan. 21, 1966.

^IYuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Prakt. Met.*, Vol 15, April 1978, pp. 184-195.

^JGoubau, B., and Werner, H., "Microfractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite," *Prakt. Met.*, Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209-210.

Always try the simplest, safest methods first. For example, use a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox³, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with rinsing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichlorethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214⁶ has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

³The sole source of supply of Alconox known to the committee at this time is Alconox, Inc., New York, NY 10003. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,³ which you may attend.

⁶The sole source of supply of Endox 214 known to the committee at this time is Enthone, Inc., West Haven, CT 06516. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,⁶ which you may attend.

X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

X2. PRESERVING PREPARED SPECIMENS

X2.1 After specimens have been polished and possibly etched, there is usually a need to preserve that surface for others to examine, either to confirm an observation, to view problems reported, or in litigations, for the opposing experts to view the same details. If the detail to be examined may be at the origin of a failure, or may be small, it may be lost if the specimen is re-prepared. This is not a problem usually when the general microstructural conditions are to be examined.

X2.2 For short term preservation, the prepared specimen can be placed in a vacuum desiccator. Specimens that have inherent corrosion resistance can be observed without difficulty after some time in a desiccator, depending upon how frequently it is opened and room humidity. Storage in a desiccator for a long time may not be practical if a great many specimens must be stored.

X2.3 For longer term preservation, there are several options. First, one can coat the surface with a clear lacquer and then place the specimen within a closed polymeric container or wrap it up carefully with tissue and place it in a protective box or drawer. The microstructure can be seen through the lacquer, or the lacquer can be removed with the appropriate solvent. Another solution is to place a protective “cap plug” polymeric closure tightly over the polished or etched surface, or both, and then store the specimen in an appropriately marked box or drawer. A somewhat less satisfactory long-term solution is to tape a large piece of cotton over the polished and/or etched face and then place that specimen in an appropriate box or drawer.

X3. APPLIED LOAD CONVERSIONS

X3.1 Automated preparation machines commonly display force in either pound-force (lbf) or newtons (N). The ability to convert from one unit to the other may be necessary when trying to interpret a documented procedure.

X3.1.1 To convert from pound-force to newton multiply the pound-force value by 4.5.

X3.1.2 To convert from newton to pound-force multiply the newton value by 0.225.

X3.2 When multiple specimens of equal contact area are held in a holder, the applied force must be divided by the number of specimens in the holder to determine the load per specimen.

X3.2.1 Some automated machines apply force individually to each specimen. In this case it is necessary to divide the force by the contact area to determine the load per specimen.

X3.3 Caution should be taken when using automated machines that display pressure in pound-force per square inch (psi). Typically, the machine is displaying the air pressure within the loading cylinder and not the actual pressure applied to either the specimen holder or individual specimen.

X3.4 When converting from a force to a pressure, the surface area of the specimen(s) must be determined. The value of force is then divided by the contact area to determine the required pressure.

X4. PROCEDURE IMPROVEMENT

X4.1 To improve the preparation of a particular material, try one of the preparation methods described in Table 5, Table 6, or Table 7. Following are general guidelines that may help improve results.

X4.2 If a material is being prepared for the first time, the surface should be microscopically examined after every step.

X4.3 Before proceeding to the next step, be sure that all deformation and artifacts from the previous step, such as scratches, pull-outs or embedded grains, are completely removed. It is difficult to identify when an artifact was introduced if the specimen is not examined prior to the final step.

You must know when the artifact was introduced in order to improve the method.

X4.4 Keep the preparation times as short as possible. Excessive preparation wastes consumables and may introduce artifacts such as relief and edge rounding.

X4.5 New consumables such as polishing cloths or diamond grinding products may need to be “broken in” for a short period prior to use.

X4.6 The following section lists common preparation artifacts and prevention measures.

X4.7 *Scratches*—Scratches are grooves in the surface of the specimen produced by the points of abrasive particles.

X4.7.1 Make sure that after planar grinding the surface of all of the specimens in the holder exhibit the same uniform scratch pattern over the entire specimen. Repeat the planar grinding step if necessary.

X4.7.2 Clean the specimens and holder carefully after each step to avoid contamination.

X4.7.3 If there are still scratches left over from the previous step after finishing the current step, increase the preparation time by 25 to 50 %. If this does not work then you should consider altering the method by inserting an intermediate step.

X4.8 *Deformation*—Deformation can be classified by two types, elastic and plastic. Elastic deformation disappears when the applied load is removed. Plastic deformation, often called cold work, can be induced during sectioning, mounting, grinding, lapping or polishing. Residual plastic deformation can first be seen after etching. Only deformation that was introduced during metallographic preparation can be eliminated with procedure modification. Deformation from manufacturing operations such as bending, drawing and stretching are not considered because they cannot be removed by altering the preparation method.

X4.8.1 If the deformation is visible in brightfield in the unetched condition, please see X4.7.3 Scratches, for tips on how to improve the preparation.

X4.8.2 If after etching, the deformation is restricted to single or a few grains then it is minimal and may be removed by repeating the previous step.

X4.8.3 If after etching, the deformation is well defined covering several grains or even the whole specimen, then it may have been recently introduced. Check and clean the polishing cloth for possible contamination. Replace the cloth if results do not improve (see X4.14). Repeat the previous step.

X4.8.4 If after etching, the deformation is in the form of long, blunt lines covering several grains (with possible interruptions) then it may have been introduced from an earlier stage. Repeat the procedure starting from the fine grinding stage.

X4.9 *Smearing*—Smearing is the flow of material at the surface of the specimen. It is the result of material being “pushed” across the surface instead of being cut.

X4.9.1 Check the amount of lubricant. Smearing most often occurs when lubrication levels are too low. Increase or change the lubricant to eliminate smearing.

X4.9.2 Check the applied load. Excessive loads can result in smearing. Reduce the load to eliminate smearing.

X4.9.3 Check the abrasive size. Abrasives grains that are too small may not be effective in material removal. Increase the abrasive grain size.

X4.10 *Edge Rounding*—Edge rounding results when the edge of the specimen abrades at a greater rate than the body of the specimen.

X4.10.1 Mount the specimen. Unmounted specimens always exhibit greater edge rounding than mounted specimens.

X4.10.2 Use the correct mounting compound. There should be minimal shrinkage of the mounting compound away from the specimen. Try to match the abrasion resistance of the mounting compound closely to that of the specimen. See Section 9.

X4.10.3 If the edge rounding first occurred during grinding, consider changing the grinding substrate to a less resilient form. Also consider changing the abrasive type. Diamond abrasive is often more effective than SiC at cutting hard materials.

X4.10.4 Reduce polishing times as much as possible. Long polishing procedures often result in excessive edge rounding.

X4.10.5 Reduce applied load. Normally lower loads result in less edge rounding.

X4.10.6 Change the polishing lubricant. Oil or water/oil type lubricants may help preserve edges.

X4.10.7 Change the polishing cloth. Less resilient cloths produce better edges.

X4.10.8 If the preceding steps are ineffective then consider plating the specimen. See Section 10.

X4.11 *Relief*—Relief results when material from different phases is removed at different rates due to varying hardness or wear rate of individual phases.

X4.11.1 Relief normally first occurs during polishing. However, if there are extreme differences in the hardness between phases it may occur during grinding. If this is the case then an alternative grinding method should be considered. See Tables 5 and 6.

X4.11.2 Polishing time should be kept to a minimum.

X4.11.3 Polishing cloths that have less resiliency produce less relief (see Edge Rounding in X4.10).

X4.11.4 The polishing abrasive should be at least 2.5 times harder (on the Vickers scale) than the hardest phase being polished.

X4.12 *Pull-outs*—Pullouts are the cavities left in the surface after grains or particles are torn out during preparation.

X4.12.1 Avoid high loads during grinding and polishing.

X4.12.2 Do not use coarse abrasives for Planar or Fine grinding steps.

X4.12.3 Do not make large abrasive size jumps between preparation steps. Insert an intermediate step if necessary.

X4.12.4 Napless polishing cloths produce less pull-out than napped cloths.

X4.12.5 Every step has to remove the damage from the previous step, and has to introduce as little damage as possible.

X4.12.6 Check the specimen after every step in order to find out when the pull-out occurs.

X4.13 *Gaps*—Gaps are the voids between the mounting compound and the specimen. Gaps can result in a variety of preparation artifacts such as edge rounding, contamination and staining.

X4.13.1 Clean and dry the specimen thoroughly prior to mounting.

X4.13.2 Select a mounting compound with low shrinkage (see Section 9).

X4.13.3 For hot compression mounting, cool the specimen under pressure.

X4.13.4 For castable mounting compounds, avoid high curing temperatures. It may be necessary to cool the specimen during the curing.

X4.13.5 Specimen height should be kept as low as practical to minimize gaps when using hot compression mounting.

X4.14 *Contamination*—Contamination is material from a source other than the specimen itself which is deposited on the specimen surface during grinding or polishing.

X4.14.1 Thoroughly clean the specimen between preparation steps (see 11.2.5, 11.3.3).

X4.14.2 Store grinding and polishing discs in a clean, dust-free environment.

X4.14.3 Change grinding or polishing substrate/abrasive if necessary.

X4.15 *Embedded Abrasive*—Embedded abrasive results when loose grinding, lapping, or polishing abrasive sticks into the surface of the specimen.

X4.15.1 Embedded abrasive is most common with soft non-ferrous materials.

X4.15.2 Change to a more resilient grinding substrate.

X4.15.3 Use a block of paraffin or candle to “pick up” loose SiC particles on fine grit papers. This is done by lightly passing the paraffin block across the paper.

X4.15.4 Change to a more resilient polishing substrate when using diamond abrasives that are less than 3µm in diameter.

X4.15.5 Change to an oil or water/oil-based polishing lubricant.

X4.16 *Lapping Tracks*—Lapping tracks are indentations on the specimen surface made by abrasive particles moving freely (rolling) on a hard surface. Lapping tracks can be produced during both grinding and polishing.

X4.16.1 Change to a more resilient grinding or polishing substrate.

X4.16.2 Increase the applied load in 10 % increments until the lapping tracks disappear.

X4.16.3 Employ optimal dynamics.

REFERENCES

- (1) Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., “An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials,” *Practical Metallography*, Vol 15, April 1978, pp. 184–195.
- (2) Zipp, R. D., “Preservation and Cleaning of Fracture for Fractography,” *Scanning Electron Microscopy*, Part 1, 1979, pp. 355–362.
- (3) Russ, J. C., and Miller, G. A., “Effect of Oxidation on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel,” *Journal, Iron and Steel Institute*, Vol 207, December 1969, pp. 1635–1638.
- (4) Pickwick, K. M., and Smith, E., “The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations,” *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224–237.
- (5) Lane, G. S., and Ellis, J., “The Examination of Corroded Fracture Surfaces in the Scanning Electron Microscope,” *Corrosion Science*, Vol 11, September 1971, pp. 661–663.
- (6) Macmillan, J. W., and Flewitt, P. E. J., “Assessment of Methods for Cleaning Oxide from Fracture Surfaces for Examination in a Scanning Electron Microscope,” *Micron*, Vol 6, No. 3/4, 1975, pp. 141–146.
- (7) ASTM Task Group E24.02, “Clean Surfaces for Fractography,” ASTM STP 600, ASTM, Philadelphia, PA, 1976, pp. 251–253.
- (8) Hajicek, D. J., et al, “Development of a Cleaning Method for SEM Fractographic Analysis of Impulsively Loaded Cylinders,” *Microstructural Science*, Vol 5, Elsevier, NY, 1977, pp. 413–421.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

Anexo 9.5. Planos de Diseño