



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PULIDORA
METALOGRÁFICA DE 4 SERVICIOS AUTOMATIZADOS A
IMPLEMENTAR EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE
MATERIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: GUAMÁN PADILLA GREYS CATALINA

GAVILANES ILBAY JOEL PATRICIO

DIRECTOR: Ing. MARCO HOMERO ALMENDÁRIZ PUENTE

Riobamba - Ecuador

2021

©2021, Greys Catalina Guamán Padilla; & Joel Patricio Gavilanes Ilbay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando el Derecho de Autor.

Nosotros, Greys Catalina Guamán Padilla, Joel Patricio Gavilanes Ilbay, declaramos que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académicas de los contenidos se esté trajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de marzo de 2021



Greys Catalina Guamán Padilla
C.I. 0604888644



Joel Patricio Gavilanes Ilbay
C.I. 1804626842

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PULIDORA METALOGRAFICA DE 4 SERVICIOS AUTOMATIZADOS A IMPLEMENTAR EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA**”, realizado por la señorita y el señor: **GREYS CATALINA GUAMÁN PADILLA**, y **JOEL PATRICIO GAVILANES ILBAY** , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marcelo Antonio Jácome Valdez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-03-08
Ing. Marco Homero Almendáriz Puente DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-03-08
Ing. Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-03-08

DEDICATORIA

Dedico este pequeño logro a Dios por cuidarme y no dejarme sola en ningún momento, a mis papitos Pepito y Martita quienes han sido la bendición más grande que Dios me pudo dar enseñándome el significado de la fuerza, el amor sincero y la lucha constante para alcanzar nuestros sueños

A mis hermanas Cristi y Natti por su apoyo incondicional, por sus consejos los cuales me ayudaron en este trayecto universitario.

A mi amada Serena por ser mi más grande compañía y esperar siempre mi retorno a casa.

Greys

Este trabajo de titulación les dedico a mis padres quienes fueron la parte fundamental en mi vida para que yo pueda lograr cada uno de mis objetivos. A mis hermanos por acompañarme y apoyarme en todo momento. A mis amigos y demás familiares que formaron parte de este proceso siempre confiando en mis capacidades.

Joel

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, ser mi guía y mi fortaleza. A mis padres y hermanas, por su apoyo, amor incondicional y por ser mi soporte durante este largo camino.

A Narkhita García que ha sido mi amiga, mi norte y que con sus consejos ayudo a que yo forme mi carácter.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, los docentes de la Escuela de Ingeniería Industrial que más que educadores nos ayudaron con su mano amiga, en especial al Ing. Marco Almendáriz que ha sido mi mentor y mi guía en todas las actividades desarrolladas a lo largo de mi carrera universitaria.

A las personas quienes han contribuido de una u otra forma en la culminación de mi carrera.
Gracias

Greys

Quiero agradecer a Dios por siempre estar cuidando de mí y ayudarme a tomar las decisiones correctas en las dificultades. A Patricio Gavilanes, mi padre quien siempre me apoyo para continuar con mis estudios guiándome en un camino de honestidad y trabajo duro. A Lourdes Ilbay, mi madre por ser la persona que siempre estuvo para mí en todo momento dando todo su amor y comprensión sin esperar nada a cambio. A Daniel y Dayana, mis hermanos por confiar en mí y brindarme su apoyo a pesar de algunas diferencias. Sin ustedes esto nunca hubiere sido posible.

Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formar parte de esta gran familia. A todos los docentes de Ingeniería Industrial gracias por brindarme sus conocimientos y experiencias de vida.

Joel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Alcance del problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Marco Teórico.....	6
2.2.1. <i>Elementos ferrosos</i>	6
2.2.2. <i>Metales y Aleaciones</i>	6
2.2.3. <i>Cerámicas</i>	7
2.2.4. <i>Polímeros</i>	7
2.2.5. <i>Aceros al carbono</i>	8
2.2.6. <i>Aceros aleados</i>	8
2.2.7. <i>Sistema Hierro-Carbono</i>	9
2.2.8. <i>Estructuras Cristalinas Unitarias</i>	10

2.2.9.	<i>Tamaño de grano</i>	11
2.2.10.	<i>Pasos por seguir para la preparación de la muestra</i>	12
2.2.11.	<i>Pulido de la muestra</i>	12
2.2.12.	<i>Ataque químico</i>	12
2.2.13.	<i>Relación de transmisión</i>	13
2.2.14.	<i>Sistema Mecánico – Transmisión de movimiento</i>	13
2.2.15.	<i>Rodamientos</i>	13
2.2.16.	<i>Eje</i>	14
2.2.17.	<i>Motor reductor</i>	15
2.2.18.	<i>Poleas y bandas</i>	16
2.2.19.	<i>Sistema Eléctrico</i>	16
2.2.20.	<i>Interruptor de seguridad – paro de emergencia</i>	16
2.2.21.	<i>Variador de velocidad</i>	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	18
3.1.	Método de Investigación	18
3.2.	Fuentes de recolección de información	18
3.3.	Características y materiales de las probetas	19
3.4.	Identificación del proceso, máquinas y equipos	19
3.5.	Toma de tiempos del proceso	23
3.6.	Diagrama de proceso	24
3.7.	Diseño y construcción	26
3.7.1.	<i>Cálculo de potencia y selección del motor del disco porta lijas</i>	26
3.7.2.	<i>Selección del motor</i>	28
3.7.3.	<i>Cálculo de potencia y selección del motor del disco porta probetas</i>	29
3.7.4.	<i>Selección del motor disco porta probetas</i>	31
3.7.5.	<i>Selección del variador de frecuencia</i>	31
3.7.6.	<i>Diseño y selección del sistema banda-polea para el diseño porta paños</i>	32
3.7.7.	<i>Selección del sistema banda – polea del disco porta probetas</i>	36
3.7.8.	<i>Material para el disco porta paño</i>	41
3.7.9.	<i>Material y diseño para el eje motriz</i>	43

3.7.9.1.	<i>Material</i>	43
3.7.9.2.	<i>Diseño:</i>	43
3.7.10.	<i>Material y diseño para el disco porta probetas</i>	47
3.7.10.1.	<i>Material</i>	47
3.7.10.2.	<i>Diseño:</i>	48
3.7.11.	<i>Material y diseño para el eje porta probetas</i>	48
3.7.11.1.	<i>Material</i>	48
3.7.11.2.	<i>Diseño:</i>	49
3.7.12.	<i>Selección de las chavetas</i>	52
3.7.13.	<i>Material y diseño de la estructura</i>	53
3.7.13.1.	<i>Material</i>	53
3.7.14.	<i>Diagrama eléctrico</i>	54
3.7.15.	<i>Sistema de drenaje</i>	55
3.8.	Procedimiento de utilización y funcionamiento	55
3.9.	Descripción del proceso de construcción de la máquina pulidora de probetas	56
3.10.	Toma de tiempos del proceso posterior a la implementación	59
3.11.	Diagrama de proceso posterior a la implementación	60
3.12.	Análisis de Costos	62
3.12.1.	<i>Costos Directos</i>	62
3.12.2.	<i>Costos de mano de obra</i>	63
3.12.3.	<i>Costos de transporte de material</i>	64
3.12.4.	<i>Costo directo total</i>	64
3.12.5.	<i>Costos indirectos</i>	64
3.12.6.	<i>Costo total</i>	65

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	66
4.1.	Materiales de fabricación de la maquina pulidora	66
4.1.1.	<i>Material para el disco porta paño</i>	66
4.1.2.	<i>Material y diseño para el eje motriz</i>	66
4.1.3.	<i>Material para el disco porta probetas</i>	66
4.1.4.	<i>Material para el eje porta probetas</i>	67
4.1.5.	<i>Material de la estructura</i>	67

4.1.6.	<i>Potencia y selección del motor del disco porta lijas</i>	<i>67</i>
4.1.7.	<i>Potencia y selección del motor del disco porta probetas.....</i>	<i>68</i>
4.1.8.	<i>Selección del sistema banda-polea para el disco porta paños</i>	<i>68</i>
4.1.9.	<i>Selección del sistema banda – polea del disco porta probetas.....</i>	<i>69</i>
4.1.10.	<i>Comparación del método inicial y la máquina implementada</i>	<i>69</i>
4.1.11.	<i>Ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de pulido</i>	<i>70</i>
CONCLUSIONES.....		72
RECOMENDACIONES:.....		74
GLOSARIO:		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Toma de tiempos en la preparación de probetas metalográficas	24
Tabla 2-3:	Diagrama de operación de proceso	25
Tabla 3-3:	Resumen del diagrama de procesos	25
Tabla 4-3:	Coefficiente de fricción dinámica.....	27
Tabla 5-3:	Factor de seguridad.....	28
Tabla 6-3:	Selección del motor	29
Tabla 7-3:	Selección del motor disco porta probetas.....	31
Tabla 8-3:	Correas trapeciales estrechas de alto rendimiento	32
Tabla 9-3:	Selección diámetro de referencia	33
Tabla 10-3:	Factor de potencia.....	34
Tabla 11-3:	Selección de correas.....	37
Tabla 12-3:	Selección diámetro de referencia	38
Tabla 13-3:	Factor de potencia.....	39
Tabla 14-3:	Propiedades del aluminio	42
Tabla 15-3:	Características del acero SAE 1018	43
Tabla 16-3:	Factores de concentración de esfuerzos	45
Tabla 17-3:	Parámetros en el factor de la condición superficial	46
Tabla 18-3:	Propiedades del acero SAE 1045	47
Tabla 19-3:	Características del acero SAE 1018	48
Tabla 20-3:	Factores de concentración de esfuerzos	50
Tabla 21-3:	Parámetros en el factor de la condición superficial	51
Tabla 22-3:	Chavetas paralelas serie normal	53
Tabla 23-3:	Propiedades del acero SAE A36	54
Tabla 24-3:	Toma de tiempos del proceso posterior a la implementación.....	60
Tabla 25-3:	Diagrama de operación de proceso de la situación mejorada	61
Tabla 26-3:	Resumen del diagrama de procesos de la situación mejorada	61
Tabla 27-3:	Costos Directos.....	62
Tabla 28-3:	Costos de mano de obra.....	63
Tabla 29-3:	Costo de transporte de material.....	64
Tabla 30-3:	Costo Directo total.....	64
Tabla 31-3:	Costos indirectos.....	64
Tabla 32-3:	Costo Total	65

Tabla 1-4:	Comparación del método inicial y actual	69
Tabla 2-4:	Ventajas y desventajas del sistema de la máquina implementada	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Metales y aleaciones.....	6
Figura 2-2:	Metales y aleaciones.....	8
Figura 3-2:	Diagrama de Equilibrio Hierro - Carbono	10
Figura 4-2:	Celdas unitarias de las principales estructuras cristalinas metálicas	10
Figura 5-2:	Formación de los granos durante la solidificación.....	11
Figura 6-2:	Formación del Tamaño de grano	11
Figura 7-2:	Ataque químico a las probetas	13
Figura 8-2:	Diferencia entre cojinetes y rodamientos.....	14
Figura 9-2:	Motor reductor de velocidad.....	15
Figura 10-2:	Transmisión por correas	16
Figura 11-2:	Protección frente al cortocircuito.....	17
Figura 12-2:	Variador de velocidad	17
Figura 1-3:	Corte de la probeta	20
Figura 2-3:	Montaje de la probeta	20
Figura 3-3:	Selección del papel abrasivo.....	20
Figura 4-3:	Desbaste de la probeta.....	21
Figura 5-3:	Pulido de la probeta.....	21
Figura 6-3:	Enjuague de la probeta	22
Figura 7-3:	Secado de la probeta.....	22
Figura 8-3:	Ataque químico metalográfico	23
Figura 9-3:	Observación microscópica.....	23
Figura 10-3:	Observación microscópica.....	31
Figura 11-3:	Características del aluminio	42
Figura 12-3:	Disco porta paño.....	43
Figura 13-3:	Diseño del eje.....	43
Figura 14-3:	Diagrama de corte y momento.....	44
Figura 15-3:	Diseño del disco porta probetas	48
Figura 16-3:	Esfuerzos de torsión y deflexión	49
Figura 17-3:	Diseño de la máquina	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ANEXO B: PULIDORA METALGRÁFICA DE 4 SERVICIOS AUTOMATIZADOS

ANEXO C: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM: Sociedad Americana para pruebas y Materiales

A36: Aleación de acero al carbono

CC: Estructura Cúbica centrada en el cuerpo

CCC: Estructura Cúbica centrada en las caras

HC: Estructura Hexagonal compacto

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación denominado: “Diseño y construcción de una pulidora metalográfica de 4 servicios automatizados a implementar en el laboratorio de ingeniería de materiales de la facultad de Mecánica” ha sido la implementación de una pulidora metalográfica de 4 servicios automatizados para el desarrollo teórico-práctico en el laboratorio de Ingeniería de Materiales en la Facultad de Mecánica cuya finalidad ha sido el cumplimiento de los objetivos planteados en un estudio sobre los diferentes métodos de operaciones de pulido-desbaste en el proceso de preparación de probetas metalográficas, remplazando así el proceso manual realizado hasta ahora en el laboratorio. Inicialmente se analizó los principios básicos sobre la técnica metalográfica que fundamente la clase de máquina desbastadora, abrasivos, velocidades de rotación de discos, necesarios para garantizar el logro de los objetivos planteados, seguidamente se identificaron las diferentes máquinas pulidoras existentes donde se analizó las ventajas y desventajas de cada una que se ofrecía en cuanto a funcionamiento, facilidad de operación, resultados etc. Durante este análisis se procedió a la construcción de la máquina pulidora de 4 servicios automatizados en el que las probetas giran a grandes velocidades, para finalmente implementar la pulidora metalográfica y analizar los resultados obtenidos, haciendo una comparación entre la maquina implementada y las que existían anteriormente en el laboratorio. Con la implementación de esta máquina la capacidad del laboratorio es la óptima debido a que el tiempo en el que los estudiantes desarrollan estos ensayos es menor, y por ende se optimiza los resultados obtenidos en el análisis de las probetas, lo que garantiza el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <AUTOMATIZACIÓN>, <PULIDORA METALOGRAFICA>, <INGENIERÍA DE MATERIALES>, <MEJORA DE PROCESOS>.



8-04-2021

0974-DBRAI-UTP-2021

SUMMARY

The objective of the present degree work called: "Design and construction of a metallographic polishing machine with 4 automated services to be implemented in the materials engineering laboratory of the Faculty of Mechanics" has been the implementation of a metallographic polishing machine with 4 automated services for the theoretical-practical development in the Materials Engineering laboratory in the Faculty of Mechanics whose purpose has been the fulfillment of the objectives set out in a study on the different methods of grinding-polishing operations in the process of preparation of metallographic specimens, thus replacing the manual process performed so far in the laboratory. Initially, the basic principles of the metallographic technique were analyzed to determine the type of grinding machine, abrasives, disc rotation speeds, necessary to guarantee the achievement of the proposed objectives, followed by the identification of the different existing polishing machines where the advantages and disadvantages of each one was analyzed in terms of operation, ease of operation, results, etc. During this analysis we proceeded to the construction of the polishing machine, of 4 automated services in which the specimens rotate at high speeds, to finally implement the metallographic polishing machine and analyze the results obtained, making a comparison between the implemented machine and those that previously existed in the laboratory. With the implementation of this machine the capacity of the laboratory is optimal because the time in which students develop these tests is less, and therefore the results obtained in the analysis of the specimens are optimized, which guarantees the learning process of the students of the Faculty of Mechanics.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATION>, <METALLOGRAPHIC POLISHING>, <MATERIALS ENGINEERING>, <PROCESS IMPROVEMENT>.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la sociedad, así como de la tecnología ha permitido que los seres humanos realicen importantes avances en cuanto al modo de vida y su entorno hasta nuestros días y todo lo que con ello produjo significativamente dicho progreso, permitiendo el paso de la edad de piedra a la era donde los metales se destacan en la actualidad para la producción de todo tipo de instrumentos, siendo objetos de gran utilidad social. De entre los metales pioneros que han sido utilizados al inicio de esta era ha sido el cobre, porque su yacimiento en estado natural se puede encontrar sin problema alguno en el medio ambiente, favoreciendo de esta manera el desarrollo económico de todas las urbes en progreso.

Con el avance del desarrollo de la civilización ha sido necesario un énfasis especial en los diversos materiales y metales que se encuentran en la naturaleza, porque sin estos materiales no sería posible el desarrollo económico, tecnológico, entre otros como hoy lo conocemos, en vista de aquello la disciplina que se encarga de estudiar microscópicamente las particularidades estructurales de un metal o de una aleación, investigando: microestructura, inserciones, tratamientos térmicos a los cuales haya sido sometido dicho material, con el objetivo de determinar si mencionado material cumple con los parámetros para los cuales ha sido bosquejado; es la metalografía, misma que facilita hallar el aspecto de material fundido, forjado y laminado, permitiendo conocer la distribución de fases que constituyen determinada aleación y las inserciones no metálicas, así como la presencia de separaciones y otras irregularidades que se pueden presentar en la estructura de un determinado material, para posteriormente mejorar las condiciones a las cuales va a estar expuesto el material, acorde el tipo de trabajo para el cual es asignado.

El conocimiento de la metalografía es importante dentro de las actividades académicas permitiendo mejorar los procesos por tal motivo la implementación de una pulidora metalográfica de 4 servicios automatizados está considerada como un aporte para el desarrollo teórico-practico para el estudio de la ciencia de los Materiales, en el laboratorio de Ingeniería de Materiales en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con la finalidad de cumplir los objetivos planteados en un estudio sobre los diferentes métodos de operaciones de pulido-desbaste en el proceso de preparación de probetas metalográficas, remplazando así el proceso manual realizado hasta el momento en el laboratorio, reduciendo tiempos de operación, mejorando el proceso académico y optimizando recursos.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En vista de las dificultades que se han presentado en el proceso de pulido de probetas metalográficas durante las prácticas metalográficas, tales como el exceso de tiempo y el esfuerzo realizado por el estudiante de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al momento de tener contacto directo con los discos en movimiento y a causa de este problema el resultado final ha sido la finalización del trabajo de pulido con presencia de rayaduras en la superficie de la probeta no obstante otros problemas que dificultan la correcta apreciación de la estructura en el microscopio electrónico obteniendo resultados errados e imprecisos, debido a esta causa se ha generado la necesidad de implementar un sistema de pulido más óptimo que se caracterice por el ahorro de tiempo y facilidad del operador en el momento de realizar el trabajo, dicho sistema debe presentar facilidad de operación, mantenimiento económico y óptimo desempeño. El objetivo del presente trabajo de titulación es el diseño y construcción de una pulidora metalográfica de 4 servicios automatizados para el pulido de probetas metalográficas, mediante una visita In-situ se realizó un análisis existente sobre la técnica metalográfica lo cual permitió definir las condiciones que debe tener el equipo para que se pueda ser desarrollar la técnica de desbaste de la mejor manera posible acorde la normativa ASTM E3 - 11, conjuntamente con un análisis de los diferentes equipos existentes para el desarrollo de dicha máquina obteniendo las características más sobresalientes de cada uno de ellos con el propósito de tomarlas en consideración en el momento de adaptar dichos equipos a las condiciones dadas en el laboratorio de la Facultad de Mecánica.

En la actualidad el laboratorio de Ingeniería de Materiales está dotado únicamente con pulidoras que se encuentran en malas condiciones ya que tiene una opción fija de revoluciones, por esta razón el tiempo de preparación de cada probeta es considerable causando así el retraso de la culminación del ensayo y el peligro que esta representa para los estudiantes y docentes que realizan prácticas en el laboratorio de la Facultad de Mecánica por tratarse de una máquina manual, por esta razón el diseño y construcción e implementación de una pulidora metalográfica de 4 servicios automatizados para el pulido de probetas metalográficas ha sido desarrollado bajo parámetros técnicos mediante la ayuda del software SolidWorks se diseñaron los planos de la máquina con el propósito de conocer su forma y funcionamiento, validando así el diseño ingenieril.

1.2. Alcance del problema

El Diseño y construcción de una máquina pulidora de probetas automatizada y su implementación en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el año 2020; del presente trabajo de titulación se beneficia a los estudiantes de las diferentes carreras de la facultad de Mecánica, el mismo que ha consistido en la elaboración de diagramas, selección de materiales y cálculos aplicados según especificaciones técnicas. Mediante esta implementación se proyectó a reducir el tiempo de preparación de las probetas para su posterior análisis microscópico y optimizar de esta forma el proceso de aprendizaje de los estudiantes, reduciendo tiempos de operación, y optimizando recursos haciendo que el proceso de aprendizaje sea eficiente y eficaz.

1.3. Justificación

Actualmente el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Facultad de Mecánica dispone de máquinas para realizar los ensayos de pulido metalográfico, pero estas máquinas por su antigüedad no prestan los beneficios necesarios que actualmente se requiere para obtener los resultados esperados en la observación microscópica de las probetas.

El desprendimiento de partes de papel abrasivo o paño, el rayado no deseado sobre la superficie de la probeta a estudiar y el cambio de la microestructura son problemas que se presentan durante el desarrollo de las practicas, debido a que el proceso actual de pulido se lo realiza manualmente, en donde no se puede controlar variables como la velocidad y fuerza que se ejerce sobre la probeta, llegando a dañar a la probeta y desperdiciando tiempo valioso en la ejecución destinada para esta actividad.

Otro factor por considerar es el elevado tiempo que toma preparar una probeta correctamente pulida y el aumento de estudiantes en el laboratorio, lo que conlleva a que los estudiantes tengan que esperar largos tiempos para poder desarrollar sus prácticas metalográficas. Con la implementación de esta máquina la capacidad del laboratorio será la óptima debido a que el tiempo en el que los estudiantes desarrollan estos ensayos será menor, lo que garantizará el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir una pulidora metalográfica de 4 servicios automatizados para la implementación en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Facultad de Mecánica.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de los puntos a mejorar en la utilización de las pulidoras metalográficas que existen actualmente en la facultad de mecánica.
- Definir ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de pulido de probetas metalográficas existentes.
- Desarrollar el diseño y la selección de mecanismos y materiales a utilizar en la pulidora metalográfica a implementar.
- Implementar la pulidora metalográfica y analizar los resultados obtenidos, haciendo una comparación entre la maquina implementada y las que existían anteriormente en el laboratorio.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes

Acorde una revisión bibliográfica de varios trabajos de titulación a continuación se detallan diversas investigaciones como son:

- Un primer trabajo de titulación, acorde el autor, (Cárdenas y Carrera ,2015, p. 22) denominado, ‘‘Diseño y construcción de una pulidora de probetas con paño a implementar en el laboratorio de metalografía de la Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy’’ menciona que: , iniciando con un estudio técnico así como una sustentación teórica de los materiales y componentes que fueron utilizados en la construcción de la máquina, para ello se seleccionó una alternativa que cumpla con todos los requerimientos necesarios para la Universidad, posteriormente se diseñó en base a elementos constructivos y de selección de materiales, en el diseño de la máquina se tomó en consideración la carga a la que está sometido el disco giratorio de la máquina, mediante esta implementación los resultados obtenidos fue el aumento de la capacidad del laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana a través del mejoramiento del asunto, evitando cuellos de botella en el pulido, obteniendo un incremento en el número de probetas listas para un análisis metalográfico, además de ofrecer mayor seguridad en el proceso de pulido para la persona que ejecuta el ensayo, porque los componentes de la estructura de diseño se encuentran en la parte interna de la máquina.(Cárdenas y Carrera 2015, p. 146)
- Un segundo trabajo de titulación acorde los autores, (Naranjo Mendoza y Racines Mendoza, 2010, p 26) denominado: ‘‘Diseño y construcción, de una máquina de desbaste para probetas metalográficas implementado en el laboratorio de metalografía de la Escuela Politécnica Nacional’’, sugiere que: el objetivo comprimir los tiempos y esfuerzos de desbaste debido a que el proceso era de tipo manual, se desarrolló los cálculos, diseño y parámetros técnicos previos a la construcción. La máquina implementada mejoró la operación de mantenimiento y cambio de papel abrasivo, redujo notablemente el tiempo de preparación de las probetas metalográficas, por otra parte, no se necesita del suministro continuo de agua ya que coloca de un sistema interno de recirculación de líquido y es de fácil transporte y operación, lo que dio como resultado una maquina más eficiente y ergonómica para el desarrollo de los ensayos que requieren los estudiantes de la institución. (Naranjo Mendoza y Racines Mendoza, 2010, p 12)

- Como un tercer trabajo de los autores, (Espín Lagos y Merino Freire, 2014, p 30) denominado: ‘‘Estudio de sistemas de pulido de probetas metalográficas y su incidencia en la calidad de pulido en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato’’, refiere que: se hace referencia al proceso de pulido para probetas metalográficas, enfocado principalmente al acabado que se debe dar a una probeta, teniendo en consideración la manera del pulido al análisis metalográfico por medio del manejo de varios métodos, e instrumentos como fichas de observación, hojas de campo entre otros, a través de un diseño adecuado consiguió el pulido simultáneo de 4 probetas en menor tiempo, de una manera idónea contribuyendo al desarrollo institucional de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica, pues con la fabricación de esta máquina se mejoró el servicio de pulido de probetas metalográficas.(Espín Langos y Merino Freire , 2014, p30)

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Elementos ferrosos

Este grupo de elementos está formado por aquellos materiales cuyos componentes básicos son el hierro y el carbono.

Los materiales ferrosos se clasifican según el porcentaje de carbono que contienen en su estructura, estos pueden ser;

- Hierro, cuando el porcentaje de carbono es menor al 0.02%
- Acero, cuando el porcentaje de carbono está entre el 0.02% y el 2%
- Fundición, cuando el porcentaje de carbono está entre el 2% y el 6%

2.2.2 Metales y Aleaciones



Figura 1-2: Metales y aleaciones
Fuente: Infometales.com

Los metales incluyen aluminio, magnesio, zinc, hierro, titanio, cobre y níquel. Una aleación es un metal que contiene adiciones de uno o más metales o no metales; por ejemplo, el acero es una aleación de hierro con adiciones de carbono. En general, los metales tienen buenas conductividades eléctricas y térmicas. Además, igual que las aleaciones tienen resistencias relativamente altas, gran rigidez, ductilidad o formabilidad y resistencia al impacto. Son particularmente útiles para aplicaciones estructurales o de carga. Aunque en ocasiones se usan metales puros, las aleaciones pueden mejorar una propiedad deseable específica o permiten mejores combinaciones de las propiedades. (Cárdenas y Carrera, 2015, p. 4)

2.2.3 Cerámicas

Las cerámicas pueden definirse como materiales cristalinos inorgánicos. La arena de playa y las rocas son ejemplos de cerámicas en estado natural. Las cerámicas avanzadas, que son materiales preparados por medio de la refinación de cerámicas de estado natural y otros procesos especiales. Por lo regular se preparan polvos finos de cerámicas y se convierten en distintas formas. Las nuevas técnicas de procesamiento permiten fabricar cerámicas lo suficientemente resistentes a la fractura que pueden utilizarse en aplicaciones de carga, como los impulsores en los motores de turbinas. Las cerámicas tienen una resistencia excepcional bajo compresión. (Askeland & Wright, 2017, pp. 8-9),

2.2.4 Polímeros

Según manifiesta que: los polímeros son materiales orgánicos. Se producen por medio de un proceso conocido como polimerización. Los materiales poliméricos incluyen al caucho (elastómeros) y muchos tipos de adhesivos. Los más usuales son buenos aislantes eléctricos y térmicos, aunque existen excepciones, los polímeros tienen una muy buena razón resistencia/peso, una peculiaridad específica es que no se pueden usar a altas temperaturas, pero muchos de ellos tienen muy buena tenacidad a sustancias químicas corrosivas. Los polímeros termoplásticos, en los que las cadenas moleculares grandes no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y formabilidad; los polímeros termoestables son más resistentes, pero más quebradizos, debido a que las cadenas moleculares están enlazadas de manera cruzada, todos estos tipos se usan en muchas aplicaciones en de la industria. (Askeland & Wright, 2017, pp. 8-9).

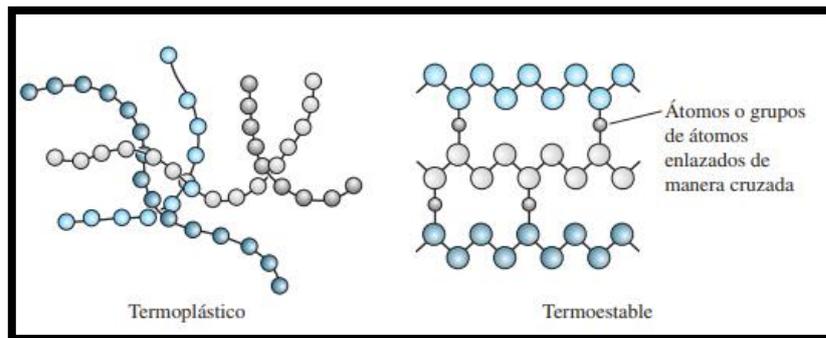


Figura 2-2: Metales y aleaciones
Fuente: (Askeland y Wright 2017)

2.2.5 Aceros al carbono

Los aceros al carbono son aquellos que apenas tienen elementos de aleación y los pequeños contenidos de algunos elementos presentes en su composición química son consecuencia del proceso de fabricación utilizado en la fabricación del acero.

Estos aceros tienen una baja templabilidad, por lo que normalmente no se utilizan en estado de temple y revenido, sino que se emplean directamente en estado bruto de forja o de laminación y, en algunas ocasiones, tras tratamientos de normalizado y/o recocido.

Los aceros al carbono tienen microestructuras ferrito-perlíticas y sus propiedades mecánicas dependen principalmente de su contenido en carbono y, en menor medida, de su contenido en manganeso. Normalmente el contenido en carbono de estos aceros varía desde 0.05 hasta 1.0%. (Belzunce, 2001, p. 100)

2.2.6 Aceros aleados

Implicancia de los componentes en los aceros aleados.

Cromo: Formación de carburos de cromo que son duros, afina también el tamaño del grano aumentando la tenacidad y dureza.

Níquel: El níquel al igual que el Cr origina que se desplace el punto eutéctico hacia la izquierda y aumenta la zona crítica de temperatura. El níquel Ni es soluble en la ferrita y no forma carburos ni óxidos, esto incrementa la resistencia sin disminuir la ductilidad. Los aceros al Ni cementado tienen un núcleo más resistente que la de un acero al carbono ordinario. Manganeso: Se halla en todos los aceros como agente desoxidante y desulfurante, pero si es superior al 1% se clasifica como una aleación de manganeso. Forma carburos y aumenta el tiempo necesario de la transformación haciendo posible el temple en aceite. Silicio: Se añade como agente desoxidante. Cuando se añade en aceros de bajo porcentaje de carbono, produce un material frágil, con alta permeabilidad magnética y baja pérdida por histéresis.

Se emplea con otros elementos como el Mn, Cr y V, para estabilizar sus carburos.

Molibdeno: Forma carburos y se disuelve en la ferrita dando al acero propiedades de dureza y tenacidad. Es el material más efectivo para hacer temple al aire y en aceite. Contribuye a afinar el grano.

Vanadio: Tiene tendencia muy fuerte a formar carburos, agente fuertemente desoxidante y afina el grano. Es muy difícil ablandar los aceros al vanadio por revenido, por ello se emplea en aceros para herramientas. Tungsteno: El tungsteno produce una estructura fina y densa, dando tenacidad y dureza. Su efecto es similar al del Molibdeno. (Ma San Zapata, 2013, p. 8)

2.2.7 Sistema Hierro-Carbono

Para empezar, hay que dejar muy claras las características tan peculiares del sistema hierro-carbono (cuya importancia industrial queda patente, siendo con mucha diferencia, entre los materiales metálicos, el más utilizado y el más universal en sus aplicaciones: construcción, maquinaria, herramientas, transportes, etc.

Peculiaridades que se derivan de este sistema hierro-carbono:

- Consiste en un diagrama metal - no metal típico.
- El hierro y el carbono tienen tamaños atómicos y características químicas muy diferentes.
- Forman, en estado sólido, soluciones intersticiales. Es decir, el carbono no sustituye, en las diferentes redes cristalinas del hierro, posiciones de este metal; sino que se sitúa en posiciones intersticiales, frente a las clásicas soluciones sustitucionales tan abundantes en los más diversos sistemas de aleaciones metálicas.
- El hierro se presenta en tres formas alotrópicas distintas, como son: hierro δ , hierro γ (austenita) y hierro α (ferrita). Todas ellas con muy distinta capacidad para albergar cuantitativamente carbono en los diferentes intersticios de sus redes cristalinas.
- Este diagrama hierro-carbono, en su parte de interés industrial, esto es, entre el 0'008% y el 6'67% de carbono en masa, presenta dos transformaciones de gran importancia e interés metalúrgicos: un eutectoide, en el 0'8% de carbono en masa a 723°C, aproximadamente, y una transformación eutéctica para un contenido de carbono en masa del 4'30, a una temperatura aproximada de 1147°C. (Criado Portal, 2008, p. 8)

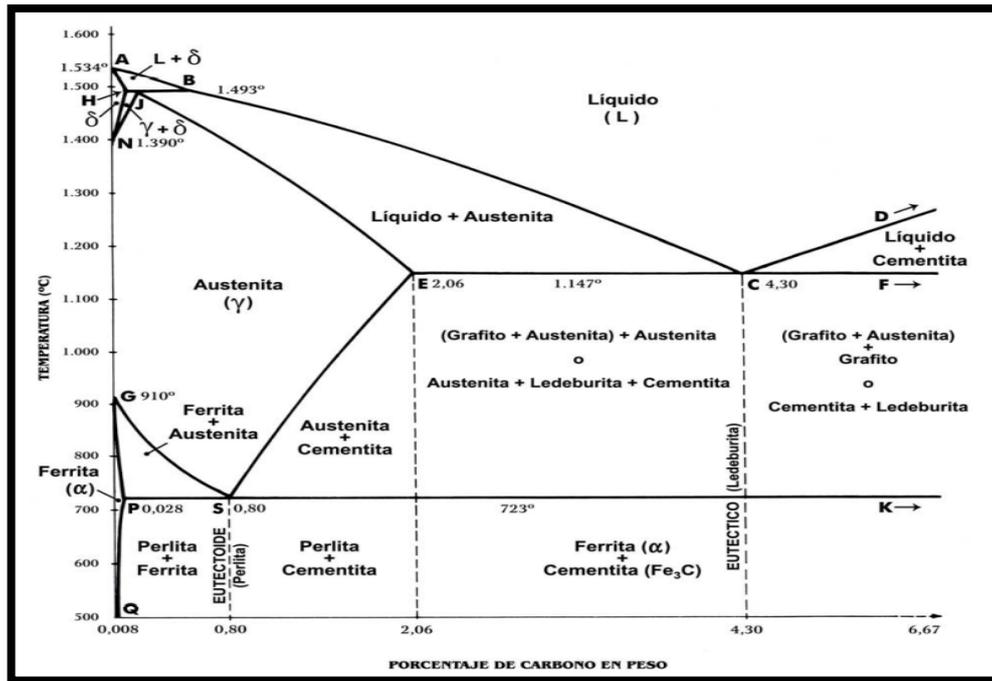


Figura 3-2: Diagrama de Equilibrio Hierro - Carbono
Fuente: (Criado Portal , 2008)

2.2.8 Estructuras Cristalinas Unitarias

En las estructuras cristalina unitarias, los metales se cristalizan en tres estructuras reticulares primordiales que son:

- Estructura Cúbica centrada en el cuerpo (CC).
- Estructura Cúbica centrada en las caras (CCC).
- Estructura Hexagonal compacto (HC). (Cárdenas y Carrera 2015, p. 11-12)

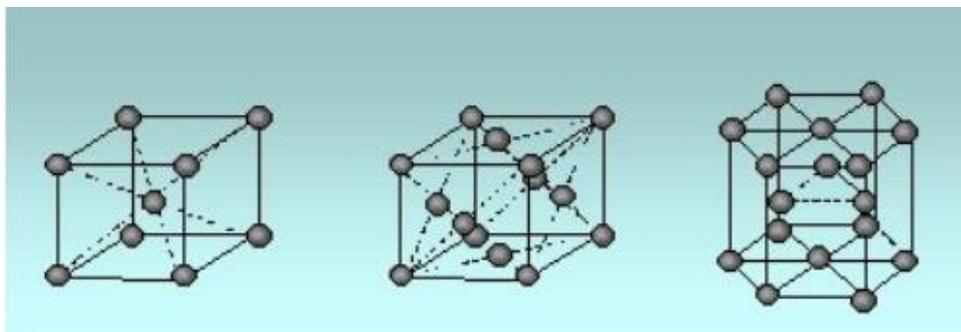


Figura 4-2: Celdas unitarias de las principales estructuras cristalinas metálicas
Fuente: <https://bit.ly/3kiCU5B>

En esta figura se ve el crecimiento de la dendrita a partir del núcleo hasta el grano final cuando el metal se cristaliza desde la etapa de fundido, los metales hierro, el cobre, la plata y otros metales

están desarrollados por distribuciones de granos pequeños, los cuales pueden observarse en un microscopio cuando se pule y ataca la probeta. (Cárdenas y Carrera 2015, p. 11-12)

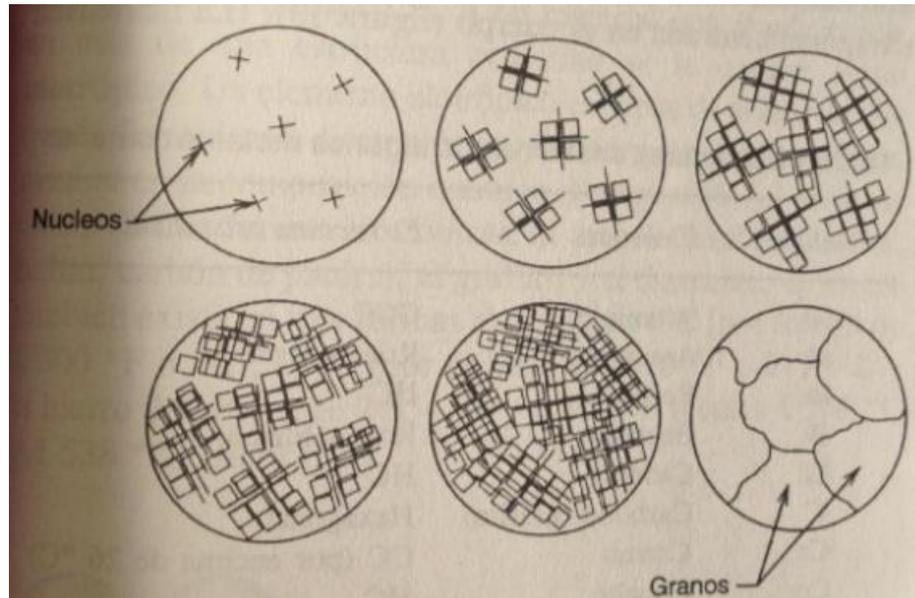


Figura 5-2: Formación de los granos durante la solidificación
Fuente: (Cárdenas y Carrera, 2015, p. 12)

2.2.9 Tamaño de grano

La formación del tamaño de grano se detalla en la figura donde: la primera figura muestra pequeños cristales iniciales dentro de la formación. En la figura 6-2 se observan pequeños cristales crecen y se agrupan con otros, se observa también la formación de granos completos, y la representación de los granos vistos en el microscopio, es importante preparar la probeta en un lugar de trabajo limpio. (López Fiallos, 2019, p. 9)

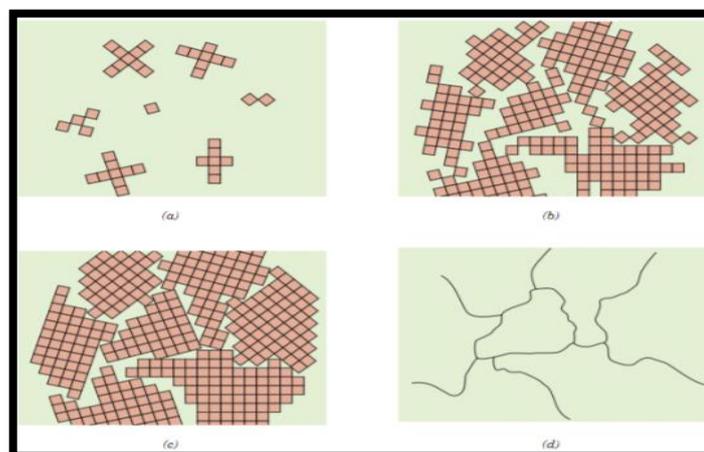


Figura 6-2: Formación del Tamaño de grano
Fuente: (López ,2019, p. 9)

2.2.10 Pasos por seguir para la preparación de la muestra

Según (Merino Freire, 2014, p. 12-13) los pasos para la preparación de la muestra se debe lograr una superficie pulida y totalmente plana, haciendo uso de papeles de esmeril realizado el desbaste con discos idóneos para el mismo, en los cuales se deberá depositar un papel abrasivo finalizando con un acabado final muy fino sobre discos dotados de paños, se debe tener en consideración el cuidado con que cada probeta deberá ser manejado en cada proceso de operación, como dato adicional es muy importante trabajar en una superficie limpia con el objetivo de evitar que cualquier partícula extraña dificulte la muestra, por ello es fundamental mantener una adecuada limpieza de las manos con agua y jabón, de manera global los pasos a seguir son:

- ✓ Corte de probeta
- ✓ Montaje en la máquina
- ✓ Esmerilado y Pulido de probeta
- ✓ Ataque con Reactivo Químico.

2.2.11 Pulido de la muestra

El pulido mecánico es un corte superficial, que tiene por finalidad eliminar las rayas del desbaste y la zona de metal deformada por plasticidad. El pulido se hace sobre un paño húmedo que se ha impregnado con un abrasivo fino de carácter especial: suspensión de alúmina en agua o polvo de diamante en alcoholes grasos. Es corriente que el disco de pulido provisto del paño y el abrasivo gire con una velocidad de 550 a 1100 rpm, comprimiendo suavemente la probeta contra él. El paño puede ser de terciopelo, seda, lona, fieltro o lana. Durante el pulido deben desaparecer las rayas y se obtiene una superficie brillante, análoga a la de un espejo. Se ha de procurar que la profundidad del metal alterado sea mínima. (Morral y Molera, 1985, p. 698-699)

2.2.12 Ataque químico

El objetivo de cubrir con reactivo químico a una muestra es descubrir posibles defectos e inclusiones inherentes a la probeta, en las cuales las condiciones de cuidado del reactivo químico deben ser controladas adecuadamente, porque si existiría una manipulación incorrecta podría causar accidentes, tanto en el operador que manipula el químico así como en la muestra estudiada. (Merino Freire, 2014, p. 21)



Figura 7-2: Ataque químico a las probetas

Fuente: <https://bit.ly/35id2AH>

2.2.13 Relación de transmisión

La relación de transmisión es el cociente entre la velocidad angular de salida ω_2 (Velocidad de la rueda conducida) y la de entrada ω_1 (velocidad de la rueda conductora): $\mu = \omega_2 / \omega_1$. Dicha relación puede tener signo positivo si los ejes giran en el mismo sentido o negativo si los giros son de sentido contrario. Del mismo modo, si la relación de transmisión es mayor que 1 ($\mu > 1$) se hablará de un mecanismo multiplicador, y si es menor que 1 ($\mu < 1$) que suele resultar lo más habitual de un mecanismo reductor, o simplemente de un reductor.

Por otro lado, este objetivo de transmitir una rotación entre dos ejes con una relación de velocidades angulares constante se puede conseguir también mediante otros dispositivos como: correas, cadenas, rueda de fricción, levas o mecanismos de barras articuladas, pero todos ellos tienen sus limitaciones. (Medina y Rivadeneira, 2010, p. 6)

2.2.14 Sistema Mecánico – Transmisión de movimiento

El movimiento puede considerarse como algo que se va transmitiendo a través de una línea o trayectoria recta, quebrada o curva. En este sentido es semejante a la transmisión o conducción de un líquido, de un gas o de una corriente eléctrica, en todos los casos, hay: una máquina que produce el impulso, una máquina que lo recibe, una conducción larga y estrecha que lo conduce, unos mecanismos intermedios para unir las partes de la conducción de corriente eléctrica y de una conducción de movimiento. (Enciclopedia CEAC, 1980, p. 147)

2.2.15 Rodamientos

Los apoyos de los ejes o arboles de transmisión pueden ser, bien cojinetes de fricción o cojinetes de casquillo, o bien cojinetes de rodamientos o simplemente rodamientos, también denominados cojinetes antifricción (denominación esta última bastante extendida si bien no muy correcta, ya que el rozamiento en dichos cojinetes es comparable al de un cojinete ordinario bien diseñado que opere con condiciones de película gruesa). Los rodamientos son pues una clase de apoyo o soporte

de ejes, en los cuales la carga se transmite a través de elementos que están en contacto rodante y no deslizante. La disminución de las pérdidas por fricción, de forma que en el arranque la fricción en un rodamiento es aproximadamente dos veces la fricción en marcha y resulta despreciable en comparación con el rozamiento inicial en un cojinete de fricción. Por lo tanto, los rodamientos permiten un cierto ángulo de giro relativo entre el aro interior y el aro exterior, lo que posibilita el uso de criterios de cálculo de tensiones y deformaciones en los ejes considerando los apoyos como articulaciones que permiten el giro y no como empotramientos. (Rodríguez, 2003, p. 93)

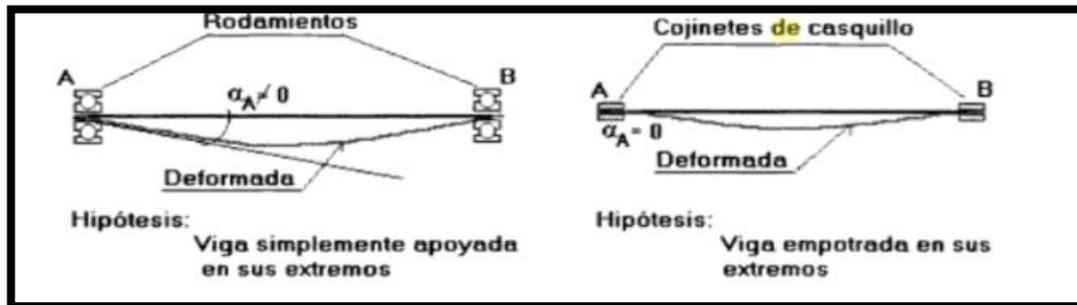


Figura 8-2: Diferencia entre cojinetes y rodamientos
Fuente: (Rodríguez, 2003, p. 93)

2.2.16 Eje

En todo movimiento circular hay unas piezas centrales que son las que reciben y transmiten el movimiento, unen entre si las diversas piezas, etc. Se llaman, en general, ejes, y corrientemente son piezas largas y cilíndricas. Un eje es la pieza que soporta una polea, un engranaje u otra pieza que tenga movimiento circular. Pieza que puede estar fija, o moverse con la pieza exterior. Se considera árbol cuando es el mismo el que transmite el movimiento a la polea o engranaje.

Diámetro de los ejes: Hay ejes que tienen el mismo diámetro en toda su longitud. Pero este no es el caso más corriente. Lo usual es que un eje tenga diferentes diámetros.

Extremo de los ejes: Los extremos de los ejes, suelen ser también cilíndricos, pero de menor diámetro que el resto del eje.

El extremo del eje, o parte de menor diámetro, debe tener una longitud de acuerdo con el diámetro. Esta longitud se especifica con todo detalle, por ejemplo, en la norma DIN 748.

Sección de los ejes: La sección circular es la más frecuente en los ejes, pero no es la única posible. Cuando el eje está fijo y es el cubo de la pieza el que gira sobre él, de modo que el eje sirve solamente de apoyo y trabaja solo a flexión, pero no a torsión la sección circular es absolutamente necesaria. (Enciclopedia CEAC, 1980, pp. 125-133)

2.2.17 Motor reductor

Tradicionalmente se han utilizado tres tipos de motores para funcionar en régimen de velocidad variable para diferentes aplicaciones, los cuales son: motor síncrono, motor de inducción y motor de CD. De estos tres tipos, el que habitualmente ha sido más utilizado para funcionar en régimen de velocidad variable es el motor de CD con conmutador en las categorías de baja a mediana potencia (hasta de 10MW), ya que sus características eléctricas permiten variar su velocidad de una forma sencilla, manteniendo una buena eficiencia. Los motores de este tipo proporcionan un alto par de arranque y permiten regular su velocidad dentro de márgenes más amplios. Los métodos para controlar su velocidad son más fáciles de implementar y el costo de su impulsor eléctrico es menor al de uno de corriente alterna.

En la industria este tipo de motores tiene una amplia aplicación, debido a sus características electromecánicas, ya que permiten diferentes tipos de conexiones (excitación separada, derivación, serie, excitación compuesta). Los motores en serie son los más empleados por su alto par de arranque. Al impulsor eléctrico de CD para tracción eléctrica se le conoce también con el nombre de *chopper* que en castellano quiere decir *interruptor periódico*. Este dispositivo de CD es un convertidor electrónico de potencia CD/CD de conmutación forzada, el cual se utiliza para el control del voltaje en el circuito de la armadura de los motores de CD. La fuente de energía de CD que abastece a los choppers se genera mediante baterías o fuentes de CA con diodos rectificadores con filtros a la salida. (Linares - Flores et al , 2011, p. 137-148)



Figura 9-2: Motor reductor de velocidad
Fuente: <https://n9.cl/s4z7>

2.2.18 Poleas y bandas

Acorde el autor (Arroba Benites y Loyola Merchán 2014, p. 14-15) manifiesta que: las poleas y bandas es una máquina simple que sirve para transmitir una fuerza, donde se trata básicamente de una rueda, maciza y acanalada en su borde, que, con el curso de una cuerda o cable que se hace pasar por el canal, también, sirve para disminuir la dimensión de la potencia necesaria para mover un peso, las bandas y poleas constituyen de una cinta colocada con tirantez en dos tambores: una motriz y otra movida. (Arroba Benites y Loyola Merchán 2014, p. 14-15)

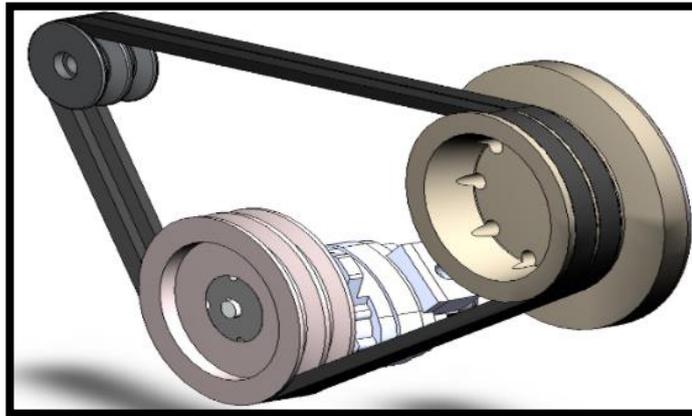


Figura 10-2: Transmisión por correas

Fuente: <https://n9.cl/s6ug>

2.2.19 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico de potencia (SEP) es el conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y sistemas de distribución que operan como un todo. En operación normal todas las máquinas del sistema operan en paralelo y la frecuencia en todo el SEP es constante. (Júarez José, 1995, p. 11)

2.2.20 Interruptor de seguridad – paro de emergencia

La máquina debe detenerse de modo que se evite cualquier peligro para las personas o para la máquina misma. Los procesos de frenado o los movimientos de retroceso no deben estorbarse. • Además de lo señalado para el interruptor-seccionador, deberá ofrecer:

- Poder de corte suficiente para poder desconectar con la intensidad del motor de mayor potencia en estado (AC-3) bloqueado, más la carga de todos los demás receptores en servicio normal (AC-3 6 In)
- Apertura forzosa de los contactos (IEC 204).

- Órgano de mando (manecilla) de color rojo. Superficie detrás del órgano de mando de color amarillo para un mejor contraste En la alimentación eléctrica a los cuadros eléctricos de obra, grúas, montacargas, etc., y cualquier tipo de máquina eléctrica se instalará un interruptor de seguridad-paro de emergencia. (Calvo Saéz, 2016, pp. 97- 98)

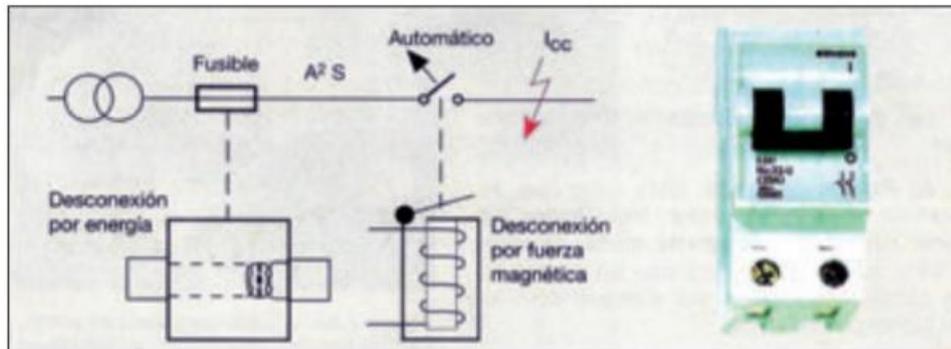


Figura 11-2: Protección frente al cortocircuito
Fuente:(Calvo Saéz , 2016, p. 98)

2.2.21 Variador de velocidad

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Ajustables Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Piñero. (2015) dice que: “Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Otra definición sería, los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y la acopla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables”. Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. (Morales Andino y Arana Suárez , 2017, p. 17)



Figura 12-2: Variador de velocidad
Fuente: <https://n9.cl/z4ln>

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente proyecto técnico está basado en la investigación de campo, la cual consiste en la recolección de la información directamente del lugar y sujetos de investigación. La información se obtiene sin manipular las variables ni alterar las condiciones existentes de la empresa, considerándose también una investigación de carácter no experimental por lo mencionado anteriormente.

Para este trabajo fue necesario la información recolectar la información disponible en el laboratorio de metalografía de la Facultad de Mecánica, con la cual se determinó la situación actual de la misma mediante inspecciones periódicas y la experiencia obtenida al desarrollar las prácticas de laboratorio como estudiantes de la Facultad de mecánica.

La implementación de la maquina pulidora de probetas metalográficas está basada en el mejoramiento del tiempo de preparación de probetas metalográficas para que de este modo los estudiantes puedan agilizar el desarrollo de los ensayos y así mejorar la calidad de aprendizaje de los estudiantes.

3.1 Método de Investigación

El método de investigación del presente trabajo corresponde al método inductivo debido a que mediante este método se visualiza, estudia y conoce las características comunes que se manifiestan en un conjunto de realidades para elaborar una propuesta o ley de carácter general. El método inductivo plantea un razonamiento que fluye de lo individual hasta lo general.

3.2 Fuentes de recolección de información

Fuentes primarias

Dentro de las fuentes primarias utilizadas en el desarrollo de la implementación de la máquina pulidora de probetas en el laboratorio de metalografía de la Facultad de Mecánica se aplicó formatos de verificación para las maquinas pulidoras existentes, así como los diferentes aditivos que se requieren para su preparación con las que inicialmente disponía le laboratorio, para evaluar el estado en el que se encuentran los mismos porque de esta forma se obtuvo información importante sobre la situación en la que se encuentra el laboratorio y el proceso de elaboración de probetas metalográficas.

El levantamiento de información para determinar la situación inicial se basa también en el estudio de métodos y tiempos, con el cual se determinó el tiempo que los estudiantes tardan en preparar una probeta metalográfica para su posterior análisis microscópico. Con esta información se

plantea el diseño y construcción de una maquina pulidora de probetas metalográficas seleccionada de entre varias alternativas y eligiendo la más idónea.

Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias utilizadas fueron la obtención de información brindada por la facultad, el personal docente y la experiencia propia adquirida en el uso de los laboratorios en el transcurso de la carrera.

3.3 Características y materiales de las probetas

Las probetas metalográficas objetos de estudio dependiendo del área o sector de aplicación pueden ser:

- Metales y aleaciones
- No metales

La constitución y microestructura de un material es muy importante al momento de analizar su comportamiento, para la observación de la microestructura real de un material es necesario preparar correctamente la superficie a analizar.

La característica más importante que debe tener una probeta metalográfica es que su superficie debe ser totalmente plana y debe ser convertida estrictamente en un espejo para su posterior análisis microscópico. Es importante no destruir los bordes de grano durante la preparación de la probeta ni provocar ralladuras ya que esto afecta en la obtención real de los resultados.

3.4 Identificación del proceso, máquinas y equipos

• Corte de la probeta

El corte de las probetas en uno de los pasos más importantes dentro de la preparación de la muestra, al momento de realizar el corte de la probeta se debe procurar que el corte quede lo más recto y uniforme posible y que no genere un calor excesivo por la fricción ya que esto puede modificar la microestructura de la probeta, esto se logra seleccionando la cortadora y el disco de corte más adecuado para su aplicación y utilizar un aditivo para el enfriamiento de la probeta durante el corte.

Si la probeta después del corte queda con una deformación mecánica grande o considerable, esta tomara mucho tiempo en los pasos posteriores debido a que se tardara más en desbastar y pulir la probeta hasta conseguir el pulido idóneo, llevando finalmente a un análisis microscópico erróneo o un análisis erróneo de dureza.



Figura 1-3: Corte de la probeta
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

Montaje de la probeta

Este paso es un proceso opcional, consiste en montar la probeta en una pastilla de materiales termo endurecibles, estas pueden ser resinas termoplásticas. Esto permite dar una mejor sujeción a la probeta debido a que muchas veces las probetas metalográficas poseen tamaños muy reducidos y formas de difícil sujeción para su respectivo desbaste.

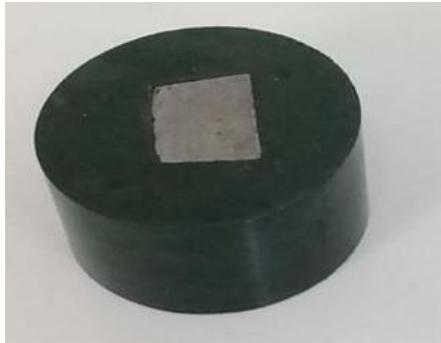


Figura 2-3: Montaje de la probeta
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Selección del papel abrasivo**

La selección del papel abrasivo es muy importante, Tradicionalmente se ha usado papel abrasivo de carburo de silicio.



Figura 3-3: Selección del papel abrasivo
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Desbaste de la probeta**

Se coloca el papel abrasivo en la maquina desbastadora desde una lija gruesa hasta la más fina, el cual se va reemplazando progresivamente según se va observando el desbastado de la probeta. La máquina para desbastar va proporcionando agua durante todo el proceso de desbastado para evitar que la probeta se caliente y así evitar que cambie la microestructura interna.



Figura 4-3: Desbaste de la probeta
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Pulido de la probeta**

Para este proceso se utiliza la máquina pulidora, el cual consiste en una rueda giratoria cubierta con un paño de felpa. Sobre el paño se sostiene la probeta con una determinada presión y fuerza hasta que la probeta quede perfectamente pulida. Durante este proceso se añade Alúmina (Óxido de aluminio).



Figura 5-3: Pulido de la probeta
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Enjuague de la probeta**

El enjuague de la probeta se lo realiza con agua posterior al pulido para eliminar los residuos de óxido de aluminio o algún otro aditivo utilizado durante el pulido de esta.



Figura 6-3: Enjuague de la probeta
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Secado de la probeta**

Previo al ataque químico la probeta debe estar estrictamente seca, para el cual se utiliza un compresor de aire para su secado.



Figura 7-3: Secado de la probeta
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Ataque químico metalográfica**

El ataque químico metalográfico se realiza con el fin de resaltar los microconstituyentes del material efecto de estudio, para lo cual se utiliza reactivos químicos como:

- Nital 4 = 96% alcohol y 4% de ácido nítrico
- Nital 2 = 98% de alcohol y 2% de ácido nítrico

El tiempo del ataque químico depende del material y este se neutraliza utilizando agua o alcohol, posteriormente se lava y se seca para el siguiente paso.



Figura 8-3: Ataque químico metalográfico
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

- **Observación microscópica**

Finalmente, la probeta es llevada al microscopio donde se determina los porcentajes de microconstituyentes que posee o según el tipo de ensayo se puede determinar también el grado de dureza que posee.



Figura 9-3: Observación microscópica
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.5 Toma de tiempos del proceso

En la siguiente tabla se muestra la toma de tiempos realizada para un ensayo en probetas de ACERO DF2 para lo cual se realizó de 10 tomas de tiempos en cada paso del proceso para estimar un tiempo promedio en que se tarden los estudiantes en obtener una probeta correctamente pulida.

Tabla 1-3: Toma de tiempos en la preparación de probetas metalográficas

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	TOMAS DE TIEMPO (min)										Tiempo prom. (min)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Corte de la probeta	2	3	2	3	3	3	2.5	2.75	3	2.25	2.65
Transporte al área de desbaste	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	0.75	0.65	0.5	0.5	0.75	0.59
Selección del papel abrasivo	2	1.75	1.8	1.60	2.1	2	1.75	1.6	1	1.5	1.71
Desbaste de la probeta	25	30	29	27	28	30	29	26	29	28	28.1
Pulido de la probeta	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Enjuague de la probeta	0.5	0.2	0.5	0.3	0.4	0.6	0.5	0.4	0.3	0.6	0.43
Secado de la probeta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ataque químico metalográfico	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Transporte al área de observación microscópica	0.25	0.35	0.4	0.35	0.20	0.5	0.45	0.6	0.5	0.45	0.405
Observación microscópica de la probeta	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.6 Diagrama de proceso

En la tabla 3-3 se especifica el número y el tipo de actividades a las que corresponden cada uno de los pasos que se sigue para la preparación de las probetas, también se detalla el tiempo promedio que toma realizar cada actividad.

Tabla 2-3: Diagrama de operación de proceso

DIAGRAMA DE OPERACION DE PROCESOS											
Institución:	ESPOCH										
Áreas / Departamentos:	Facultad de mecanica/ Laboratorio de metalografía										
Producto	Probetas metalográficas										
Fases del método	Actual:	x	Mejorado:		Fecha:						
Elaborado por:	Joel Gavilánez y Greys Guamán										
		TIEMPO (min)					SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA				
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	N°	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacen					
Corte de la probeta	1	2.65					x				
Transporte al area de desbaste	2		0.59					x			
Selección del papel abrasivo	3	1.71					x				
Desbaste de la probeta	4	28.1					x				
Pulido de la probeta	5	5					x				
Enjuague de la probeta	6	0.43					x				
Secado de la probeta	7				1						x
Ataque químico metalografico	8	0.15					x				
Secado de la probeta	9				1						x
Transporte al area de observacion microscopica	10	0.41						x			
Observacion microscopica de la probeta	11			5							x
TOTAL		38.45	0.59	5.00	2	0.00	6	2	1	2	0

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

Tabla 3-3: Resumen del diagrama de procesos

RESUMEN		
Simbología	Cantidad	Tiempo (min)
	6	38.45
	2	0.59
	1	5.00
	2	2
	0	0
TOTAL	11	46.04

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

La toma de tiempos de la situación inicial dio como resultado en la etapa de pulido de 5 min por probeta lo que es un tiempo por considerar teniendo en cuenta que en cada clase existen por lo menos 30 probetas a pulir acumulando así un tiempo total de 150 min por clase.

3.7 Diseño y construcción

3.7.1 Cálculo de potencia y selección del motor del disco porta lijas

Para el cálculo de la potencia hay que partir de la fricción que existe entre el disco portalijas y el disco porta probetas, esta fricción depende de la fuerza que se va a dar en el tornillo. De acuerdo con los diámetros que tienen los discos le da una fuerza de resistencia de fricción.

Para realizar los cálculos se tomará una fuerza aproximada de, 2 Kgf, y para diseño se empleará el caso de un ensayo extremo, realizando el pulido en el disco porta lijas. Para calcular la fuerza normal se utilizará la ecuación:

$$F_N = F_d * n_p \quad (3.1) \text{ (Quezada Samaniego, 2013)}$$

Donde:

F_N = Fuerza Normal

F_d = Fuerza aplicada al disco

n_p = Numero de probetas sobre el disco

Reemplazando los valores en la ecuación (3.1) se obtiene:

$$F_N = 19.6 N * 6 \text{ probetas}$$

$$F_N = 117.6 N$$

Con la F_N obtenida se calculará la fuerza tangencial con la ecuación (3.2) (Quezada Samaniego, 2013)

$$F_T = \mu * F_N \quad (3.2)$$

Donde:

F_T = Fuerza Tangencial

μ = Coeficiente de rozamiento en materiales tejidos

F_N = Fuerza Normal

En la tabla 5-3.se indicará el coeficiente de rozamiento utilizado según el tipo de material de fricción.

Tabla 4-3: Coeficiente de fricción dinámica

Material de fricción	Coeficiente de fricción dinámica		Intervalo de presiones	
	Seco	En aceite	(psi)	(kPa)
Compuestos moldeados	0.25-0.45	0.06-0.10	150-300	1035-2070
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	1035-2070
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 colado	0.15-0.25	0.03-0.06	100-250	690-1725
A base de papel		0.10-0.15		
Grafito/resina		0.10-0.14		

Fuente: (Rouss, 2015)

$$F_T = 0.45 * 117.6$$

$$F_T = 52.92 \text{ N}$$

Procedemos a obtener el torque a partir de la siguiente ecuación

$$T = F_T * r \quad (3.3)$$

Donde:

T = Torque (Nm)

F_T = Fuerza Tangencial (N)

r = Radio de disco giratorio

El disco tiene un radio de 10 cm (0.1) m

$$T = F_T * r \quad (3.3)$$

$$T = 52.92 * 0.1$$

$$T = 5.29 \text{ Nm}$$

Calculamos la Potencia del motor mediante la siguiente fórmula.

$$P = T * W$$

Donde:

P = Potencia (HP)

T = Torque (Nm)

W = Velocidad angular del disco (rad/s)

El disco tiene un radio de 10 cm (0.1) m

Velocidad angular del disco seleccionado es:

$$W = 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} * \frac{\text{min}}{60 \text{seg}} =$$

$$W = 31.42 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P = T * W$$

$$P = 5.29Nm * 31.42 \frac{rad}{seg}$$

$$P = 165.99 W$$

$$P = 165.99 W * \frac{1HP}{746 W}$$

$$P = 0.22HP$$

A la potencia se multiplica un factor de servicio (fs.=1,05), que se obtiene de la tabla 6-3:

Tabla 5-3: Factor de seguridad

Eficiencia IE1	Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia		Eficiencia F.Servicio		Corriente (A)	
			HP	kW	%	FS	220 VAC	440 VAC
VELOCIDAD 1.200 rpm (6 polos)								
100160479	1LA7073-6YA60	80	0.5	0.37	64.3	1.05	2.2	1.1
100160484	1LA7080-6YA60	80	0.75	0.56	55.6	1.05	3.0	1.5
100160490	1LA7083-6YA60	80	1.0	0.74	67.5	1.15	4.2	2.1

Fuente: SIEMENS, (2013, pág. 27)

Multiplicando El factor de servicio obtendremos la potencia nominal del motor.

$$P_N = 0.22 HP * 1.05$$

$$P_N = 0.223 HP \approx \frac{1}{4} HP$$

Se debe utilizar como mínimo una potencia mínima de $\frac{1}{4} HP$ para que la pulidora realice el trabajo solicitado.

3.7.2 Selección del motor

Para seleccionar el motor adecuado es importante tomar en cuenta que las fuerzas aplicadas a la pulidora no son lo mismo es importante considerar las $\frac{rev}{min}$ que serán aplicadas sobre las probetas en este caso será de 200 – 300 $\frac{rev}{min}$, con estas características encontramos un motor existente en el mercado.

Tabla 6-3: Selección del motor

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado In	Par con rotor trabado Tt/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
KW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220V	440V
												50	75	100	50	75	100		
II Poles																			
0.09	0.12	63	0.025	4.8	0.60	3.1	0.0002	11	9.0	50	3500	30.2	39.9	47.0	0.87	0.89	0.93	0.936	0.468
0.12	0.16	63	0.033	4.7	0.65	3.1	0.0002	9	9.3	50	3505	31.4	41.5	49.2	0.93	0.94	0.96	1.15	0.575
0.18	0.25	63	0.050	4.9	0.50	3.0	0.0002	6	9.6	50	3505	37.5	48.2	55.6	0.76	0.84	0.88	1.67	0.835
0.25	0.33	63	0.070	4.4	0.50	2.5	0.0002	6	9.8	50	3480	42.2	53.1	60.2	0.91	0.92	0.95	1.99	0.905
0.37	0.5	71	0.106	4.0	0.55	2.25	0.0005	14	10.8	60	3415	45.5	55.6	61.3	0.94	0.96	0.99	2.74	1.37
0.55	0.75	71	0.157	4.2	0.45	2.2	0.0006	11	11.8	60	3410	53.6	62.8	67.2	0.94	0.97	0.99	3.76	1.88
0.75	1	80	0.212	4.1	0.45	2.1	0.0009	18	16.4	65	3450	59.4	68.8	73.2	0.96	0.98	0.99	4.70	2.35
1.1	1.5	90S	0.310	5.2	0.30	2.2	0.0022	8	24.0	69	3455	70.0	77.0	79.2	0.94	0.96	0.97	6.51	3.26
1.5	2	90L	0.428	5.2	0.30	2.15	0.0023	13	26.5	69	3410	76.7	81.3	81.9	0.95	0.97	0.97	8.58	4.29
2.2	3	90L	0.623	6.0	0.45	2.3	0.0027	6	28.0	69	3440	73.0	79.0	81.5	0.97	0.98	0.99	12.4	6.20
Carcasas opcionales																			
0.75	1	71	0.216	3.9	0.6	2.1	0.0006	6	11.8	60	3385	54.0	63.7	68.6	0.94	0.96	0.99	5.02	2.51
IV Poles																			
0.09	0.12	63	0.051	3.7	0.90	2.7	0.0006	41	9.0	47	1720	30.2	40.4	47.7	0.86	0.90	0.93	0.922	0.461
0.12	0.16	63	0.069	3.3	0.65	2.0	0.0006	29	9.0	47	1690	35.3	45.5	52.3	0.84	0.89	0.93	1.12	0.560
0.18	0.25	63*	0.104	3.6	0.75	2.2	0.0007	19	9.5	47	1690	35.7	46.3	53.5	0.87	0.92	0.95	1.61	0.805
0.25	0.33	71	0.142	3.2	0.65	2.0	0.0008	15	11.4	55	1720	39.0	50.0	58.0	0.94	0.96	0.97	2.02	1.01
0.37	0.5	71	0.212	3.5	0.70	1.8	0.0009	28	11.4	55	1700	51.0	62.0	68.0	0.89	0.93	0.95	2.61	1.31
0.55	0.75	80	0.313	3.9	0.40	1.9	0.0029	12	16.5	55	1710	54.2	63.4	67.4	0.95	0.93	0.96	3.86	1.93
0.75	1	80	0.430	3.7	0.45	1.9	0.0029	11	16.8	55	1700	57.1	66.4	70.3	0.92	0.94	0.97	5.00	2.50
1.1	1.5	90S	0.630	4.8	0.45	2.05	0.0055	20	24.8	58	1700	64.3	72.1	75.1	0.97	0.98	0.98	6.79	3.40
1.5	2	90L	0.864	4.4	0.45	1.9	0.0066	17	27.7	58	1690	66.2	73.8	76.2	0.99	0.99	0.99	9.04	4.52
Carcasas opcionales																			
0.25	0.33	63	0.148	3.4	0.60	1.8	0.0007	31	10.2	47	1650	49.7	59.6	64.5	0.86	0.91	0.94	1.87	0.935
0.37	0.5	80	0.208	4.2	0.55	2.25	0.0025	10	15.8	55	1730	45.4	56.3	62.7	0.93	0.95	0.97	2.77	1.39
0.55	0.75	71*	0.321	3.7	0.45	1.7	0.0009	22	12.2	55	1670	51.5	63.0	69.1	0.90	0.94	0.96	3.77	1.89
VI Poles																			
0.09	0.12	63	0.078	2.5	0.70	2.0	0.0007	6	9.5	47	1120	35.0	45.0	50.0	0.85	0.88	0.89	0.920	0.460
0.12	0.16	71	0.107	2.5	1.1	2.0	0.0008	6	11.8	55	1090	28.0	37.5	44.0	0.91	0.93	0.94	1.30	0.650
0.18	0.25	71	0.162	2.5	0.75	2.0	0.0009	6	12.7	55	1080	27.0	35.0	43.0	0.84	0.70	0.75	2.54	1.27
0.25	0.33	71	0.230	2.5	0.70	1.7	0.0009	6	12.7	55	1060	39.0	49.0	53.0	0.74	0.80	0.86	2.50	1.25
0.37	0.5	80	0.318	3.7	0.45	1.7	0.0024	6	14.7	55	1135	49.0	59.5	64.5	0.81	0.88	0.91	2.87	1.44
0.55	0.75	80	0.491	3.0	0.60	1.7	0.0032	6	16.7	55	1090	51.0	60.0	64.0	0.83	0.90	0.94	4.20	2.10

Fuente: Catálogo de motores eléctricos monofásicos, 1992

Para evitar que el motor se sobrecaliente, y conociendo de los motores disponibles en el mercado se eligió: Un Motor monofásico de ½ HP.

3.7.3 Cálculo de potencia y selección del motor del disco porta probetas

En el cálculo de la potencia y selección del motor del disco porta probetas se debe partir de la fricción que existe entre el disco porta probetas, esta fricción depende de la fuerza que se va a dar en el tornillo. De acuerdo con los diámetros que tienen los discos le da una fuerza de resistencia de fricción, las cuales son:

$$F_N = 117.6 \text{ N}$$

$$F_T = 52.92 \text{ N}$$

Procedemos a obtener el torque a partir de la siguiente ecuación

$$T = F_T * r \quad (3.3)$$

Donde:

T = Torque (Nm)

F_T = Fuerza Tangencial (N)

r = Radio de disco giratorio

El disco tiene un radio de 7 cm (0.07) m

$$T = F_T * r$$

$$T = 52.92 * 0.07$$

$$T = 3.70 \text{ Nm}$$

Calculamos la Potencia del motor mediante la siguiente fórmula.

$$P = T * W$$

Donde:

P = Potencia (HP)

T = Torque (Nm)

W = Velocidad angular del disco (rad/s)

El disco tiene un radio de 10 cm (0.1) m

Velocidad angular del disco seleccionado es:

$$W = 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} * \frac{\text{min}}{60 \text{seg}} =$$

$$W = 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P = T * W$$

$$P = 3.70 \text{ Nm} * 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P = 77.47 \text{ W}$$

$$P = 77.47 \text{ W} * \frac{1 \text{HP}}{746 \text{ W}}$$

$$P = 0.103 \text{ HP} \approx \frac{1}{8} \text{ HP}$$

3.7.4 Selección del motor disco porta probetas

Para seleccionar el motor adecuado es importante tomar en cuenta que las fuerzas aplicadas a la pulidora no son lo mismo es importante considerar las $\frac{rev}{min}$ que serán aplicadas sobre las probetas en este caso será de 200-250 $\frac{rev}{min}$, con estas características encontramos un motor existente en el mercado.

Tabla 7-3: Selección del motor disco porta probetas

MODELO	POTENCIA (HP)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (RPM)	FRECUENCIA
5IK40GN-Afs	0,05	110	1600	60
5IK60GX-AFs	0,08	110	1650	60
5IK90GX-AFs	0,12	110	1650	60

Fuente: Catálogo de motores eléctricos monofásicos SESAME, 1998

Para evitar que el motor se sobrecaliente, y conociendo de los motores disponibles en el mercado se eligió: Un Motor monofásico de $\frac{1}{8}$ HP.

3.7.5 Selección del variador de frecuencia

El variador de frecuencia está en función al principio que la velocidad del disco porta probeta no puede sobrepasar la velocidad del disco porta paño.

La velocidad del disco porta probetas debe ir de 200-250 $\frac{rev}{min}$, tomando en cuenta que el motor seleccionada para el disco porta probetas viene en conjunto con el variador de velocidad

電壓 VOLTAGE	MODEL	組合式名稱 NAME	規格名稱 SPECIFICATION	控制器名稱 CONTROLLER
1x 110V-120V	US206-001	US206-001	M206-001	US206-01
	US206-401	US206-401	M206-401	US206-01
	US315-001	US315-001	M315-001	US315-01
	US315-401	US315-401	M315-401	US315-01
	US425-001	US425-001	M425-001	US425-01
	US425-401	US425-401	M425-401	US425-01
	US540-001	US540-001	M540-001	US540-01
	US540-401	US540-401	M540-401	US540-01
	US560-001	US560-001	M560-001	US560-01
	US560-401	US560-401	M560-401	US560-01
	US580-001	US580-001	M580-001	US580-01
	US580-401	US580-401	M580-401	US580-01
	US206-002	US206-002	M206-002	US206-02
	US206-402	US206-402	M206-402	US206-02
	US206-002E	US206-002E	M206-002E	US206-02E
US206-402E	US206-402E	M206-402E	US206-02E	
US425-002	US425-002	M425-002	US425-02	
US425-402	US425-402	M425-402	US425-02	
US425-002E	US425-002E	M425-002E	US425-02E	
US425-402E	US425-402E	M425-402E	US425-02E	
US540-002	US540-002	M540-002	US540-02	
US540-402	US540-402	M540-402	US540-02	
US540-002E	US540-002E	M540-002E	US540-02E	
US540-402E	US540-402E	M540-402E	US540-02E	
US560-002	US560-002	M560-002	US560-02	
US560-402	US560-402	M560-402	US560-02	
US560-002E	US560-002E	M560-002E	US560-02E	
US560-402E	US560-402E	M560-402E	US560-02E	
US580-002	US580-002	M580-002	US580-02	
US580-402	US580-402	M580-402	US580-02	
US580-002E	US580-002E	M580-002E	US580-02E	
US580-402E	US580-402E	M580-402E	US580-02E	

電壓 VOLTAGE	MODEL	組合式名稱 NAME	規格名稱 SPECIFICATION	控制器名稱 CONTROLLER
1x 110V-120V	US206-011	US206-011	M206-011	US206-11
	US206-411	US206-411	M206-411	US206-11
	US315-011	US315-011	M315-011	US315-11
	US315-411	US315-411	M315-411	US315-11
	US425-011	US425-011	M425-011	US425-11
	US425-411	US425-411	M425-411	US425-11
	US540-011	US540-011	M540-011	US540-11
	US540-411	US540-411	M540-411	US540-11
	US560-011	US560-011	M560-011	US560-11
	US560-411	US560-411	M560-411	US560-11
	US580-011	US580-011	M580-011	US580-11
	US580-411	US580-411	M580-411	US580-11
	US206-012	US206-012	M206-012	US206-12
	US206-412	US206-412	M206-412	US206-12
	US206-012E	US206-012E	M206-012E	US206-12E
US206-412E	US206-412E	M206-412E	US206-12E	
US425-012	US425-012	M425-012	US425-12	
US425-412	US425-412	M425-412	US425-12	
US425-012E	US425-012E	M425-012E	US425-12E	
US425-412E	US425-412E	M425-412E	US425-12E	
US540-012	US540-012	M540-012	US540-12	
US540-412	US540-412	M540-412	US540-12	
US540-012E	US540-012E	M540-012E	US540-12E	
US540-412E	US540-412E	M540-412E	US540-12E	
US560-012	US560-012	M560-012	US560-12	
US560-412	US560-412	M560-412	US560-12	
US560-012E	US560-012E	M560-012E	US560-12E	
US560-412E	US560-412E	M560-412E	US560-12E	

Figura 10-3. Observación microscópica
Fuente: Catálogo de motores eléctricos monofásicos, 2000

Es recomendable mantener una frecuencia alta para que el motor no pierda potencia.

3.7.6 Diseño y selección del sistema banda-polea para el diseño porta paños

Potencia teórica

$$P_B = P * c_2$$

Donde:

P_B = Potencia teórica (kW)

P = Potencia del motor (0,5 HP = 0,373)

c_2 = Factor de carga

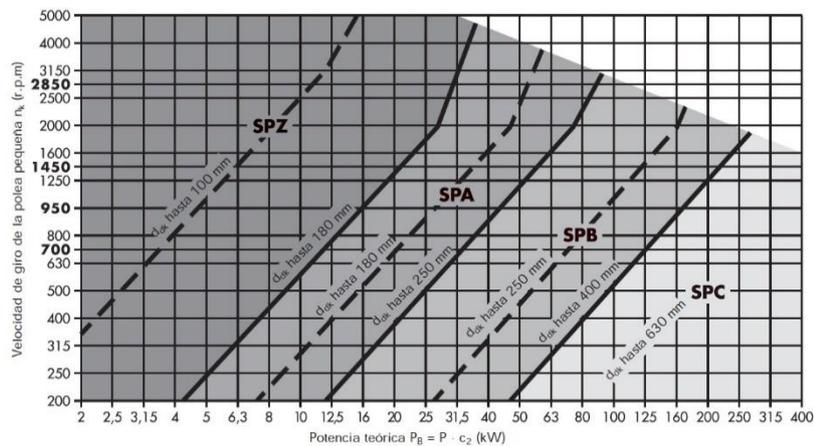
$$P_B = 0,373 \text{ kW} * 1,1$$

$$P_B = 0,4103 \text{ kW}$$

Seleccionar el perfil de la correa de la siguiente tabla:

Tabla 8-3: Correas trapeciales estrechas de alto rendimiento

Diagrama 4: Correas trapeciales estrechas de alto rendimiento Optibelt SK según DIN 7753 Parte 1



Fuente: Grupo Arntz Optibelt, 2002, pág. 73

Teniendo los valores de la potencia teórica 0,4103 kW y la polea conductora 1720 Rev./min procedemos a escoger el perfil: SPZ

Siguiente se determina la relación de transmisión con las revoluciones requeridas con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Donde:

i = Relación de transmisión

n_1 = Número de revoluciones de entrada (rpm)

n_2 = Número de revoluciones de salida (rpm)

$$i = \frac{1720 \text{ rev/min}}{300 \text{ rev/min}}$$

$$i = 5,7 \approx 6$$

Donde:

a_b = Arco de abrazo

d_{dg} = Diámetro de referencia de la polea mayor (400mm)

d_{dk} = Diámetro de referencia de la polea menor (63 mm)

a_{nom} = Distancia entre ejes con desarrollo de correa estándar (mm)

$$a_b = \frac{400 - 63}{430}$$

$$a_b = 0.783$$

Potencia nominal de la correa

Este valor se determinará a partir de los siguientes datos:

$d_{dk} = 63,5\text{mm}$

$i = 6$

$n_1 = 1720 \text{ rpm}$

Tabla 10-3: Factor de potencia

Poleas v [m/s]	n_k (min ⁻¹)	Diámetro de referencia de la polea pequeña d_k (mm)																	Incremento por multiplicación (kW) por correa para		
		63	71	80	85	90	95	100	112	125	132	140	150	160	180	200	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	> 1.57	
700	0.50	0.68	0.88	1.00	1.11	1.22	1.33	1.60	1.88	2.03	2.20	2.42	2.63	3.05	3.47	0.01	0.06	0.09	0.11		
950	0.63	0.87	1.14	1.29	1.44	1.59	1.74	2.08	2.46	2.66	2.89	3.17	3.45	4.00	4.54	0.01	0.09	0.12	0.15		
1450	0.87	1.23	1.62	1.84	2.06	2.27	2.49	3.00	3.54	3.83	4.16	4.56	4.96	5.75	6.51	0.02	0.13	0.19	0.23		
2850	1.38	2.03	2.74	3.13	3.52	3.90	4.27	5.15	6.07	6.55	7.08	7.72	8.34	9.50	10.55	0.04	0.26	0.37	0.46		
100	0.10	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.28	0.33	0.35	0.38	0.42	0.45	0.52	0.59	0.00	0.01	0.01	0.02		
200	0.18	0.24	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.52	0.61	0.66	0.71	0.78	0.85	0.98	1.12	0.00	0.02	0.03	0.03		
300	0.25	0.33	0.43	0.48	0.53	0.58	0.63	0.75	0.88	0.95	1.03	1.13	1.23	1.42	1.62	0.00	0.03	0.04	0.05		
400	0.32	0.43	0.55	0.62	0.68	0.75	0.81	0.97	1.14	1.23	1.34	1.47	1.59	1.85	2.10	0.01	0.04	0.05	0.06		
500	0.38	0.51	0.66	0.75	0.83	0.91	0.99	1.19	1.39	1.51	1.63	1.79	1.95	2.26	2.57	0.01	0.05	0.07	0.08		
600	0.44	0.60	0.78	0.87	0.97	1.07	1.16	1.39	1.64	1.77	1.92	2.11	2.29	2.66	3.02	0.01	0.06	0.08	0.10		
700	0.50	0.68	0.88	1.00	1.11	1.22	1.33	1.60	1.88	2.03	2.20	2.42	2.63	3.05	3.47	0.01	0.06	0.09	0.11		
800	0.55	0.76	0.99	1.12	1.24	1.37	1.50	1.79	2.12	2.29	2.48	2.72	2.96	3.44	3.91	0.01	0.07	0.11	0.13		
900	0.61	0.84	1.09	1.24	1.38	1.52	1.66	1.99	2.35	2.54	2.75	3.02	3.29	3.81	4.33	0.01	0.08	0.12	0.15		
1000	0.66	0.91	1.19	1.35	1.51	1.66	1.81	2.18	2.57	2.78	3.02	3.31	3.61	4.18	4.75	0.01	0.09	0.13	0.16		
1100	0.71	0.98	1.29	1.46	1.63	1.80	1.97	2.37	2.79	3.02	3.28	3.60	3.92	4.54	5.16	0.02	0.10	0.14	0.18		
1200	0.76	1.06	1.39	1.57	1.76	1.94	2.12	2.55	3.01	3.26	3.54	3.88	4.22	4.90	5.56	0.02	0.11	0.16	0.19		
1300	0.80	1.12	1.48	1.68	1.88	2.07	2.27	2.73	3.23	3.49	3.79	4.16	4.52	5.24	5.95	0.02	0.12	0.17	0.21		
1400	0.85	1.19	1.58	1.79	2.00	2.21	2.42	2.91	3.44	3.72	4.04	4.43	4.82	5.58	6.32	0.02	0.13	0.18	0.23		
1500	0.89	1.26	1.67	1.89	2.12	2.34	2.56	3.08	3.64	3.94	4.28	4.69	5.11	5.91	6.69	0.02	0.14	0.20	0.24		
1600	0.93	1.32	1.76	2.00	2.23	2.47	2.70	3.26	3.85	4.16	4.52	4.95	5.39	6.23	7.05	0.02	0.15	0.21	0.26		
1700	0.98	1.39	1.85	2.10	2.35	2.59	2.84	3.42	4.05	4.38	4.75	5.21	5.66	6.55	7.40	0.02	0.16	0.22	0.27		
1800	1.02	1.45	1.93	2.20	2.46	2.72	2.98	3.59	4.24	4.59	4.98	5.46	5.93	6.85	7.74	0.03	0.17	0.24	0.29		
1900	1.06	1.51	2.02	2.29	2.57	2.84	3.11	3.75	4.43	4.80	5.20	5.70	6.19	7.15	8.07	0.03	0.18	0.25	0.31		
2000	1.10	1.57	2.10	2.39	2.68	2.96	3.24	3.91	4.62	5.00	5.42	5.94	6.45	7.44	8.38	0.03	0.19	0.26	0.32		
2100	1.13	1.63	2.18	2.48	2.78	3.08	3.37	4.07	4.81	5.20	5.64	6.17	6.70	7.72	8.68	0.03	0.19	0.28	0.34		
2200	1.17	1.69	2.26	2.58	2.89	3.20	3.50	4.22	4.99	5.39	5.84	6.40	6.94	7.99	8.98	0.03	0.20	0.29	0.35		
2300	1.20	1.74	2.34	2.67	2.99	3.31	3.63	4.38	5.17	5.58	6.05	6.62	7.18	8.25	9.26	0.03	0.21	0.30	0.37		
2400	1.24	1.80	2.42	2.75	3.09	3.42	3.75	4.52	5.34	5.77	6.25	6.84	7.41	8.50	9.52	0.03	0.22	0.32	0.39		
2500	1.27	1.85	2.49	2.84	3.19	3.53	3.87	4.67	5.51	5.95	6.44	7.04	7.63	8.74	9.77	0.04	0.23	0.33	0.40		
2600	1.31	1.90	2.57	2.93	3.28	3.64	3.99	4.81	5.67	6.12	6.63	7.25	7.84	8.97	10.01	0.04	0.24	0.34	0.42		
2700	1.34	1.96	2.64	3.01	3.38	3.74	4.10	4.95	5.83	6.30	6.81	7.44	8.05	9.19	10.24	0.04	0.25	0.35	0.44		
2800	1.37	2.01	2.71	3.09	3.47	3.85	4.22	5.08	5.99	6.46	6.99	7.63	8.25	9.40	10.45	0.04	0.26	0.37	0.45		
2900	1.40	2.05	2.78	3.17	3.56	3.95	4.33	5.22	6.14	6.63	7.16	7.81	8.44	9.60	10.64	0.04	0.27	0.38	0.47		
3000	1.43	2.10	2.85	3.25	3.65	4.05	4.43	5.34	6.29	6.78	7.33	7.99	8.62	9.79	10.82	0.04	0.28	0.39	0.48		

Fuente: Grupo Arntz Optibelt, 2002, pág. 84

Según el diámetro de la polea menor (63,5mm) y la velocidad (1720rpm) se obtiene una potencia nominal de 0.98kW

Con estos datos se calculará la potencia nominal:

$$P_N = P_{tablas} + S_p$$

Donde:

P_N = potencia nominal por correa (kW)

P_{tablas} = Potencia nominal de tablas (kW)

S_p = Suplemento de potencia

$$P_N = P_{tablas} + S_p$$

$$P_N = 0,98 + 0,27$$

$$P_N = 1,25kW$$

Tensión estática mínima por correa

Con la siguiente ecuación procedemos a calcular la tensión:

$$T = \frac{500*(2,02-c1)*P_B}{c1*z*v} + (k * v^2)$$

T= Tensión estática mínima por correa

V= Velocidad

Z= Número de correas

C1= Factor de ángulo de contacto

P_B= Potencia de cálculo

K= Constante para el cálculo de la fuerza centrífuga

Para la velocidad usamos la siguiente ecuación

$$v = \frac{d_{dk} * n_k}{19100}$$

Donde:

V= Velocidad

d_{dk} = Diámetro de referencia de la polea menor (63 mm)

n_k = Velocidad de giro de la polea menor

19100= Factor de conversión

$$v = \frac{63 \text{ mm} * 1720 \text{ rev/min}}{19100}$$

$$v = 5,67 \text{ m/s}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación de la tensión mínima de la correa tenemos:

$$T = \frac{500*(2,02-1)*0,4103}{1*1*5,67} + (0,12 * (5,67)^2)$$

$$T = 40,75 \text{ N}$$

Fuerza estática sobre el eje

Se calculará a partir de la siguiente ecuación

$$S_a = 2T * \sin \frac{\beta}{2} * z$$

Donde:

S_a = Fuerza estática mínima sobre el eje

T = Tensión estática mínima por correa

β = Ángulo de abrazo de la correa en la polea menor

Z = Número de correas

$$S_a = 2(40,75) * \sin \frac{175}{2} * 1$$

$$S_a = 81,42 \text{ N}$$

El fabricante Grupo Arntz Optibelt, (2002), recomienda un factor de 1,3:

$$S_a = 81,42 \text{ N} * 1,3$$

$$S_a = 105,846 \text{ N}$$

Con $S_a = 105,846 \text{ N}$ se diseño el eje motriz porque esta fuerza estará actuando sobre él.

3.7.7 Selección del sistema banda – polea del disco porta probetas

Potencia teórica

$$P_B = P * c_2$$

Donde:

P_B = Potencia teórica (kW)

P = Potencia del motor (0,25 HP = 0,186)

c_2 = Factor de carga

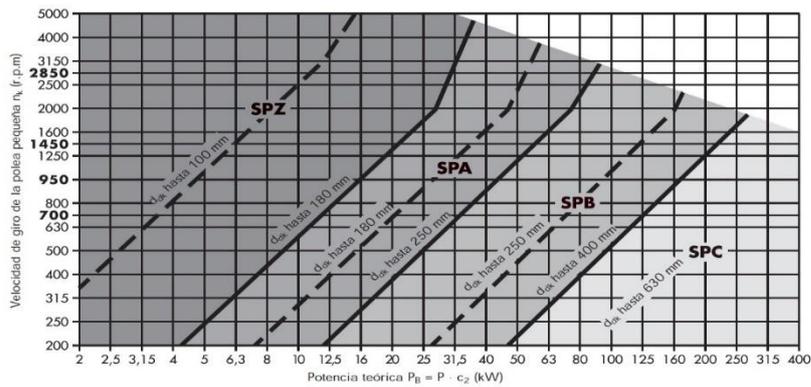
$$P_B = 0,186 \text{ kW} * 1,1$$

$$P_B = 0,2046 \text{ kW}$$

Seleccionar el perfil de la correa de la siguiente tabla:

Tabla 11-3: Selección de correas

Diagrama 4: Correas trapeciales estrechas de alto rendimiento Optibelt SK según DIN 7753 Parte 1



Fuente: Grupo Arntz Optibelt, 2002, pág. 73

Teniendo los valores de la potencia teórica 0,2046 kW y la polea conductora 1600 Rev./min procedemos a escoger el perfil: SPZ

Siguiente se determina la relación de transmisión con las revoluciones requeridas con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Donde:

i = Relación de transmisión

n_1 = Número de revoluciones de entrada (rpm)

n_2 = Número de revoluciones de salida (rpm)

$$i = \frac{1200 \text{ rev/min}}{200 \text{ rev/min}}$$

$$i = 6$$

A continuación, se procede a la selección del diámetro de las poleas en lo posible el más pequeño disponible.

Tabla12-3: Selección diámetro de referencia

Correas trapeziales Perfil	Denominación ISO	-	Y	-	Z	A	B	-	C	-	D	E	Datum diameter d_d		Tolerancia de concen-tricidad y planitud
	DIN 2215	5	6	8	10	13	17	20	22	25	32	40	min.	máx.	
Correas trapeziales estrechas Perfil	DIN 7753 parte 1 e ISO 4184	-	-	-	SPZ	SPA	SPB	-	SPC	-	-	-	min.	máx.	
Diámetro de referencia d_d	20,0												20,0	20,4	0,2
	22,0												22,0	22,4	
	25,0												25,0	25,4	
	28,0	28,0											28,0	28,4	
	31,5	31,5											31,5	32,0	
	35,5	35,5											35,5	36,1	
	40,0	40,0	40			40							40,0	40,6	
	45,0	45,0	45			45							45,0	45,7	
	50,0	50,0	50			50							50,0	50,8	
	56,0	56,0	56			56							56,0	56,9	
	63,0	63,0	63			63	63						63,0	64,0	
						67	67						67,0	68,0	
	71,0	71,0	71			71	71						71,0	72,1	
						75	75						75,0	76,1	
	80,0	80,0	80			80	80						80,0	81,3	
						85	85						85,0	86,3	
						90	90	90					90,0	91,4	
						95	95	95					95,0	96,4	
						100	100	100	100				100,0	101,6	
						106	106	106	106				106,0	107,6	
		112,0	112			112	112	112					112,0	113,8	
						118	118	118					118,0	119,9	
		125,0	125			125	125	125					125,0	127,0	
						132	132	132					132,0	134,1	
						140	140	140					140,0	142,2	
						150	150	150		140*			150,0	152,4	
						160	160	160	160	160*			160,0	162,6	
					180	170	170	170	180	180			170,0	172,7	
					190	180	180	180	190	190			180,0	182,9	
				200	190	190	190	200	200			190,0	193,0		
				212	200	200	200	212	212			200,0	203,2		
				224	212	212	212	224	224			212,0	215,4		
					224	224	224	224	224			224,0	227,6		
					225	225	225	225	225			225,0	228,6		
					236	236	236	236	236			236,0	239,8		
					250	250	250	250	250	250		250,0	254,0		
					265	265	265	265	265	250		265,0	269,0		
					280	280	280	280	280	280		280,0	284,5		
					300	300	300	300	300	300		300,0	304,8		
					315	315	315	315	315	315		315,0	320,0		
												335,0	340,0		
					355	355	355	355	355	355	355	355,0	360,7		
												375,0	380,7		
					400	400	400	400	400	400	400	400,0	406,4		
												425,0	431,4		
					450	450	450	450	450	450	450	450,0	457,2		
												475,0	482,2		

Fuente: Grupo Arntz Optibelt, 2002, pág. 43

Mediante la tabla se seleccionará el diámetro menor de $d_1 = 63,5$ mm y con la relación de transmisión se obtiene:

$$i = \frac{d_2}{d_1}$$

$$d_2 = 6 * d_1$$

$$d_2 = 6 * 63,5$$

$$d_2 = 381 \text{ mm}$$

Arco de abrazo y factor de corrección

$$a_b = \frac{d_{ag} - d_{ak}}{a_{nom}}$$

Donde:

a_b = Arco de abrazo

d_{dg} = Diámetro de referencia de la polea mayor (400mm)

d_{dk} = Diámetro de referencia de la polea menor (63 mm)

a_{nom} = Distancia entre ejes con desarrollo de correa estándar (mm)

$$a_b = \frac{400 - 63}{430}$$

$$a_b = 0.783$$

Potencia nominal de la correa

Este valor se determinará a partir de los siguientes datos:

$d_{dk} = 63,5\text{mm}$

$i = 6$

$n_1 = 1200\text{ rpm}$

Tabla 13-3: Factor de potencia

Poleas v (m/s)	n_k (min ⁻¹)	Diámetro de referencia de la polea pequeña d_k (mm)													Incremento por multiplicación (kW) por correa para					
		63	71	80	85	90	95	100	112	125	132	140	150	160	180	200	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	
5	700	0.50	0.68	0.88	1.00	1.11	1.22	1.33	1.60	1.88	2.03	2.20	2.42	2.63	3.05	3.47	0.01	0.06	0.09	0.11
	950	0.63	0.87	1.14	1.29	1.44	1.59	1.74	2.08	2.46	2.66	2.89	3.17	3.45	4.00	4.54	0.01	0.09	0.12	0.15
	1450	0.87	1.23	1.62	1.84	2.06	2.27	2.49	3.00	3.54	3.83	4.16	4.56	4.96	5.75	6.51	0.02	0.13	0.19	0.23
	2850	1.38	2.03	2.74	3.13	3.52	3.90	4.27	5.15	6.07	6.55	7.08	7.72	8.34	9.50	10.55	0.04	0.26	0.37	0.46
	100	0.10	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.28	0.33	0.35	0.38	0.42	0.45	0.52	0.59	0.00	0.01	0.01	0.02
	200	0.18	0.24	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.52	0.61	0.66	0.71	0.78	0.85	0.98	1.12	0.00	0.02	0.03	0.03
	300	0.25	0.33	0.43	0.48	0.53	0.58	0.63	0.75	0.88	0.95	1.03	1.13	1.23	1.42	1.62	0.00	0.03	0.04	0.05
	400	0.32	0.43	0.55	0.62	0.68	0.75	0.81	0.97	1.14	1.23	1.34	1.47	1.59	1.85	2.10	0.01	0.04	0.05	0.06
	500	0.38	0.51	0.66	0.75	0.83	0.91	0.99	1.19	1.39	1.51	1.63	1.79	1.95	2.26	2.57	0.01	0.05	0.07	0.08
	600	0.44	0.60	0.78	0.87	0.97	1.07	1.16	1.39	1.64	1.77	1.92	2.11	2.29	2.66	3.02	0.01	0.06	0.08	0.10
	700	0.50	0.68	0.88	1.00	1.11	1.22	1.33	1.60	1.88	2.03	2.20	2.42	2.63	3.05	3.47	0.01	0.06	0.09	0.11
	800	0.55	0.76	0.99	1.12	1.24	1.37	1.50	1.79	2.12	2.29	2.48	2.72	2.96	3.44	3.91	0.01	0.07	0.11	0.13
	900	0.61	0.84	1.09	1.24	1.38	1.52	1.66	1.99	2.35	2.54	2.75	3.02	3.29	3.81	4.33	0.01	0.08	0.12	0.15
	1000	0.66	0.91	1.19	1.35	1.51	1.66	1.81	2.18	2.57	2.78	3.02	3.31	3.61	4.18	4.75	0.01	0.09	0.13	0.16
	1100	0.71	0.98	1.29	1.46	1.63	1.80	1.97	2.37	2.79	3.02	3.28	3.60	3.92	4.54	5.16	0.02	0.10	0.14	0.18
1200	0.76	1.06	1.39	1.57	1.76	1.94	2.12	2.55	3.01	3.26	3.54	3.88	4.22	4.90	5.56	0.02	0.11	0.16	0.21	
1300	0.80	1.12	1.48	1.68	1.88	2.07	2.27	2.73	3.23	3.49	3.79	4.16	4.52	5.24	5.95	0.02	0.12	0.17	0.21	
1400	0.85	1.19	1.58	1.79	2.00	2.21	2.42	2.91	3.44	3.72	4.04	4.43	4.82	5.58	6.32	0.02	0.13	0.18	0.23	
1500	0.89	1.26	1.67	1.89	2.12	2.34	2.56	3.08	3.64	3.94	4.28	4.69	5.11	5.91	6.69	0.02	0.14	0.20	0.24	
1600	0.93	1.32	1.76	2.00	2.23	2.47	2.70	3.26	3.85	4.16	4.52	4.95	5.39	6.23	7.05	0.02	0.15	0.21	0.26	
1700	0.98	1.39	1.85	2.10	2.35	2.59	2.84	3.42	4.05	4.38	4.75	5.21	5.66	6.55	7.40	0.02	0.16	0.22	0.27	
1800	1.02	1.45	1.93	2.20	2.46	2.72	2.98	3.59	4.24	4.59	4.98	5.46	5.93	6.85	7.74	0.03	0.17	0.24	0.29	
1900	1.06	1.51	2.02	2.29	2.57	2.84	3.11	3.75	4.43	4.80	5.20	5.70	6.19	7.15	8.07	0.03	0.18	0.25	0.31	
2000	1.10	1.57	2.10	2.39	2.68	2.96	3.24	3.91	4.62	5.00	5.42	5.94	6.45	7.44	8.38	0.03	0.19	0.26	0.32	
2100	1.13	1.63	2.18	2.48	2.78	3.08	3.37	4.07	4.81	5.20	5.64	6.17	6.70	7.72	8.68	0.03	0.19	0.28	0.34	
2200	1.17	1.69	2.26	2.58	2.89	3.20	3.50	4.22	4.99	5.39	5.84	6.40	6.94	7.99	8.98	0.03	0.20	0.29	0.35	
2300	1.20	1.74	2.34	2.67	2.99	3.31	3.63	4.38	5.17	5.58	6.05	6.62	7.18	8.25	9.26	0.03	0.21	0.30	0.37	
2400	1.24	1.80	2.42	2.75	3.09	3.42	3.75	4.52	5.34	5.77	6.25	6.84	7.41	8.50	9.52	0.03	0.22	0.32	0.39	
2500	1.27	1.85	2.49	2.84	3.19	3.53	3.87	4.67	5.51	5.95	6.44	7.04	7.63	8.74	9.77	0.04	0.23	0.33	0.40	
2600	1.31	1.90	2.57	2.93	3.28	3.64	3.99	4.81	5.67	6.12	6.63	7.25	7.84	8.97	10.01	0.04	0.24	0.34	0.42	
2700	1.34	1.96	2.64	3.01	3.38	3.74	4.10	4.95	5.83	6.30	6.81	7.44	8.05	9.19	10.24	0.04	0.25	0.35	0.44	
2800	1.37	2.01	2.71	3.09	3.47	3.85	4.22	5.08	5.99	6.46	6.99	7.63	8.25	9.40	10.45	0.04	0.26	0.37	0.45	
2900	1.40	2.05	2.78	3.17	3.56	3.95	4.33	5.22	6.14	6.63	7.16	7.81	8.44	9.60	10.64	0.04	0.27	0.38	0.47	
3000	1.43	2.10	2.85	3.25	3.65	4.05	4.43	5.34	6.29	6.78	7.33	7.99	8.62	9.79	10.82	0.04	0.28	0.39	0.48	

Fuente: Grupo Amtz Optibelt, 2002, pág. 84

Según el diámetro de la polea menor (63,5mm) y la velocidad (1200rpm) se obtiene una potencia nominal de 0.76kW

Con estos datos se calculará la potencia nominal:

$$P_N = P_{tablas} + S_p$$

Donde:

P_N = Potencia nominal por correa (kW)

P_{tablas} = Potencia nominal de tablas (kW)

S_p = Suplemento de potencia

$$P_N = P_{tablas} + S_p$$

$$P_N = 0,76 + 0,19$$

$$P_N = 0,95kW$$

Tensión estática mínima por correa

Con la siguiente ecuación procedemos a calcular la tensión:

$$T = \frac{500*(2,02-c1)*P_B}{c1*z*v} + (k * v^2)$$

T = Tensión estática mínima por correa

V = Velocidad

Z = Número de correas

C1 = Factor de ángulo de contacto

P_B = Potencia de cálculo

K = Constante para el cálculo de la fuerza centrífuga

Para la velocidad usamos la siguiente ecuación:

$$v = \frac{d_{dk} * n_k}{19100}$$

Donde:

V = Velocidad

d_{dk} = Diámetro de referencia de la polea menor (63 mm)

n_k = Velocidad de giro de la polea menor

19100 = Factor de conversión

$$v = \frac{63 \text{ mm} * 1200 \text{ rev/min}}{19100}$$

$$v = 3,95 \text{ m/s}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación de la tensión mínima de la correa tenemos:

$$T = \frac{500*(2,02-1)*0,2046}{1*1*3,95} + (0,12 * (3,95)^2)$$

$$T = 28,28 \text{ N}$$

Fuerza estática sobre el eje

Se calculará a partir de la siguiente ecuación

$$S_a = 2T * \sin \frac{\beta}{2} * z$$

Donde:

S_a = Fuerza estática mínima sobre el eje

T = Tensión estática mínima por correa

β = Ángulo de abrazo de la correa en la polea menor

Z = Número de correas

$$S_a = 2(28,28) * \sin \frac{175}{2} * 1$$

$$S_a = 56,51 N$$

El fabricante Grupo Arntz Optibelt, (2002), recomienda un factor de 1,3:

$$S_a = 56,51 N * 1,3$$

$$S_a = 73,458 N$$

Con $S_a = 73,458 N$ se diseño el eje motriz porque esta fuerza estará actuando sobre él.

3.7.8 Material para el disco porta paño

El aluminio es el material más abundante de la corteza terrestre, la característica más importante es su maquinabilidad y su capacidad de trabajo; lo cual nos será de gran ayuda ya que el disco porta paño tiene que dar albergue a los imanes que a su vez se pegara la placa del paño caso contrario esta no se adhiere evitando así que exista arrastre.

Características del aluminio:



Figura 11-3. Características del aluminio

Fuente: Texto materiales Ing. Marco Almendariz.

Tabla 14-3: Propiedades del aluminio

ALUMINIO	
Densidad	2,7 kg/dm ³
Punto de fusión	660 °C
Resistividad	0,026 Ω·mm ² /m
Resistencia a la tracción	10 kg/mm ² Si está laminado o forjado, su resistencia se incrementa hasta 20 kg/mm ²
Alargamiento	50 %

Fuente: Texto materiales Ing. Marco Almendariz, 1998

DISEÑO

El disco porta paño es un disco de aluminio donde se encuentran cavidades en donde se incrustan los imanes, y en la parte superior se encuentra una protección de caucho para evitar que el agua ingrese a los imanes y se oxide. Este disco es desmontable.

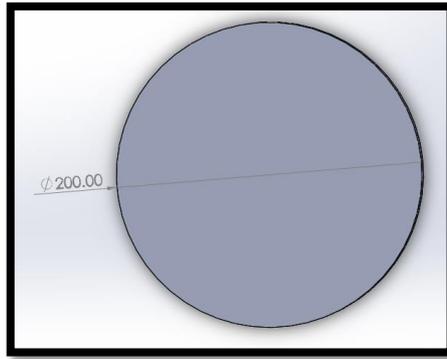


Figura 12-3. Disco porta paño
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.7.9 Material y diseño para el eje motriz

3.7.9.1 Material

El acero SAE 1018 es utilizado en componentes de maquinarias como ejes, piñones, pasadores, tornillos, etc., debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo.

Características:

- Acero de bajo-medio carbón.
- Buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbón.
- Alta tenacidad y baja resistencia mecánica.

Tabla 15-3: Características del acero SAE 1018

PROPIEDADES MECANICAS	
DUREZA	126 HBRINELL
ESFUERZO DE FLUENCIA	370 Mpa
ESFUERZO MAXIMO	440 Mpa
ELONGACION	15% en 50 mm
REDUCCION DE AREA	40%
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa
MAQUINABILIDAD	76%

Fuente: VAZBROS, 2000

3.7.9.2 Diseño:

El eje se diseñará tomando en cuenta esfuerzos de torsión y deflexión.

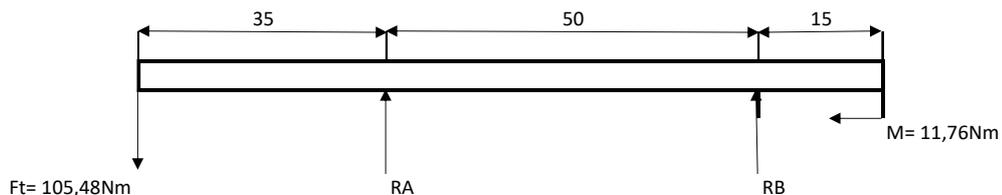


Figura 13-3. Diseño del eje
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

El momento se puede calcular de la siguiente forma:

$$M = F_N * r$$

Donde:

M= Momento (Nm)

F_N = Fuerza normal (N)

r= Radio de disco giratorio (m)

$$M = 117,6 \text{ N} * 0,1 \text{ m}$$

$$M = 11,76 \text{ Nm}$$

A partir de la $F_T = 105,846 \text{ N}$ que se determino al seleccionar la banda y el momento M, se realizara una sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\uparrow (+) \sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - F_T = 0$$

$$R_A + R_B = 105,846 \text{ N}$$

Al analizar los momentos en el punto A obtenemos:

$$(+)\sum M_A = 0$$

$$(F_T * 35\text{mm}) + (R_B * 50\text{mm}) - M = 0$$

$$(105,846 \text{ N} * 35\text{mm}) + (R_B * 50\text{mm}) - 11760\text{Nmm} = 0$$

$$R_B = 161,108 \text{ N}$$

Al reemplazar la reacción en el punto B podemos encontrar la reacción en el punto A

$$R_A + R_B = 105,846 \text{ N}$$

$$R_A = 105,846 \text{ N} - 161,108 \text{ N}$$

$$R_A + R_B = -55,262 \text{ N}$$

Obtenidas las reacciones podemos realizar los diagramas de corte y de momento para observar cómo se comparten las fuerzas en el eje.

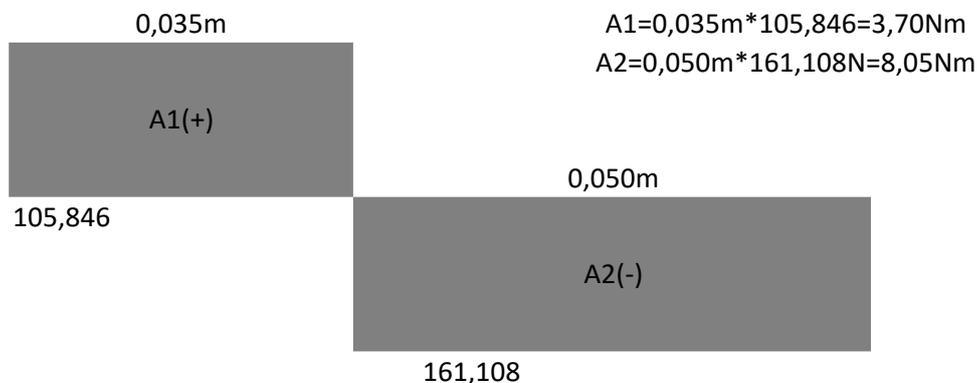


Figura 14-3. Diagrama de corte y momento
 Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

Para encontrar el torque mayor en el diseño analizaremos la polea conducida despejando el torque:

$$T = \frac{0,5 \text{ HP}}{31,41 \text{ rad/s}} * \frac{746 \text{ w}}{1 \text{ HP}}$$

$$T = 11,87 \text{ Nm}$$

A continuación, se determinará el diámetro mínimo del eje que sea capaz de soportar los esfuerzos con la siguiente formula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * n}{\pi} * \left(\frac{2 * (K_f * M_a)}{S_e} + \frac{\sqrt{3} * (K_{fs} * T_m)}{S_{ut}} \right)}$$

Donde:

d = Diámetro mínimo del eje (mm)

n = Factor de seguridad ($n= 1,67$ mínimo para diseño)

K_f = Factor de concentración de esfuerzo por flexión

K_{fs} = Factor de concentración de esfuerzo de torsión

M_a = Momento flexionante alternante (Nm)

T_m = Par de torsión medio (Nm)

S_e = Límite de resistencia a la fatiga en el punto crítico (MPa)

S_{ut} = Esfuerzo a la fluencia, depende del material (370MPa acero AISI-SAE 1018)

En la siguiente tabla obtendremos los valores de K_f y K_{fs}

Tabla 16-3: Factores de concentración de esfuerzos

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0,02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Fuente: Budynas R. G., (2012, pág. 356)

A continuación, se calculará la resistencia a la fatiga en el punto crítico con la siguiente formula

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

Donde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga en el punto critico

K_a = Factor de superficie

K_b = Factor de tamaño

K_c = Factor de carga

K_d = Factor de temperatura

K_e = Factor de confiabilidad

K_f = Factor de efectos varios

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (MPa)

El factor de superficie se calculará a partir de la tabla y la ecuación siguientes:

Tabla 17-3: Parámetros en el factor de la condición superficial

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

Fuente: Budynas R. G., 2012, pág. 274

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

Al reemplazar los valores de las tablas obtenemos:

$$K_a = 4,51 * 370^{-0,265}$$

$$K_a = 0,94$$

Valores para los demás factores:

$$K_a = 0,94$$

$$K_b = 0,9$$

$$K_c = 1 \text{ (para flexión)}$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 1 \text{ (para un 50% de confiabilidad)}$$

$$K_f = 0,5 \text{ (depende de los materiales a unir y varia de 0,24 a 0,9)}$$

Reemplazando podemos obtener el límite de resistencia de fatiga

$$S_e = 0,94 * 0,9 * 1 * 1 * 1 * 0,5 * 370 \text{ MPa}$$

$$S_e = 156,51 \text{ MPa}$$

Al tener los datos podemos reemplazar en la ecuación para obtener el diámetro mínimo del eje a utilizar:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * 1,67}{\pi} * \left(\frac{2 * (1,7 * 3,70 \text{ Nm})}{156510000} + \frac{\sqrt{3} * (1,5 * 11,87 \text{ Nm})}{370000000} \right)}$$

$$d = 0,01116 \text{ m}$$

$$d_{\text{minimo}} = 11,16 \text{ mm}$$

Esfuerzo máximo a torsión:

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

Donde:

τ = Esfuerzo máximo a torsión (MPa)

T = Torque (Nm)

d = Diámetro mínimo en el diseño (d=20mm)

Al reemplazar los valores en la formula tenemos:

$$\tau = \frac{16 * 11,87Nm}{\pi * (0,02)^3}$$

$$\tau = 7,55 \text{ MPa}$$

Esfuerzo máximo de flexión:

$$\sigma = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

σ = esfuerzo máximo a flexión

M = Momento

d = Diámetro mínimo en el diseño (d= 20mm)

Al reemplazar los valores en la formula tenemos:

$$\sigma = \frac{32 * 3,70 \text{ Nm}}{\pi * (0,02m)^3}$$

$$\sigma = 4,71 \text{ MPa}$$

3.7.10 Material y diseño para el disco porta probetas

3.7.10.1 Material

El acero SAE 1045 es un acero al carbono medio de alta calidad con alta resistencia, con características como buena maquinabilidad y excelente forjabilidad, sometido a alta calidad con poca dureza, además de poseer un nivel de resistencia mecánica y tenacidad media.

Tabla 18-3: Propiedades del acero SAE 1045

PROPIEDADES MECANICAS	
DUREZA	163 HBRINELL
ESFUERZO DE FLUENCIA	310 Mpa
ESFUERZO MAXIMO	565 Mpa
ELONGACION	16% en 50 mm
REDUCCION DE AREA	40%
DENSIDAD	7,85 g/cm3

Fuente: AXXECOL S.A., 2000

3.7.10.2 Diseño:

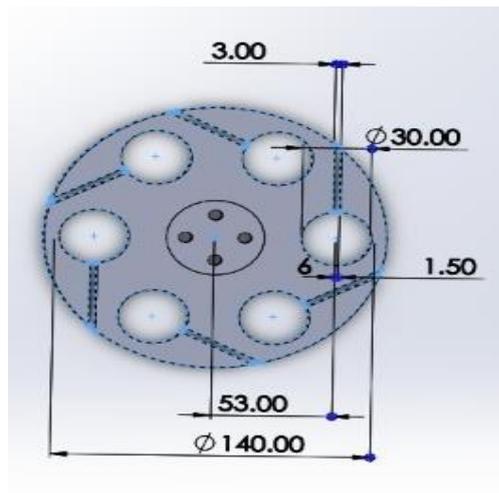


Figura 15-3. Diseño del disco porta probetas
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

Se utilizó el acero SAE A36 debido a que se lo puede encontrar en placa para poder mecanizar. El diámetro del disco porta probetas es de 140mm y de espesor tiene 14mm. Está diseñado para la sujeción de 6 probetas de 30 mm de diámetro repartidas en todo el disco. Para evitar la pronta corrosión se le aplico un tratamiento térmico a una temperatura de 180°C.

3.7.11 Material y diseño para el eje porta probetas

3.7.11.1 Material

El acero SAE 1018 es utilizado en componentes de maquinarias como ejes, piñones, pasadores, tornillos, etc., debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo.

Características:

- Acero de bajo-medio carbón.
- Buena soldabilidad y mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbón.
- Alta tenacidad y baja resistencia mecánica.

Tabla 19-3: Características del acero SAE 1018

PROPIEDADES MECANICAS	
DUREZA	126 HBRINELL
ESFUERZO DE FLUENCIA	370 Mpa
ESFUERZO MAXIMO	440 Mpa
ELONGACION	15% en 50 mm
REDUCCION DE AREA	40%
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa
MAQUINABILIDAD	76%

Fuente: VAZBROS, 2000

3.7.11.2 Diseño:

El eje se diseñará tomando en cuenta esfuerzos de torsión y deflexión.

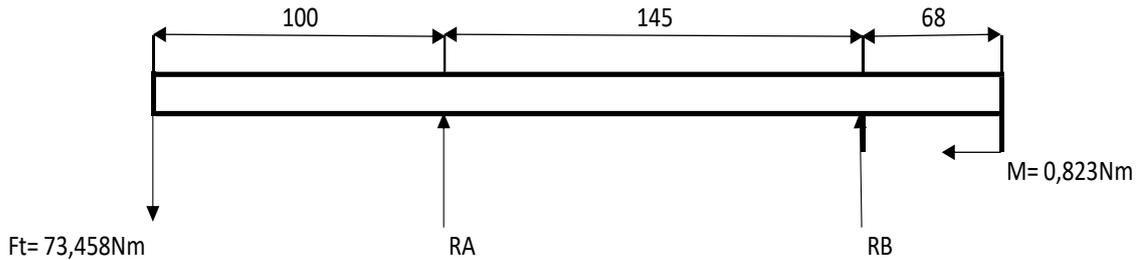


Figura 16-3. Esfuerzos de torsión y deflexión

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

El momento se puede calcular de la siguiente forma:

$$M = F_N * r$$

Donde:

M = momento (Nm)

F_N = fuerza normal (N)

r = radio de disco giratorio (m)

$$M = 117,6 \text{ N} * 0,07 \text{ m}$$

$$M = 0,823 \text{ Nm}$$

A partir de la $F_T = 73,458 \text{ N}$ que se determinó al seleccionar la banda y el momento M , se realizara una sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\uparrow (+) \sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - F_T = 0$$

$$R_A + R_B = 73,458 \text{ N}$$

Al analizar los momentos en el punto A obtenemos:

$$(+)\sum M_A = 0$$

$$(F_T * 100\text{mm}) + (R_B * 145\text{mm}) - M = 0$$

$$(73,458 \text{ N} * 100\text{mm}) + (R_B * 145\text{mm}) - 823,2\text{Nmm} = 0$$

$$R_B = 44,98 \text{ N}$$

Al reemplazar la reacción en el punto B podemos encontrar la reacción en el punto A

$$R_A + R_B = 73,458 \text{ N}$$

$$R_A = 73,458 \text{ N} - 44,98 \text{ N}$$

$$R_A = 28,478 \text{ N}$$

Obtenidas las reacciones podemos realizar los diagramas de corte y de momento para observar cómo se comparten las fuerzas en el eje.

Gráficos

Para encontrar el torque mayor en el diseño analizaremos la polea conducida despejando el torque:

$$T = \frac{0,5 \text{ HP}}{20,94 \text{ rad/s}} * \frac{746 \text{ w}}{1 \text{ HP}}$$

$$T = 17,81 \text{ Nm}$$

A continuación, se determinará el diámetro mínimo del eje que sea capaz de soportar los esfuerzos con la siguiente formula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * n}{\pi} * \left(\frac{2 * (K_f * M_a)}{S_e} + \frac{\sqrt{3} * (K_{fs} * T_m)}{S_{ut}} \right)}$$

Donde:

d = diámetro mínimo del eje (mm)

n = factor de seguridad ($n= 1,67$ mínimo para diseño)

K_f = factor de concentración de esfuerzo por flexión

K_{fs} = factor de concentración de esfuerzo de torsión

M_a = momento flexionante alternante (Nm)

T_m = par de torsión medio (Nm)

S_e = limite de resistencia a la fatiga en el punto crítico (MPa)

S_{ut} = esfuerzo a la fluencia, depende del material (370MPa acero AISI-SAE 1018)

En la siguiente tabla obtendremos los valores de K_f y K_{FS}

Tabla 20-3: Factores de concentración de esfuerzos

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Fuente: Budynas R. G., 2012, pág. 356

A continuación, se calculará la resistencia a la fatiga en el punto crítico con la siguiente formula

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

Donde:

S_e = límite de resistencia a la fatiga en el punto crítico

K_a = factor de superficie

K_b = factor de tamaño

K_c = factor de carga

K_d = factor de temperatura

K_e = factor de confiabilidad

K_f = factor de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (MPa)

El factor de superficie se calculará a partir de la tabla y la ecuación siguientes:

Tabla 21-3: Parámetros en el factor de la condición superficial

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

Fuente: Budynas R. G., 2012, pág. 274

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

Al reemplazar los valores de las tablas obtenemos:

$$K_a = 4,51 * 370^{-0,265}$$

$$K_a = 0,94$$

Valores para los demás factores:

$$K_a = 0,94$$

$$K_b = 0,9$$

$$K_c = 1 \text{ (para flexión)}$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 1 \text{ (para un 50% de confiabilidad)}$$

$$K_f = 0,5 \text{ (depende de los materiales a unir y varia de 0,24 a 0,9)}$$

Reemplazando podemos obtener el límite de resistencia de fatiga

$$S_e = 0,94 * 0,9 * 1 * 1 * 1 * 0,5 * 370 \text{ MPa}$$

$$S_e = 156,51 \text{ MPa}$$

Al tener los datos podemos reemplazar en la ecuación para obtener el diámetro mínimo del eje a utilizar:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * 1,67}{\pi} * \left(\frac{2 * (1,7 * 7,345Nm)}{156510000} + \frac{\sqrt{3} * (1,5 * 17,81 Nm)}{370000000} \right)}$$

$$d = 0,01341 \text{ m}$$

$$d_{\text{minimo}} = 13,41 \text{ mm}$$

Esfuerzo máximo a torsión:

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

Donde:

τ = esfuerzo máximo a torsión (MPa)

T= torque (Nm)

d= diámetro mínimo en el diseño (d=20mm)

Al reemplazar los valores en la formula tenemos:

$$\tau = \frac{16 * 17,81Nm}{\pi * (0,02)^3}$$

$$\tau = 11,33 \text{ MPa}$$

Esfuerzo máximo de flexión:

$$\sigma = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

σ = esfuerzo máximo a flexión

M= momento

d = diámetro mínimo en el diseño (d= 20mm)

Al reemplazar los valores en la formula tenemos:

$$\sigma = \frac{32 * 7,345 Nm}{\pi * (0,02m)^3}$$

$$\sigma = 9,35 \text{ MPa}$$

3.7.12 Selección de las chavetas

Las chavetas y las dimensiones normalizadas de los chaveteros se seleccionarán en la siguiente tabla:

Tabla 22-3: Chavetas paralelas serie normal

Campo de aplicación		Chaveta			Chavetero										
		Sección		Toleran sobre		Dim. nom.	Largo						Profundidad		
							Tolerancia sobre b			Eje			Cubo		
		Diámetro eje d	Dimen normal b x h	b ^{h9}	h*	b	Por eje			Por cubo			Nom t1	Tol.	Nom t2
H9	N9						P9	D10	Js9	P9					
De Hasta	6 8	2x2	0	0	2							1,2		1	
Más de hasta	8 10	3x3	-0,025	-0,025	3	+0,025 0	-0,004 0	-0,006 -0,031	+0,060 +0,020	±0,012	-0,006 -0,031	1,8		1,4	
Más de Hasta	10 12	4x4			4							2,5	+0,1 0	1,8	+0,1 0
Más de Hasta	12 17	5x5	0	0	5	+0,030 0	0 -0,030	-0,012 -0,042	+0,078 +0,030	±0,015	-0,012 -0,042	3		2,3	
Más de Hasta	17 22	6x6			6							3,5		3,5	
Más de Hasta	22 30	8x7	0		8	+0,036 0	0	-0,015 -0,051	+0,098 +0,040	±0,018	-0,015 -0,051	5		3,3	
Más de Hasta	30 38	10x8	-0,036		10		-0,036					5		3,3	
Más de Hasta	38 44	12x8		0	12							5		3,3	
Más de Hasta	44 50	14x9		-0,090	14							5,5		3,8	
Más de Hasta	50 58	16x10	0		16	+0,043 0	0	-0,018 -0,061	+0,120 +0,050	±0,021	-0,018 -0,061	6		4,3	
Más de Hasta	58 60	18x11			18							7		4,4	
Más de Hasta	65 75	20x12			20							7,5	+0,2 0	4,9	+0,2 0
Más de Hasta	75 85	22x14	0	0	22	+0,052 0	0	-0,022 -0,074	+0,149 +0,065	±0,026	-0,022 -0,074	9		5,4	
Más de Hasta	85 95	25x14	-0,052	-0,110	25		-0,052					9		5,4	
Más de Hasta	95 110	28x16			28							10		6,4	
Más de Hasta	110 130	32x18			32							11			
Más de Hasta	130 150	36x20			36							12		8,4	

Fuente: Rodamientos Vigo, 2005

Para el eje de 20mm según la tabla se procede a escoger una chaveta de 6x6 mm, la cual ayudara a transmitir el movimiento entre la polea conducida y el eje motriz.

3.7.13 Material y diseño de la estructura

3.7.13.1 Material

Se utilizó acero SAE A36 que es una aleación de acero al carbono, es utilizado en la fabricación de piezas para maquinas debido a su excelente resistencia y fuerza.

Características:

- Muy fácil de soldar.
- Bajo costo.
- Excelente resistencia.

Tabla 23-3: Propiedades del acero SAE A36

PROPIEDADES MECANICAS	
DUREZA	119-162 HBRINELL
ESFUERZO DE FLUENCIA	250 Mpa
ESFUERZO MAXIMO	400 Mpa
ELONGACION	23% en 50 mm
REDUCCION DE AREA	40%
MODULO DE ELASTICIDAD	205 Gpa
MAQUINABILIDAD	76%

FUENTE: AAMSA, 2000

La estructura de la maquina va a depender del peso de los elementos a soportar consta de un bastidor compacto montado con dos motores; el motor de disco inferior y el motor del disco porta probetas, además de los ejes para cada disco.

Esta estructura por efectos de vibración no se le puede hacer muy delgada la parte inferior es de 3mm y la parte superior es de 4mm de espesor.

3.7.14 Diagrama eléctrico

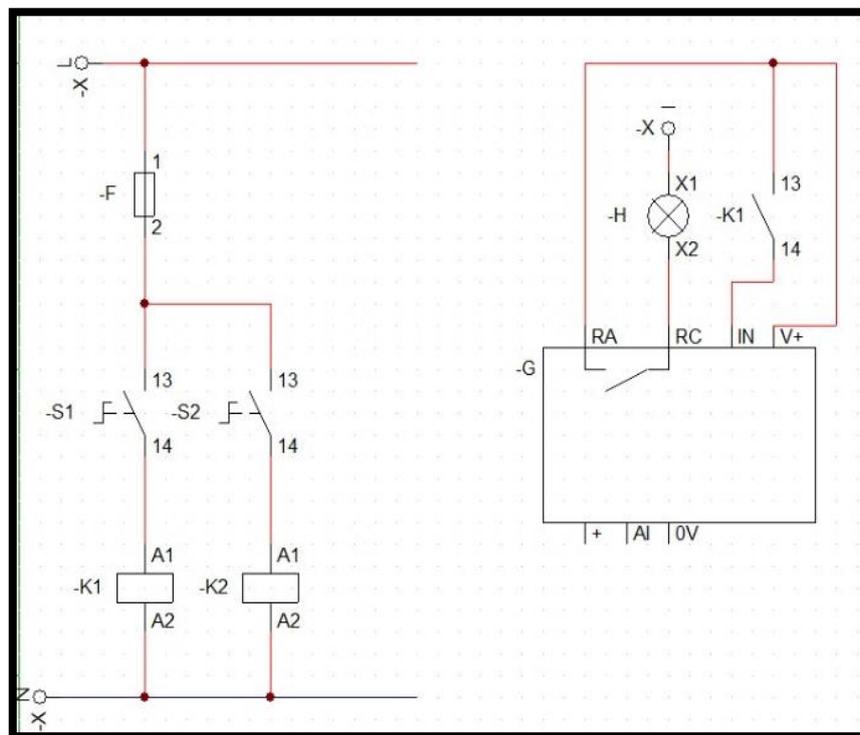


Figura. Diagrama de control
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

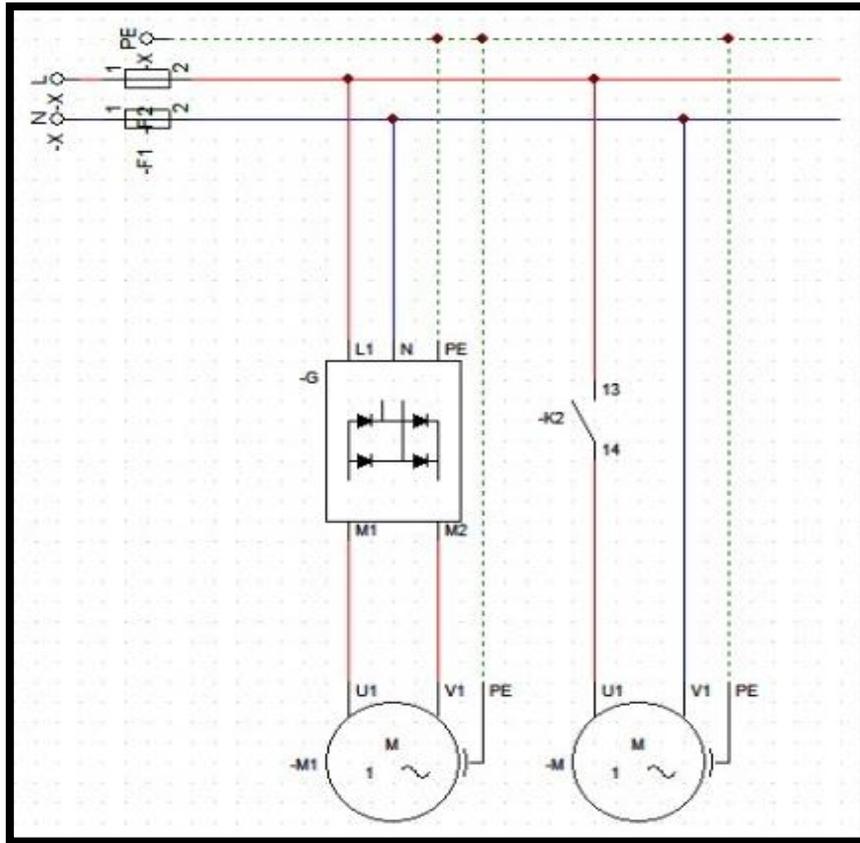


Figura. Diagrama de potencia
Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.7.15 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje se centra en el disco porta paño en donde se encuentra una cavidad tipo pozo con un ducto de salida que se ubica en la parte posterior de la máquina donde a su vez está conectado a una manguera que conduce al desahogué permitiendo drenar los líquidos que se utilizan para el pulido metalográfico que en este caso será el agua o alúmina.

3.8. Procedimiento de utilización y funcionamiento

La máquina pulidora está diseñada en base a requerimientos de pulido de probetas metalográficas, está construida de un bastidor compacto montado con dos motores: motor de disco inferior, motor del disco porta probetas.

Esta máquina a través de las revoluciones a las cuales giran los discos de pulido, produce una fricción con el paño.

El disco porta lijas se encuentra incrustados imanes que son los que le dan adherencias a la placa porta paño, el disco encaja con el disco principal fijo.

El disco porta probetas tiene capacidad para 6 probetas, tiene un sistema de guía que le da movimiento, tiene un sistema elástico que le permite entrar en el sistema del seguro del eje el cual le da la seguridad para que no pueda caerse por el peso que este tiene, este es desmontable.

Para el montaje de las probetas nosotros debemos desmontar el disco, aflojando el perno de sujeción o de seguridad, colocando las probetas con la ayuda de un calibrador ya que deben quedar al mismo nivel, para obtener una probeta pulida correctamente

La máquina empieza a girar al encender los motores, acerco las probetas al disco porta paño bajando el sistema, si yo necesito más fuerza o presión entonces ajustamos la perilla del mecanismo haciendo que la fuerza sea mayor

Para enfriar el sistema contamos con un ventilador individual que tiene el motor el cual debemos dejar encendido para que el sistema pueda enfriarse, es aconsejable hacerlo después de 5min de utilizado, debido a que estos motores son de baja potencia.

La máquina cuenta con un sistema en el cual se puede colocar agua y alúmina, estas nos ayudaran a obtener un correcto pulido metalográfico

Cuenta con un sistema de drenaje en donde se encuentra una cavidad tipo pozo con un ducto de salida que se ubica en la parte posterior de la máquina donde a su vez está conectado a una manguera que conduce al desahogué permitiendo drenar los líquidos que se utilizan para el pulido metalográfico que en este caso será el agua o alúmina.

3.9. Descripción del proceso de construcción de la máquina pulidora de probetas

Para realizar la construcción de la maquina se analizó la forma de lijado y pulido de las probetas y todos sus procesos, posteriormente se procedió a realizar planos de la máquina y sus componentes.

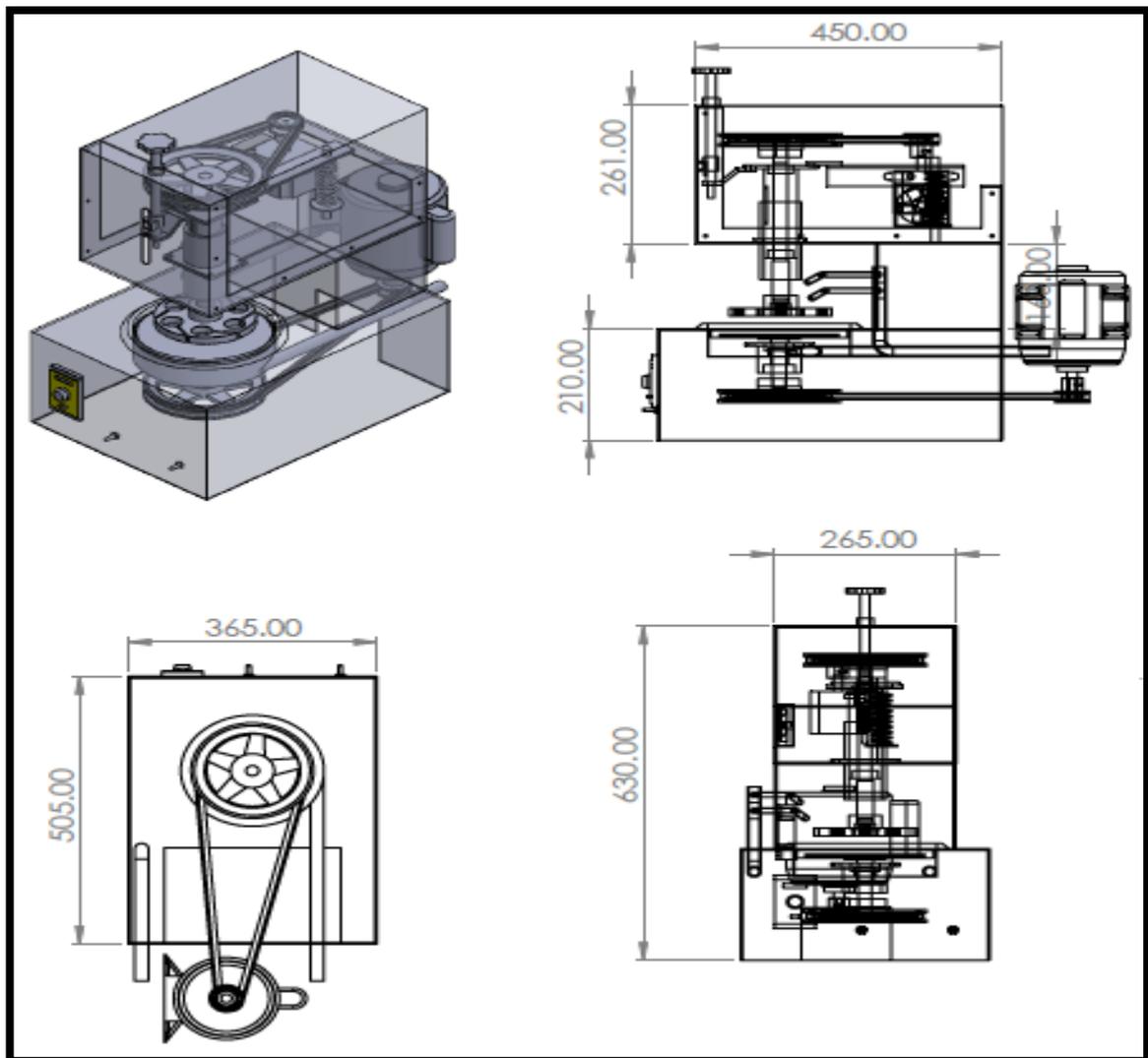


Figura 17-3. Diseño de la máquina

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

A partir de los planos iniciales, seleccionamos los materiales y elementos que se utilizarían en la construcción, iniciando con ello el proceso de fabricación, de manera que puedan ir acoplándose cada una de las partes.

A continuación, describimos los procesos utilizados en la fabricación de las partes que conforman la máquina pulidora.

➤ **Manzana del disco interior:**

Material: Eje SAE 10-18 de diferentes medidas y placa caliente A36.

Proceso: Cortado de placa base, escuadrado y torneado, luego es soldado al eje principal de la manzana.

Torneado de la manzana para alojar a los rodamientos con las medidas y tolerancias correspondientes.

Cortado de rodela y torneado, la misma que es soldada al eje giratorio, para luego ser torneada, de manera que encaje en los rodamientos de la manzana.

Cortado, torneado y acoplado de rodela soporte inferior a eje giratorio.

➤ **Disco soporte para lijas**

Selección de material y fundición de disco de aluminio para soporte de lija.

Torneado de disco de aluminio que acopla en la rodela soporte

➤ **Disco porta probetas**

Trazado, cortado y torneado de la rodela porta probetas y la manzana de acople.

• **Mecanismo deslizante de eje porta probetas y sistema de desplazamiento**

Material: Eje SAE 10-18 de diferentes medidas y placa caliente A36.

Trazado, cortado, escuadrado, torneado y soldado de placas soportes con sus respectivos ejes.

Perforado y torneado de eje con agujero guía para deslizamiento del eje soporte.

Perforado y torneado de eje deslizante para alojar rodamientos con las medidas y tolerancias correspondientes.

Torneado de eje porta probetas que se aloja en los rodamientos del eje deslizante.

• **Mecanismo de desplazamiento vertical**

Torneado y roscado de perno y tuerca para desplazamiento de eje porta probeta con su respectivo sistema de sujeción.

Torneado de poleas para el eje de disco inferior y eje porta probetas respectivamente.

Cortado y torneado de placa y anillo para soporte de manzana inferior y el disco porta lijas.

Cortado, soldado y torneado de bases para motores

• **Sistema de alimentación de agua y alúmina**

Material: Acero SAE 10-18 cortado, torneado, roscado, soldado de cada uno de los elementos que conforman el sistema de alimentación, juntamente con los accesorios de cierre y paso de los fluidos.

Procesos de fresado:

Construcción de chavetero guía de eje deslizante en el sistema porta probetas.

Fresado de la manzana que acopla el disco porta probetas con el eje superior.

Fresado de chavetero en eje para disco porta probetas.

Fresado de agujeros que alojan a imanes en el disco porta lijas.

Fresado de chaveteros en los ejes que se acoplan con las poleas.

Fresado de agujeros y ranuras en placa porta probetas.

➤ **Construcción del bastidor:**

Material: Placa metálica A 36

Trazado, cortado y doblado de placas.

Armado y soldado en cada uno de las partes del bastidor.

Elaboración de agujeros para alojar los ejes y base de lijado

Armado y soldado de base soporte para disco inferior

Cortado y soldado de refuerzos y placa soporte para los diferentes elementos que acoplaran al bastidor.

Cortado y soldado de ducto para desalojar los líquidos del recipiente de lijado.

Cortado, doblado y soldado de la parte superior de la máquina.

Cortado y soldado de elementos complementarios como soportes de motores y elementos de unión de los mecanismos.

• **Procesos manuales y complementarios**

Trazado, perforado y roscado para sujetar tanto los sistemas superiores e inferiores, así como las tapas de protección.

Perforado y roscado en ranuras del disco porta probetas para sujeción de estas.

Selección y acoplamiento de motores

Acoplamiento de sistemas de avance para lijado

Limpieza y pintado de la máquina

Ensamblaje de sistemas mecánicos

Instalación de sistema eléctrico

Pruebas y resultados en el proceso de lijado.

3.10. Toma de tiempos del proceso posterior a la implementación

Posterior a la implementación de la máquina pulidora se recolectó una toma de tiempos para comprobar la mejora del proceso de preparación de probetas, en la siguiente tabla se muestra la toma de tiempos realizada para un ensayo en probetas de ACERO DF2 para lo cual se realizó de 10 tomas de tiempos en cada paso del proceso para estimar un tiempo promedio en que se tardaran los estudiantes en realizar este ensayo.

Tabla 24-3: Toma de tiempos del proceso posterior a la implementación

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	TOMAS DE TIEMPO (min)										Tiempo prom. (min)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Corte de la probeta	2	3	2	3	3	3	2.5	2.75	3	2.25	2.65
Transporte al área de desbaste	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	0.75	0.65	0.5	0.5	0.75	0.59
Selección del papel abrasivo	2	1.75	1.8	1.60	2.1	2	1.75	1.6	1	1.5	1.71
Desbaste de la probeta	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1
Pulido de la probeta	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Enjuague de la probeta	0.5	0.2	0.5	0.3	0.4	0.6	0.5	0.4	0.3	0.6	0.43
Secado de la probeta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ataque químico metalográfico	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Transporte al área de observación microscópica	0.25	0.35	0.4	0.35	0.20	0.5	0.45	0.6	0.5	0.45	0.41
Observación microscópica de la probeta	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.11. Diagrama de proceso posterior a la implementación

En la tabla 25-3 se especifica el número y el tipo de actividades a las que corresponden cada uno de los pasos que se sigue para la preparación de las probetas, también se detalla el tiempo promedio que toma realizar cada actividad.

Tabla 25-3: Diagrama de operación de proceso de la situación mejorada

DIAGRAMA DE OPERACION DE PROCESOS											
Institución:	ESPOCH										
Áreas / Departamentos:	Facultad de mecanica/ Laboratorio de metalografia										
Producto	Probetas metalograficas										
Fases del método	Actual:	x	Mejorado:		Fecha:						
Elaborado por:	Joel Gavilánez y Greys Guamán										
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	N°	TIEMPO (min)					SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA				
		Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacen					
Corte de la probeta	1	2.65					x				
Transporte al area de desbaste	2		0.59					x			
Selección del papel abrasivo	3	1.71					x				
Desbaste de la probeta	4	28.1					x				
Pulido de la probeta	5	0.83					x				
Enjuague de la probeta	6	0.43					x				
Secado de la probeta	7				1					x	
Ataque químico metalografico	8	0.15					x				
Secado de la probeta	9				1					x	
Transporte al area de observacion microscopica	10	0.41						x			
Observacion microscopica de la probeta	11			5					x		
TOTAL		34.28	0.59	5.00	2	0.00	6	2	1	2	0

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

Tabla 26-3: Resumen del diagrama de procesos de la situación mejorada

RESUMEN		
Simbología	Cantidad	Tiempo (min)
	6	34.28
	2	0.59
	1	5.00
	2	2
	0	0
TOTAL	11	41.87

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

La máquina implementada realiza el proceso de pulido, se deja trabajar a la maquina 5 minutos, la máquina está en capacidad de trabajar 6 probetas al mismo tiempo por lo que este proceso de pulido da un tiempo individual de trabajo de 0.83 minutos por probeta.

3.12. Análisis de Costos

Tiene como objetivo determinar el costo necesario de los elementos para la realización del prototipo.

3.12.1. Costos Directos

Los costos de materiales para la construcción se presentan en la siguiente tabla

Tabla 27-3: Costos Directos

Cantidad	Descripciones	Dimensiones (mm)	V. Unitario (USD)	V. Total (USD)
1	Polea conducida del eje motriz	5" x 1/2" centro	3,28	3,28
1	Polea conductora del eje motriz	2 1/2" x 1/2" centro	1,90	1,90
1	Plancha de Acero Inoxidable Mate 304	1220 x 2440 x 1,5	131,04	131,04
1	Disco base y porta paño	200 x42	105,55	105,55
1	Eje motriz	55 x 380	30,84	30,84
1	Base superior e inferior del eje motriz	102 x 92	17,99	17,99
1	Chumacera de pared	3/4"	4,63	4,63
2	Rodamientos	NTN 6205	4,73	9,46
1	Banda de transmisión trapecial	SPA-30	1,72	1,72
1	Tubo estructural	25,4 x 50,8 x 1,10	8,94	8,94
1	Placa base de motor	250 x 120 x 5	10,00	10,00
1	Chaveta de polea conducida	6 x 50	1,00	1,00
1	Pernos y tuercas	NA	10,00	10,00

1	Plancha de tool	240*120	22,09	22,09
1	Ángulo de soporte estructural	L 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"	16,64	16,64
1	Motor trifásico	1/2 HP – 1200 rpm	198,02	198,02
1	Variador de frecuencia	1/2 HP	296,41	296,41
1	Paño	200	15,68	62,72
			TOTAL	520,93

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.12.2. Costos de mano de obra

La mano de obra es un costo que se genera al utilizar las máquinas antes mencionadas, el mismo que se calculará en función del tiempo empleado de cada una.

Tabla 28-3: Costos de mano de obra

Descripción	Costo/hora	Tiempo (Horas)	Total (USD)
Torno	3,00	15,5	\$ 46,50
Fresadora	4,00	6	\$ 24,00
Taladro	1,50	5,5	\$ 8,25
Amoladora	1,50	3	\$ 4,50
Soldadora SMAW	3,00	6	\$ 18,00
Soldadora TIG	4,00	1	\$ 4,00
Prensa	2,00	2	\$ 4,00
Cizalla	2,00	2	\$ 4,00
Compresor y equipo de pintura	4,00	1	\$ 4,00
Instalación eléctrica	5,00	5	\$ 25,00
		Total	\$ 142,25

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.12.3. Costos de transporte de material

Tabla 29-3: Costo de transporte de material

Cantidad	Descripción	Unitario (USD)	V. Total (USD)
1	Flete de traída de materiales	10,00	10,00
1	Flete de ida a dejar la maquinaria	40,00	40,00
		TOTAL	50,00

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.12.4. Costo directo total

Tabla 30-3: Costo Directo total

Descripción	V. Total
Costos Mecánicos	520,93
Costo de mano de obra	142,25
Costo de transporte del material	50,00
Costo directo total	713,18

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.12.5. Costos indirectos

Tabla 31-3: Costos indirectos

N.-	Descripción	V. unitario (USD)	V. Total (USD)
1	Ingenieriles (supervisión)	150,00	150,00
1	Imprevistos	100,00	100,00
		TOTAL	250,00

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

3.12.6. Costo total

Tabla 32-3: Costo Total

N.-	Descripción	V. unitario (USD)	V. Total (USD)
1	Costos directos totales	713,18	713,18
1	Costos indirectos totales	250,00	250,00
		TOTAL	963,18

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Materiales de fabricación de la maquina pulidora

4.1.1. *Material para el disco porta paño*

Para la construcción del disco porta paño se seleccionó el aluminio por su fácil maquinabilidad y capacidad de trabajo, en donde se alojan imanes para que se adhieran los diferentes papeles abrasivos en su respectivo disco.

4.1.2. *Material y diseño para el eje motriz*

Se seleccionó el acero SAE 1018 debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo, alta tenacidad y baja resistencia mecánica.

El mayor torque al que estará sometido es:

$$T = 11,87 Nm$$

El diámetro mínimo del eje para resistir los esfuerzos y reacciones es:

$$d_{\text{minimo}} = 11,16mm$$

El esfuerzo máximo a torsión al que estará sometido es:

$$\tau = 7,55 MPa$$

El esfuerzo máximo de flexión es:

$$\sigma = 4,71 MPa$$

4.1.3. *Material para el disco porta probetas*

Se utilizó el acero SAE A36 debido a que se lo puede encontrar en forma de placa para poder mecanizar.

- El diámetro del disco porta probetas es de 140mm y de espesor tiene 14mm.
- Está diseñado para la sujeción de 6 probetas de 30 mm de diámetro repartidas en todo el disco.
- Para evitar la pronta corrosión se le aplico un tratamiento térmico a una temperatura de 180°C.

4.1.4. *Material para el eje porta probetas*

El material seleccionado fue el acero SAE 1018 debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo., también posee buena soldabilidad y alta tenacidad.

El mayor torque al que estará sometido es:

$$T = 17,81Nm$$

El diámetro mínimo del eje para resistir los esfuerzos y reacciones es:

$$d_{minimo} = 13,41mm$$

El esfuerzo máximo a torsión al que estará sometido es:

$$\tau = 11,33 MPa$$

El esfuerzo máximo de flexión es:

$$\sigma = 9,35 MPa$$

4.1.5. *Material de la estructura*

Se utilizó acero SAE A36 que es una aleación de acero al carbono, es utilizado en la fabricación de piezas para maquinas debido a su excelente resistencia y fuerza, es muy fácil de soldar, ofrece excelente resistencia mecánica y es de bajo costo.

La estructura de la maquina está diseñada acorde al peso de los elementos que soportar consta de un bastidor compacto montado con dos motores; el motor de disco inferior y el motor del disco porta probetas, además de los ejes para cada disco.

Esta estructura por efectos de vibración no se le puede hacer muy delgada la parte inferior es de 3mm y la parte superior es de 4mm de espesor.

4.1.6. *Potencia y selección del motor del disco porta lijas*

Se determinó la potencia del motor mediante la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned} P &= T * W \\ P &= 5.29Nm * 31.42 \frac{rad}{seg} \\ P &= 165.99 W \\ P &= 165.99 W * \frac{1HP}{746 W} \end{aligned}$$

$$P= 0.22HP$$

Se determinó la potencia nominal del motor multiplicando la potencia por un factor de servicio (fs.=1,05), que se obtuvo de la tabla 6-3.

$$P_N = 0.22 HP * 1.05$$

$$P_N = 0.223 \text{ HP} \approx \frac{1}{4} \text{ HP}$$

Se debe utilizar como mínimo una potencia mínima de $\frac{1}{4}$ HP para que la pulidora realice el trabajo solicitado.

En base los motores existentes en el mercado se seleccionó un motor monofásico de $\frac{1}{2}$ HP, que brinda una velocidad de giro del eje de 1730 rpm.

4.1.7. *Potencia y selección del motor del disco porta probetas*

Se calculó la potencia del motor mediante la siguiente fórmula.

$$P = T * W$$

$$P = 3.70 \text{ Nm} * 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$P = 77.47 \text{ W}$$

$$P = 77.47 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}}$$

$$P = 0.103 \text{ HP} \approx \frac{1}{8} \text{ HP}$$

En base a los motores existentes en nuestro mercado se seleccionó un motor monofásico de $\frac{1}{8}$ HP, que brinda una velocidad de giro del eje de 1650 rpm.

4.1.8. *Selección del sistema banda-polea para el disco porta paños*

En base a los valores obtenidos en los cálculos desarrollados, teniendo en cuenta que la potencia teórica es de 0,4103 kW y la polea conductora 1720 Rev./min, procedemos a escoger el perfil: SPZ según la tabla 9-3.

Mediante la tabla 10-3 se seleccionó el diámetro menor de $d_1 = 63,5$ mm y con la relación de transmisión se obtiene:

$$i = \frac{d_2}{d_1}$$

$$d_2 = i * d_1$$

$$d_2 = 6 * 63,5$$

$$d_2 = 381 \text{ mm}$$

Tensión estática mínima por correa

$$T = 40,75 \text{ N}$$

Fuerza estática sobre el eje

$$S_a = 105,846 \text{ N}$$

4.1.9. Selección del sistema banda – polea del disco porta probetas

Teniendo en cuenta los valores de la potencia teórica 0,2046 kW y la polea conductora 1600 Rev./min obtenidos de los cálculos elaborados previamente, procedemos a escoger el perfil: SPZ según la tabla 12-3.

Mediante la tabla 13-3, se seleccionará el diámetro menor de $d_1 = 63,5$ mm y con la relación de transmisión se obtiene:

$$i = \frac{d_2}{d_1}$$

$$d_2 = 6 * d_1$$

$$d_2 = 6 * 63,5$$

$$d_2 = 381 \text{ mm}$$

Tensión estática mínima por correa

$$T = 28,28 \text{ N}$$

Fuerza estática sobre el eje

$$S_a = 73,458 \text{ N}$$

4.1.10. Comparación del método inicial y la máquina implementada

Tabla 1-4: Comparación del método inicial y actual

RESUMEN					
Método inicial			Método actual		
Simbología	Cantidad	Tiempo (min)	Simbología	Cantidad	Tiempo (min)
	6	38.45		6	34.28
	2	0.59		2	0.59
	1	5.00		1	5.00
	2	2		2	2
	0	0		0	0
TOTAL	11	46.04	TOTAL	11	41.87

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

La máquina implementada realiza el proceso de pulido, en una duración de trabajo de 5 minutos, la máquina está en capacidad de trabajar en 6 probetas al mismo tiempo por lo que este proceso de pulido da un tiempo individual de trabajo de 0.83 minutos por probeta, reduciendo el tiempo de pulido.

Se puede observar que el tiempo total del proceso de preparación de probetas metalográficas inicialmente era de 46.04 minutos y con el método actual se redujo a 41.87 minutos, reduciendo

el tiempo en que los estudiantes tomaran para preparar sus probetas en los ensayos metalográficos con respecto al método inicial.

4.1.11. Ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de pulido de probetas metalográficas con respecto a la pulidora metalográfica implementada

En base al diseño de la pulidora metalográfica implementada se consideran diversas ventajas y desventajas que presenta la máquina con respecto al sistema de pulido existente en el laboratorio de metalografía de la facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mismos que son mostrados a continuación:

Tabla 2-4: Ventajas y desventajas del sistema de la máquina implementada

VENTAJAS PULIDORA IMPLEMENTADA	DESVENTAJAS PULIDORA IMPLEMENTADA	VENTAJAS PULIDORA EXISTENTE	DESVENTAJAS PULIDORA EXISTENTE
Mayor número de probetas preparadas debido a la capacidad para trabajar 6 probetas al mismo tiempo.	Proceso medianamente complejo para iniciar y parar el funcionamiento de la máquina	Fácil manejo del operador	Elevado costo de mantenimiento
Menor tiempo de pulido	Costo de inversión elevado	Poco peso	Máquinas antiguas
Reducción de errores o defectos superficiales en las probetas.	Leve incremento de consumo de energía debido a la presencia de los 2 motores de la máquina.	Bajo mantenimiento	Ocupan mucho espacio
Mejor calidad de pulido de las probetas y por ende mejor visualización microscópica de los microconstituyentes.	Todas las probetas deben tener la misma forma (circular) y debe ajustarse a las especificaciones.	Fácil traslado de la máquina dentro del laboratorio	Algunas de ellas se encuentran obsoletas
Mayor seguridad debido a que los estudiantes ya no tendrán contacto directo con el disco giratorio durante este proceso.	El motor del disco porta probetas no puede exceder el tiempo de funcionamiento continuo mayor a 10 minutos para	Costo de inversión bajo	Menor número de probetas

	dar paso a su enfriamiento.		
Disponibilidad de la maquina	Tener cuidado especial en la manipulación de la máquina	Baja generación de ruido	Solo un rango de velocidad
Confiabilidad	Leer las instrucciones de funcionamiento	Baja contaminación ambiental	Elevados tiempos de operación

Realizado por: Guamán Greys y Gavilanes Joel, 2021

Una vez realizada la implementación de la pulidora metalográfica se pudo constatar el correcto funcionamiento de la misma además de un decremento en el tiempo empleado para la actividad de pulido para las probetas metalográficas facilitando de esta manera el proceso que es realizado por parte de los estudiantes, en el laboratorio de materiales de la facultad de mecánica de la ESPOCH.

CONCLUSIONES

- En el laboratorio de metalografía de la facultad de Mecánica de la ESPOCH existen varios puntos a mejorar en la utilización y desempeño de las pulidoras metalográficas que existen actualmente, uno de ellos es que no se puede controlar la fuerza que se ejerce sobre la probeta debido a que los estudiantes sujetan las probetas con las manos durante la actividad de pulido, lo que conlleva a la presencia de imperfecciones y mala preparación de las superficies de las probetas, y otro punto es que las máquinas que se utilizaban están diseñadas para la preparación de solamente una probeta a la vez.
- Los diferentes sistemas de pulidoras metalográficas existentes cuentan con distintos tipos de funcionamiento, los mismos que presentan ventajas y desventajas en su funcionamiento, de entre las ventajas que presentan son: poco mantenimiento, bajo peso, ocupa poco espacio físico pero la mayoría de ellas en la actualidad presentan un elevado costo de compra, así como una dificultad de encontrar con facilidad en el mercado, por tal motivo el diseño y construcción de una pulidora metalográfica de 6 servicios automatizados, fue realizada en base a un tamaño compacto y reducido, de bajo peso, además de un funcionamiento y utilización de mediana complejidad, y la posibilidad de operar variables como la velocidad, el torque, y el pulido de 6 probetas metalográficas al mismo tiempo, optimizando recursos tanto económicos como materiales, además de obtener resultados precisos sin la ocurrencia de fallos humanos.
- El diseño y la selección de mecanismos y materiales utilizados en la pulidora metalográfica fueron desarrollados en base a los requerimientos de pulido de probetas, esta consta de un bastidor compacto montado con dos motores: motor de disco inferior, motor del disco porta probetas, la máquina a través de las revoluciones a las cuales giran los discos de pulido produce una fricción con el paño, además el disco porta probetas tiene capacidad para 6 probetas, tiene un sistema de guía que le da movimiento, posee un sistema elástico que le permite entrar en el sistema del seguro del eje el cual le da la seguridad para que no pueda caerse por el peso que este tiene, este es desmontable, la máquina cuenta con un sistema de recirculación que proporciona agua y alúmina, estas nos ayudaron a obtener un correcto pulido metalográfico.
- Las pulidoras metalográficas que se utilizaban en el laboratorio tomaban un elevado tiempo para preparar una probeta correctamente pulida y considerando el aumento de estudiantes en el laboratorio que conlleva a que estos tengan que esperar que las máquinas estén disponibles

para poder desarrollar sus prácticas metalográficas se implementó la maquina pulidora de probetas. Con las pulidoras que existían en el laboratorio el tiempo estimado del proceso de preparación de una probeta metalográfica era de 46.04 min, y el tiempo de pulido era de 5 min. En la máquina desarrollada se estima 5 minutos para la actividad del pulido pero teniendo en cuenta que la máquina tiene una capacidad máxima de trabajo para 6 probetas al mismo tiempo, lo que da como resultado un tiempo de pulido de 0.83 min por probeta, la implementación de la pulidora metalográfica y la capacidad del laboratorio ahora es óptima debido a que el tiempo en el que los estudiantes desarrollan los ensayos es menor, y por ende se optimiza los resultados obtenidos en el análisis de las probetas, lo que garantiza el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

RECOMENDACIONES

- Es importante considerar que, para la utilización simultánea de las 6 probetas metalográficas, los estudiantes que realicen las pruebas con las muestras metálicas, deberán presentar ejemplares estandarizados con igual diámetro normalizado, como requisito básico para el adecuado uso de la pulidora metalográfica diseñada, del mismo modo se recomienda que la colocación de todas las muestras en el disco porta probetas sea realizada con la ayuda de un calibrador para evitar errores de posicionamiento, y así obtener una probeta pulida correctamente.
- Se deberá considerar el sistema de enfriamiento que posee la máquina, el mismo que es importante que permanezca encendido después del apagado de los motores debido a que el motor del disco porta probetas tiende a recalentarse por tanto es importante dar paso al enfriamiento del sistema, por ende, se recomienda hacer uso de la máquina luego de 5 min del uso continuo, puesto que los motores son de baja potencia y necesita ese intervalo para continuar operando satisfactoriamente.
- En base a las características de automatización de la máquina pulidora se debe considerar las diversas velocidades que ofrece el sistema, así como el torque máximo el mismo que podrá ser hasta de $17,81 \text{ N m}$ necesario a aplicar en cada práctica metalográfica realizada, por tanto, se recomienda no exceder este valor específico, para evitar averías internas en la máquina pulidora.
- Es necesario colocar suficiente cantidad de agua y alúmina en el depósito que cuenta la máquina para garantizar de esta manera un adecuado pulido metalográfico, una vez realizado la función de lubricación con estos aditivos se deberá retirar del depósito que contiene estas sustancias, para permitir un cambio de nuevos aditivos acorde las necesidades de cada pulido metalográfico que sea realizado.
- Se recomienda un mantenimiento adecuado de todos los componentes del sistema mecánico y eléctrico en la máquina pulidora metalográfica para evitar que se presentes fallos por falta de un adecuado uso y sostenimiento llegando afectar el dispositivo.

GLOSARIO

Microscopía Electrónica: El microscopio electrónico de transmisión – electrostático o magnético- es análogo, por su principio, al microscopio óptico. Proporciona, como se ha dicho, grandes aumentos y tiene un gran poder separador, pero no permite examinar más que láminas muy delgadas y las réplicas de la superficie, cuyo procedimiento indirecto presenta, con frecuencia, dificultades de interpretación, y el mayor inconveniente de no poder examinar más que cuerpos fríos. La preparación de probetas en forma de láminas muy delgadas se consigue mecanizando por procedimientos electroquímicos. (Morral y Molera, 1985, p. 725)

Transformación plástica de los metales:

Para utilizar los lingotes metálicos, hay que reducirlos a tamaños más pequeños y darles formas determinadas, y este trabajo se puede realizar por medio de una sucesión de operaciones que comprende el trabajo en caliente y el trabajo en frío. El mecanismo por el cual se puede cambiar permanentemente la forma de un metal por medio del trabajo se denomina deformación plástica y se consigue por acción de fuerzas exteriores que determinan las condiciones en las cuales se produce la deformación. (Morral y Molera, 1985, p. 749)

Acero A36 (Norma ASTM A36): El acero A36 (norma ASTM A36) es uno de los aceros estructurales de carbono más utilizados, aunque el contenido de carbono del acero estructural A36 es de un máximo de 0.29%, se considera acero suave (contenido de carbono $\leq 0.25\%$). Existen dos versiones que definen el acero con bajo contenido de carbono, una con un contenido de carbono entre 0.04% (0.05%) y 0.25% y la otra con entre 0.04% (0.05%) y 0.29%.

El acero A36 a menudo se compara con AISI 1018 debido a su composición química similar, el acero al carbono A36 es comúnmente laminado en caliente, mientras que el acero 1018 es comúnmente laminado en frío. (NORMA ASTM A36, 2018)

Alúmina: La alúmina es el óxido de aluminio (Al_2O_3). Junto con la sílice, es el componente más importante en la constitución de las arcillas y los esmaltes, confiriéndoles resistencia y aumentando su temperatura de maduración. El óxido de aluminio existe en la naturaleza en forma de corindón y de esmeril. (ASKELAND, D. y WRIGHT, 2017, p. 45)

BIBLIOGRAFÍA

ARROBA B, y LOYOLA M, Diseño y construcción de una máquina pulidora de tubos cuadrados de hasta 2-1/2". [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador 2014. P.20. [Consulta: 07 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6311>.

ASKELAND y WRIGHT, *Ciencia e ingeniería de materiales*. Séptima ed. México: Cengage Learning Editores, 2017. ISBN 978-1-305-07710-2.

BELZUNCE, F.J., *Aceros y fundiciones: estructuras, transformaciones, tratamientos térmicos y aplicaciones*. 1 ed. España, 2001, pp. 215.

CALVO SAÉZ, J., *Manual básico de seguridad en las instalaciones eléctricas de baja tensión*. 2 ed. Canarias, 2016. PP. 25-36

CÁRDENAS J. y CARRERA, J., "Diseño y construcción de una pulidora de probetas con paño a implementar en el laboratorio de metalografía de la universidad politécnica salesiana – campus Kennedy [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador 2015. P.11. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7808/6/UPS-KT00893.pdf>

CRIADO PORTAL, *Estructuras metalográficas de aleaciones hierro-carbono: aceros al carbono y fundiciones*. 2 ed. Reverté Editorial, 2008., pp. 108.

ENCICLOPEDIA CEAC, *Elementos de máquinas*. 2. España: artes gráficas Ampurias, ISBN 84-329-2709-0, 1980.

ESPÍN L, y MERINO F, Estudio de sistemas de pulido de probetas metalográficas y su incidencia en la calidad de pulido en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador 2014. P.08. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8328>.

JUÁREZ J, *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. 3 ed.: Azcapotzalco- México . ISBN 970-620-734-1, 1995.

LINARES-FLORES; et al., 2011. Arranque suave para un motor de CD a través de un convertidor reductor CD-CD. *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 12, no. 2, pp. 137-148. ISSN 1405-7743.

LÓPEZ F, Repotenciación de la máquina pulidora utilizada para ensayos metalográficos del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato”, [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador 2019. P.54. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30147>

MEDINA, I. y RIVADENEIRA, R., Diseño y construcción de una máquina pulidora de engranes para el laboratorio de máquinas herramientas de la facultad de ingeniería mecánica [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador 2014. P.13. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2203/1/CD-2963.pdf>.

MERINO C., “Estudio de sistemas de pulido de probetas metalográficas y su incidencia en la calidad de pulido en el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica de la universidad técnica de Ambato” [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador 2014. PP.109. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8328/1/Tesis%20I.%20M.%20227%20-%20Merino%20Freire%20Christian%20Renato.pdf>.

MORALES A. y ARANA S, Variadores de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador 2017. P.17. [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1/T-UCE-0010-002-2017.pdf>

MORRAL R. y MOLERA P., *Metalurgia general*. 3 ed.: Reverte editorial, España, ISBN 978-84-291-6073-4, 1985.

NARANJO M, y RACINES M, Diseño y construcción de una máquina de desbaste para probetas metalográficas [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador 2010. P.15. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2337>.

QUEZADA S., Construcción e Implementación de un prototipo de una Máquina Centrifugadora para la Obtención de Cilindros Huecos sin Costura se Aluminio en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador 2013. P.18. [Consulta: 28 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/2457>

RODRÍGUEZ, J.L.C., *Elementos de máquinas. Teoría y Problemas*. 3 ed., España: Universidad de Oviedo. ISBN 978-84-8317-370-1, 2003.