Universidad del Atlántico	**CÓDIGO:** FOR-DO-109
	VERSIÓN: 0
	FECHA: 03/06/2020

AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

GERMAN NIÑO CORTINA
Puerto Colombia, **26 De Septiembre de 2024**

Señores
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS
Universidad del Atlántico
Cuidad

Asunto: Autorización Trabajo de Grado

Cordial saludo,

Yo, **GERMAN NIÑO CORTINA.** , identificado(a) con **C.C. No. 1143133681** de **BARRANQUILLA** , autor(a) del trabajo de grado titulado **IMPLEMENTACION DE UNA PULIDORA METALOGRÁFICA PARA EL LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO** presentado y aprobado en el año **2024** como requisito para optar al título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.
Atentamente,

GERMAN NIÑO C.

Firma
GERMAN NIÑO CORTINA
C.C. No. 1143133681 de **BARRANQUILLA**

Universidad del Atlántico	CÓDIGO: FOR-DO-110
	VERSIÓN: 01
	FECHA: 02/DIC/2020

DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO

Este documento debe ser diligenciado de manera clara y completa, sin tachaduras o enmendaduras y las firmas consignadas deben corresponder al (los) autor (es) identificado en el mismo.

Puerto Colombia, 26 **De septiembre de 2024**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presento al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

Título del trabajo académico:	**IMPLEMENTACION DE UNA PULIDORA METALOGRÁFICA PARA EL LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO.**
Programa académico:	**INGENIERIA MECÁNICA**

Firma de Autor 1:	GERMAN NIÑO C.							
Nombres y Apellidos:	**GERMAN NIÑO CORTINA**							
Documento de Identificación:	**CC**	**X**	**CE**		**PA**		**Número:**	**1143133681**
Nacionalidad:	**COLOMBIANO**				**Lugar de residencia:**			**SOLEDAD**
Dirección de residencia:	**CARRERA 18A #59-47**							
Teléfono:					**Celular:**			**3160544923**

Firma de Autor 2:								
Nombres y Apellidos:								
Documento de Identificación:	**CC**				**PA**		**Número:**	
Nacionalidad:					**Lugar de residencia:**			
Dirección de residencia:								
Teléfono:					**Celular:**			

Universidad del Atlántico	**CÓDIGO:** FOR-DO-111
	VERSIÓN: 0
	FECHA: 03/06/2020

FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO	**IMPLEMENTACION DE UNA PULIDORA METALOGRÁFICA PARA EL LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO.**
AUTOR(A) (ES)	**GERMAN NIÑO CORTINA**
DIRECTOR (A)	**ALFONSO RODRÍGUEZ PEÑA**
CO-DIRECTOR (A)	**OSCAR FABIÁN HIGUERA COBOS**
JURADOS	**CRISTIAN PEDRAZA YEPES – LISANDRO VARGAS HENRÍQUEZ**
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE	**INGENIERO MECÁNICO**
PROGRAMA	**INGENIERÍA MECÁNICA**
PREGRADO / POSTGRADO	**PREGRADO**
FACULTAD	**INGENIERIA**
SEDE INSTITUCIONAL	**NORTE**
AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	**2024**
NÚMERO DE PÁGINAS	**144**
TIPO DE ILUSTRACIONES	**ILUSTRACIONES - TABLAS**
MATERIAL ANEXO (VÍDEO, AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA)	**NO APLICA**
PREMIO O RECONOCIMIENTO	**APOYO ECONOMICO RECIBIDO EN CONVOCATORIA**

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PULIDORA METALOGRÁFICA PARA EL LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

GERMÁN NIÑO CORTINA
EDUARDO ANDRÉS VILLANUEVA MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO
2024

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PULIDORA METALOGRÁFICA PARA EL LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

GERMÁN NIÑO CORTINA

EDUARDO ANDRÉS VILLANUEVA MARTÍNEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.

DIRECTOR:

ALFONSO RODRÍGUEZ PEÑA
MAGISTER EN INGENIERÍA MECÁNICA
GRUPO DE INVESTIGACIONES CONFORMAT

CODIRECTOR

OSCAR FABIÁN HIGUERA COBOS
DOCTOR EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES
GRUPO DE INVESTIGACIONES CONFORMAT

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BARRANQUILLA, ATLÁNTICO

2024

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatoria:

Dedico este proyecto de grado principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria todo este tiempo para culminar esta meta. A mis padres Martha Luz Cortina Lobo y German Niño Navarro, también a mis hermanos, por todo su amor, paciencia y por motivarme cada día y noche a seguir siempre adelante, y finalmente, a todos mis amigos y colegas que lograron este objetivo primero y siempre estuvieron apoyándome y así logarlo igualmente.

Germán Niño Cortina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a la Universidad del Atlántico y a todos los docentes que compartieron sus conocimientos, apoyo y valores conmigo y demás compañeros de estudio, para así lograr formarnos como buenos profesionales.

Agradecido con mis asesores de tesis, Ing. Alfonso Rodríguez Peña y Ing. Oscar Fabián Higuera Cobos, por brindarme su experiencia, conocimientos científicos y por toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo del proyecto de grado.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos, Ing. Cristian Rafael Orozco Padilla, Ing. Héctor Ivánovich Cristancho Orozco, Ing. Andrés David Polanco Mejía y Ing. Cindy Paola Rodríguez Lozada ya que gracias a su apoyo moral han logrado que siempre tuviera esas ganas de seguir adelante y obtener mi título como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 OBJETIVOS 3
1.1.1 Objetivo general 3
1.1.2 Objetivos específicos 3
2 MARCO REFERENCIAL 4
2.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN 4
2.2 MARCO TEÓRICO 6
2.2.1 Tribología 6
2.2.2 Ensayo metalográfico 7
2.2.3 Normativa en los ensayos de pulido como parte del ensayo metalográfico 8
2.2.4 Análisis de vibraciones 12
2.2.5 Norma ISO 10816-3 12
2.3 TIPOS Y ELEMENTOS DE UN EQUIPO DE PULIDO METALOGRÁFICO ... 13
2.3.1 Tipos de pulido 13
2.3.1.5 Pulidores vibratorios 17
2.3.2 Discos 18
2.3.3 Abrasivo metalográfico 19
2.3.4 Sistemas de refrigeración para pulido 20
2.3.5 Poleas y correas 22
2.3.6 Motor eléctrico 23
2.3.6.2 Características de operación de motores eléctricos. 24
2.3.7 La bancada 25
3 MARCO METODOLÓGICO 26
3.1.1 Revisión bibliográfica 27
3.1.2 Diseño del equipo 30
3.1.3 Construcción del equipo 31
3.1.4 Validación del equipo 32
4 DESARROLLO DEL PROYECTO 33
4.1 MODELO DE DISEÑO 33
4.1.1 Definición del problema 33

4.1.2 Diseño conceptual 34
4.1.3 Consideraciones ergonómicas 38
4.1.4 Consideraciones de diseño 40
4.1.5 Diseño al detalle 41
4.2 CÁLCULOS TEÓRICOS 46
4.2.1 Potencia requerida del motor 46
4.2.2 Cálculo de poleas 50
4.2.3 Selección de las bandas 51
4.2.4 Diseño del eje 57
4.2.5 Cálculos de soldadura 67
4.3 ANÁLISIS COMPUTACIONAL DEL DISEÑO 69
4.3.1 Simulación de la estructura 69
4.3.2 Simulación del eje 73
4.4 CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN 77
4.4.1 Materiales, equipos y consumibles 77
4.4.2 Componentes del equipo 79
4.5 VALIDACION DEL PROYECTO 88
4.5.1 Análisis de vibraciones 88
4.5.2 Verificación de las velocidades de pulido 94
4.5.3 Parámetros de las pruebas 96
4.5.4 Metodología de las pruebas 96
4.5.5 Análisis de las pruebas 97
CONCLUSIONES 99
REFERENCIAS 102
ANEXOS 107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Método de designación de la ubicación del área mostrada en microfotografía [5] 9
Figura 3. Métodos de preparación de uso general [5]. 11
Figura 4. Pulidora metalográfica [30]. 14
Figura 5. Beta & Vector grinder/polisher and power head [6]. 16
Figura 6. Buehler Vanguard 2000 fully automatic specimen preparation system [6]. 17
Figura 7. VibroMet 2 vibratory polisher [6]. 18
Figura 8. Esquema de sistema refrigeración continua [Autores] 20
Figura 9. Esquema de sistema refrigeración con retorno [Autores]. 21
Figura 10. Gotero para sistema de refrigeración manual [Autores]. 21
Figura 11. Esquema de polea y correa [31]. 22
Figura 12. Máquinas Eléctricas (Motor-Generador-Transformador) [32] 23
Figura 13. Etapas de Torque y Potencia en el funcionamiento de los motores eléctricos [34]. 24
Figura 14 Esquema metodológico [Autores] 26
Figura 15. Esquema de la metodología de diseño empleada [35]. 33
Figura 16. Diagrama de la calidad para la pulidora metalográfica [Autores] 34
Figura 17. Maquina GRIDNING-POLISHING [36] 37
Figura 18. Pulidora MP-2CE [37] 38
Figura 19. Distancia del piso a la cabeza del hueso radial de los colombianos entre 20 y 29 años [39]. 39
Figura 20. Zona de alcance óptima a la altura de la mesa (según Schmidtke) [38]. 39
Figura 21. Alternativas de diseño [Autores]. 40
Figura 22. Caja negra del sistema [Autores] 45
Figura 23. Casa de la calidad para el diseño de maquina seleccionado [Autores]. 46
Figura 24. Diagrama de cuerpo libre disco [Autores] 47
Figura 25. Características de los motores eléctricos [43]. 49
Figura 26. Vista superior mecanismo de transmisión [Autores]. 51
Figura 27. Vista frontal componentes en eje a diseñar [Autores]. 57

Figura 28. Diagrama de cuerpo libre eje a diseñar [Autores] 57
Figura 29. DCL libre polea punto B [Autores]..... 58
Figura 30. Fuerzas resultantes polea conducida 8 in en el punto B [Autores]..... 59
Figura 31. diagrama de cuerpo libre polea punto C [Autores] 59
Figura 32. Fuerzas resultantes polea conductora 4 in punto C [Autores] 60
Figura 33. Diagrama de cuerpo libre, momentos cortante y flector plano YX [Autores]. 61
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre, momentos cortante y flector plano YZ [Autores]. 62
Figura 35. Diseño estructura realizada en SOLIDWORKS® [Autores]..... 69
Figura 36. Enmallado realizado para las simulaciones [Autores] 70
Figura 37. Cargas aplicadas en la estructura para la simulación [Autores] 71
Figura 38. Análisis estático tensión axial y de flexión en el límite superior [Autores]. 72
Figura 39. Análisis estático desplazamientos resultantes [Autores] 72
Figura 40. Análisis estático factor de seguridad [Autores]..... 73
Figura 41. Eje simulado en SolidWorks [Autores] 74
Figura 42. Resultados simulación Tensión de von mises [Autores] 76
Figura 43. Resultados simulación Factor de seguridad [Autores]. 76
Figura 44. Equipos utilizados para la fabricación del equipo a) taladro manual, b) cortadora, c) pulidora, d) máquina de soldar, e) taladro de banco y f) torno [Autores]. 78
Figura 45. Vista isométrica de la estructura [Autores]. 79
Figura 46. Perfiles angulares comprados para la elaboración de la estructura [48]. 80
Figura 47. Proceso de corte de los perfiles angulares [Autores] 82
Figura 48. Carcaza del equipo; Derecha equipo sin uno de los laterales de la carcasa; Izquierda equipo con la carcasa completa en fibra de vidrio [Autores]. 83
Figura 49. Motor eléctrico utilizado en el proyecto [Autores] 84
Figura 50. Disco de unión entre eje y disco de pulido [Autores]..... 85
Figura 51. Eje utilizado en los 3 discos de pulido [Autores] 85

Figura 52. Disco de pulido [Autores]. 86
Figura 53. Tipos de rodamientos [50]. 86
Figura 54. Poleas tipo A [Autores] 87
Figura 55. Correas A46, A52 y A59 [Autores] 88
Figura 56. Equipo de medición de vibraciones 89
Figura 57. Especificaciones de hardware y software. 90
Figura 58. Prueba de vibraciones en diferentes puntos del equipo 90
Figura 59. Resultado prueba de análisis de vibración, posición A. [Autores] 91
Figura 60. Resultado prueba de análisis de vibración, posición B 92
Figura 61. Resultado prueba de análisis de vibración, posición C. 92
Figura 62. Valores de velocidad de vibración [28]. 93
Figura 63. Tacómetro utilizado para medir los rpm [52] 94
Figura 64. Velocidades verificadas con el tacómetro; a) velocidad de la salida del motor; b) disco pulido basto; c) disco pulido medio y d) disco pulido fino [Autores]. 95
Figura 65. Probetas sin pulir; a) 1045: b) A 36; c) Bronce [Autores] 96
Figura 66. Probetas pulidas a 600 rpm con lija de grano 650; a) 1045: b) A 36; c) Bronce [Autores] 97
Figura 67. Probetas pulidas a 300 rpm con lija de grano 1200; a) 1045; b) A36; c) Bronce [Autores] 97
Figura 68. Probetas pulidas a 100 rpm con lija de grano 2000; a) 1045; b) A36; c) Bronce [Autores] 98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad de trabajo de discos abrasivos [22]. 19
Tabla 2. Tesauros encontrados [Autores] 27
Tabla 3. Ecuaciones de búsqueda [Autores] 28
Tabla 4. Resultados de búsqueda en bases de datos 29
Tabla 5. Especificaciones de rendimiento [Autores] 35
Tabla 6. Máquina GRIDNING-POLISHING [Autores] 36
Tabla 7. Pulidora MP-2CE [Autores] 37
Tabla 8. Criterios de selección de estructura [autores] 41
Tabla 9. Coeficiente de fricción de materiales comunes sobre metal [42]. 47
Tabla 10. Interpolación factor de corrección K1 [autores]. 52
Tabla 11. Interpolación potencias nominales en bandas [Autores] 53
Tabla 12. Interpolación para hallar Htab [Autores] 53
Tabla 13. Tamaños mínimos de la soldadura en filete [46] 67
Tabla 14. Propiedades del material de la estructura [Autores] 70
Tabla 15. Propiedades del mallado [Autores]. 71
Tabla 16. Propiedades del material del eje [Autores] 74
Tabla 17. Sujeciones en el eje [Autores] 75
Tabla 18. Fuerzas que actúan en el eje [Autores] 75
Tabla 19. Materiales principales para construcción del equipo [Autores]. 77
Tabla 20. Equipos utilizados en principales componentes del equipo [Autores] 77
Tabla 21. Consumibles utilizados en la construcción de la pulidora [Autores]. 78
Tabla 22. Tabla de perfiles angulares por el software SOLIDWORKS [Autores] 80
Tabla 23. Matriz de decisión carcasa [Autores]. 82
Tabla 24. Propiedades del motor [Autores] 84
Tabla 25: Resultados de promedios de amplitudes [Autores] 94
Tabla 26. Especificaciones técnicas del Tacómetro [52]. 94
Tabla 27: elementos utilizados para las pruebas del equipo [Autores]. 96

RESUMEN

El siguiente trabajo comprende el diseño e implementación de un equipo de pulido de probetas metalográficas como dotación para el laboratorio de tribología y tratamientos térmicos de la Universidad del Atlántico, a lo largo del proceso de implementación, se realizaron validaciones a la máquina, adicional a este trabajo, se tomó como consideración que los parámetros para el diseño de la máquina sean funcionales y seguros. El equipo tiene elementos didácticos e intercambiables, para que con ligeras modificaciones se pueda realizar ensayos de pulido con diferentes materiales. La metodología empleada para el diseño tuvo como finalidad complementar lo obtenido en los cálculos realizados con los resultados que arrojaron las simulaciones en el software SolidWorks, de esta manera, proceder a seleccionar los elementos necesarios para la construcción del equipo, y su puesta a punto.

Palabras claves: Pulido, tribología, metalografía, diseño, implementación.

ABSTRACT

The following work covers the design and implementation of a polishing equipment of metallographic specimens as endowment for the laboratory of tribology and thermal treatments of the Atlantic University, for the implementation, validations were made to the machine, additional to this work, it was taken as a parameter for the design that the machine is functional. The equipment has didactic and interchangeable elements, so that with small modifications polishing tests with different materials can be carried out. The methodology used for the design was intended to complement what was obtained in the calculations made with the results of the simulations in the SolidWorks software, in this way, proceed to select the necessary elements for the construction of the equipment, and its implementation.

Keywords: Polishing, tribology, metallography, design, implementation.

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad con el deseo de evolucionar y facilitar el trabajo ha recurrido a desarrollar nuevas y mejores tecnologías en las áreas en las que ha necesitado, por ejemplo, en el campo de la metalografía al principio se utilizó para comprender las propiedades de los materiales, realizar distintos análisis químicos y los ensayos mecánicos; con el paso del tiempo y al aplicar estos distintos métodos en los diferentes metales o la aleación, estos no quedaban completamente caracterizados. La metalografía proporciono una información muy valiosa en cuanto a los parámetros de grano de los materiales y de los variables que modificaban propiedades como la dureza, resistencia a la tracción, fatiga, entre otros. La metalografía es como el proceso entre la preparación de una muestra de metal, la evaluación de su microestructura y de sus componentes en una muestra [3]. La importancia de la metalografía, su estudio y análisis radican entonces en una variedad de aplicaciones a nivel industrial como la escogencia del material adecuado o el estudio de piezas rotas, dañadas o desgastadas en industrias manufactureras, incluidas la industria aeroespacial, el automóvil, los troqueles y los moldes [4].

La preparación de muestras metalográficas se basa en una serie de procesos que van desde la elección, medición, trazado y corte de la sección a analizar, la cual generalmente es una pequeña porción del material. Una adecuada preparación es esencial si se quiere observar, identificar, documentar y medir la verdadera microestructura. De hecho, cuando los metalúrgicos tienen dificultad para ver o medir microestructuras, estos problemas casi siempre se pueden remontar a procedimientos de preparación incorrectos o a mala ejecución de los pasos [5]. Por lo cual, muchos metales y aleaciones se pueden preparar usando una secuencia similar de desbaste y pulido, y algunos requerirán combinaciones específicas de material abrasivo y de soporte, pero un número sorprendente puede manejarse con el mismo procedimiento solo que las principales diferencias estarán en el pulido final [6].

El propósito del pulido es reducir la rugosidad de la superficie al nivel deseado obteniendo una capa especular. En general, el proceso de pulido implica en primer lugar eliminar ralladuras, marcas de mecanizado, hoyos y otros defectos antes de obtener finalmente el acabado superficial deseado [7]. En la industria manufacturera, el pulido de moldes y matrices consume grandes cantidades de recursos y tiempo. Este gran porcentaje de tiempo es indicativo de la complejidad de los movimientos de la herramienta necesarios, la amplia variedad de herramientas utilizadas, así como la medición y el registro de la calidad de la superficie durante el proceso [8]. A partir de la implementación de este dispositivo, se espera generar un aporte significativo para asignaturas como materiales de ingeniería, tratamientos térmicos, procesos de manufactura, áreas de estudio como la tribología, entre otras, convirtiéndose en una base fundamental que motive la investigación y el desarrollo de nuevas metodologías y tecnologías enfocadas en el pulido metalográfico.

En el presente trabajo se expone el diseño y construcción de una pulidora metalográfica, máquina que hará parte del laboratorio de tribología y tratamientos térmicos de la Universidad del Atlántico ubicado en el Centro de Laboratorios y Talleres de Ingeniería (CELTI), donde prestará sus servicios didácticos e investigativos a la universidad.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Implementar una pulidora metalográfica de tres discos para el laboratorio de tribología y tratamientos térmicos de la Universidad del Atlántico.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Diseñar la estructura, el sistema de fijación de los componentes y el sistema de pulido para 3 discos con velocidad constante: 100 RPM, 300 RPM y 600 RPM, validando el diseño mediante un software CAD.

2. Construir la pulidora metalográfica que cumpla con los parámetros y requisitos establecidos en el diseño.

3. Verificar el funcionamiento de la máquina para su posterior instalación en el laboratorio de Tribología y Tratamientos Térmicos ubicado en el Centro de Laboratorios y Talleres de Ingeniería (CELTI) de la Universidad del Atlántico.

4. Elaborar el manual de operación y mantenimiento de la pulidora metalográfica para su uso en el laboratorio de Tribología y tratamientos térmicos.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En ocasiones el sector industrial se apoya en las Universidades y centros de investigaciones al no contar con los recursos necesarios para realizar las pruebas a un determinado sistema antes que éste sea implementado, aportando al desarrollo académico e investigativo. Debido a esto NARANJO y RACINES [19], construyeron una máquina desbastadora para probetas metalográficas, con el fin de obtener un nuevo equipamiento y poder impartir de una mejor manera el desarrollo del laboratorio de metalografía, como también prestar un servicio al sector productivo. Al igual LLUMIQUINGA y QUISPE [10] diseñaron y construyeron un banco metalográfico con equipos de desbaste, pulido, ataque químico y un microscopio metalográfico, para fortalecer las falencias en el conocimiento sobre resistencia de materiales en su universidad.

En los laboratorios de metalurgia de la FIM-E PAREDES Y VIVANCO [11], en Ecuador contaban con equipos para realizar pulidos de probetas metálicas de manera adecuada pero demorada, para dar solución a esta problemática se optó por implementar un sistema de pulido de probetas metálicas (capacidad para 4 probetas por hora) para sus laboratorios y satisfacer la necesidad de realizar el trabajo de una manera más rápida y sencilla, y así brindar un buen servicio tanto a los Ingenieros Mecánicos como a personas en general. Como también CARDENAS y CARRERA [12], contaban con una pulidora de probetas con una opción fija de revoluciones, lo cual aumentaba el tiempo de la preparación de las probetas y retrasaban la culminación de los ensayos, por esta razón diseñaron y construyeron un equipo de pulir con paño para los laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana – Campus Kennedy, con ello buscaban reducir el tiempo que conlleva la preparación de las probetas, obtener un rango de al menos 3 velocidades de pulido adecuadas e incrementar la capacidad del laboratorio de metalografía. A su vez LIMA et al [13]. Diseñaron y construyeron una máquina semiautomática para el lijado de muestras

metalográficas planas, en la cual buscaban la realización de lijado de ocho muestras simultáneamente y controlar el tiempo del proceso de lijado de las muestras, la energización de los motores y la velocidad del motor que hacía girar el disco porta muestras.

No solo en otros países, también en Colombia las universidades tienen falencias para brindar una educación plena a sus estudiantes debido a su carencia de equipos en los laboratorios de algunas asignaturas, por eso algunos estudiantes han optado por donar equipos para la adecuación de dichos laboratorios, como BELLO y PARDO [14], que decidieron diseñar y construir una pulidora de disco y una pulidora de bandas metalográfica para el laboratorio de metales y tratamientos térmicos de la Universidad Santo Tomas y así solucionar la necesidad de adquirir equipos con que dotar los laboratorios y mejorarlos para elevar el nivel académico en su universidad. También HIGUERA et al [2] en su investigación diseñaron y construyeron una pulidora metalográfica bajo los lineamientos de la norma técnica ASTM E – 3, para preparación de probetas ferrosas y no ferrosas, obteniendo en menos tiempo de ensayo superficies más uniformes que las obtenidas en mayor tiempo mediante el desbaste manual.

La Universidad del Atlántico en su programa de Ingeniería Mecánica se encuentra en un proceso de adecuación de sus instalaciones para la creación de laboratorios de las diferentes áreas de dicho programa. Estos laboratorios serán provistos con sus respectivos equipos para el desarrollo de sus diferentes practicas e investigaciones. Este trabajo de grado está enfocado en el laboratorio de Tratamientos Térmicos y tribología, el cual será usado en las prácticas de asignaturas como Materiales de Ingeniería, Tribología, Tratamientos Térmicos, Resistencia de Materiales, Procesos de Manufactura I, Procesos de Manufactura II y Metalografía, como complemento del conocimiento adquirido en cada una de estas. La falta de algunos equipos en los laboratorios limita los procesos de investigación que han sido visionados por la universidad y la Facultad de Ingeniería. La adquisición de los equipos para el laboratorio de Tratamientos Térmicos mejora la calidad de educación, crea un sentido

de pertenencia en los estudiantes con su universidad y facilita la investigación. Por lo tanto, la actual investigación tiene como finalidad la realización de una pulidora metalográfica, la cual es indispensables en los procesos de aprendizaje de los estudiantes del programa de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Atlántico, porque les permitirá la verificación de conceptos teóricos mediante la interacción directa con el fenómeno abordado y estará ubicada en Centro de Laboratorios y Talleres de Ingeniería (CELTI), donde prestará sus servicios didácticos e investigativos a la universidad.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Tribología

El nacimiento de la tribología se reconoce el 9 de marzo de 1996, debido a que este concepto fue utilizado por la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de la Gran Bretaña en un informe elaborado por ellos. La palabra tribología deriva del griego tribos y logia que significa fricción y estudio respectivamente, el significado más reciente y amplio la define como el estudio de la fricción, lubricación y el desgaste [15,16].

Hoy en día es considerada como una disciplina de reducción de costos y recursos humanos, esto debido a que el desgaste y la corrosión son dos factores importantes, que implican perdidas en las industrias, la sociedad actual ha entendido, que se requiere un cambio en torno a la educación, técnica y práctica, un cambio de actitud y sobre todo un cambio de filosofía para mejorar la confiabilidad, la seguridad y tiempo de vida útil de las maquinas [17,18].

La lubricación es una palabra relacionada con la tribología, esta permite la separación entre dos o más superficies en rozamiento, mediante una capa de baja resistencia

liquida, sólida, o gaseosa; generando así un menor desgaste entre piezas que a su vez implica ahorros a la industria [19].

Al analizar el contacto entre dos superficies, se debe saber que estas están cubiertas de una rugosidad superficial en la que se presentan asperezas, que tiene una distribución de altura aleatoria y que se deforman plástica o elásticamente, bajo una carga normal a ellas, la suma de todos los micro-contactos creados por asperezas individuales, constituye un área de contacto, la cual es una mínima fracción de la geometría del área en contacto, existen factores importantes relacionados al contacto mecánico a los cuales es de vital importancia conocerlos estos son: el valor del coeficiente de fricción y el tipo de desgaste que sufren las superficies; estas dos expresiones dependen de las geometrías de las superficies, las cargas aplicadas, la naturaleza de las superficies, las condiciones de operación, la existencia de una tercera superficie o no, la presencia de lubricantes o no, la presencia de sucios o impurezas que pueden tomar el rol de un abrasivo o no y de muchos otros factores, el contacto mecánico es uno de los parámetros que afectan el comportamiento tribológico de una superficie y puede ser analizado mediante dos áreas de contacto que son: el área aparente y el área real. El área aparente es el área total de las superficies que están en contacto y el área real es la suma de todos los puntos discretos que están en contacto y se encuentra en función de la rugosidad, plasticidad, elasticidad y condiciones de carga aplicada. [20,21].

2.2.2 **Ensayo metalográfico**

A la hora de la caracterización de un material es necesario aplicar un estudio riguroso y de alto nivel, este estudio analiza las características micro estructurales (químicas y físicas) de los materiales (metales o aleaciones) y consta de los siguientes pasos:

A. Corte: se realiza un corte a la Probeta, Utilizando un disco corte por abrasión, existen diferentes tipos de discos, y su uso varía dependiendo del material a cortar,

durante el proceso se suministra una gran cantidad de refrigerante, de esta manera se evita un aumento desmedido de la temperatura (lo cual terminaría afectando las propiedades del material) [6].

B. Incluido metalográfico: la muestra luego de ser cortada se contiene en resina para que sea mejor tratada y almacenada [6].

C. Pulido metalográfico: la etapa de pulido es elaborada primordialmente con paños (que pueden variar según su aplicación), puestos sobre bases giratorias en forma de disco con abrasivos. El pulido se efectúa agarrando la muestra con la mano o por medio de un cabezal automático para pulir una o varias muestras [6].

D. Ataque químico: el uso de un ataque químico depende de los distintos tipos de metales y contextos. Usualmente, el ataque es elaborado por fregado o inmersión con algodón empapado en líquido, manteniendo unos segundos hasta que se revele la estructura. El ataque químico más usado es el compuesto por ácido nítrico y alcohol (Nital), en los metales férricos.

E. Microscopio: El microscopio metalográfico, debido a la opacidad de los metales y aleaciones, opera con la luz reflejada por el metal. Por lo que para poder observar la muestra es necesario preparar una probeta y pulir a espejo la superficie. [22,23,24]. Es importante recalcar que este microscopio opera con lupas estereoscópicas, para mejorar la profundidad del foco y obtener un enfoque tridimensional del espacio observado.

2.2.3 **Normativa en los ensayos de pulido como parte del ensayo metalográfico**

El principal objetivo de un análisis metalográfico es revelar de los metales su constitución, aleaciones y estructura mediante un microscopio óptico o de electrónico. En algunos casos, el análisis puede requerir en el desarrollo con menos detalles que

en otros, pero, en casi la mayoría de las condiciones, la selección y preparación de la muestra es muy importante. Debido a los equipos disponibles y los diferentes de problemas encontrados.

La norma internacional ASTM E3-01 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens [5] trata de las técnicas de para la preparación de probetas metalográficas, iniciando con la selección, seguido con el desbaste y pulido de las muestras a estudiar:

- **Selección de muestras metalográficas.** Para el examen metalográfico es extremadamente importante porque, si su interpretación es valiosa, la elección adecuada de la ubicación y orientación de la muestra minimizará la cantidad de muestras requeridas. Es fácil tomar muy pocas muestras para el estudio, pero rara vez se estudian demasiadas. El examen metalográfico generalmente determinará la ubicación de los especímenes a estudiar como se muestra en la Figura 1.

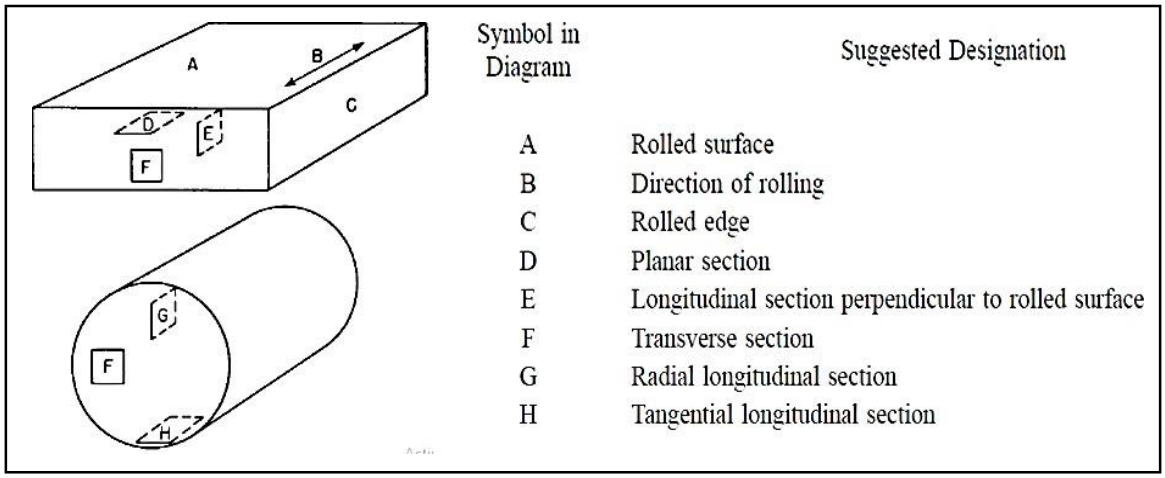


Figura 1. Método de designación de la ubicación del área mostrada en microfotografía [5]

- **Tamaño de las muestras metalográficas.** Las muestras elegidas para pulir generalmente no tienen más de 12 a 25 mm cuadrados (0.5 a 1.0 in.), O 12 a 25 mm de diámetro aproximadamente si el material es cilíndrico. La altura de la muestra no debe ser muy grande para lograr un mejor manejo durante el pulido, las muestras

que son frágiles deben montarse para asegurar una superficie satisfactoria para el estudio microscópico y Las probetas más grandes son las más difíciles de preparar.

- **Corte de especímenes metalográficos.** Al cortar la muestra metalográfica del cuerpo principal del material, se debe tener cuidado para minimizar la alteración de la estructura del metal. El corte, ya sea a mano o en máquina con lubricación, es fácil, rápido y relativamente fresco. Puede usarse en todos los materiales con durezas por debajo de aproximadamente 350 HV. Produce una superficie rugosa que contiene un extenso flujo de plástico que debe eliminarse en la preparación posterior.

- **Limpieza.** Durante la preparación de la muestra es esencial. Todas las grasas, aceites, refrigerantes y residuos de las cuchillas de corte en la muestra deben eliminarse con algún solvente orgánico adecuado. Si no se limpia a fondo puede evitar que las resinas de montaje en frío se adhieran a la superficie de la muestra. La limpieza ultrasónica puede ser efectiva para eliminar los últimos restos de residuos en la superficie de la muestra.

- **Montaje de especímenes.** Hay muchos casos en los que será ventajoso montar la muestra antes de pulir y pulir. El montaje de la muestra se realiza generalmente en muestras pequeñas, frágiles o de formas extrañas, fracturas, o en casos en los que se deben examinar los bordes de la muestra.

- **Recubrimiento de especímenes.** A la Hora de examinar Fracturas o bordes, a menudo se colocan en placas para obtener una buena retención de los bordes. El enchapado se puede hacer electrolíticamente o con soluciones electrolíticas. Estas muestras se montan invariablemente antes de los procedimientos de pulido. Las soluciones de recubrimiento electrolítico se pueden comprar comercialmente.

- **Desbaste y pulido.** Muchos metales y aleaciones se pueden preparar usando una secuencia similar de desbaste y pulido. Las aleaciones duras pueden requerir una

mayor presión que las aleaciones blandas. Las principales diferencias estarán en el pulido final. Algunos metales y aleaciones requerirán combinaciones específicas de material abrasivo y de soporte, pero un número sorprendente puede manejarse con el mismo procedimiento. Los suministros e instrucciones para desbastar, lapear y pulir se obtienen fácilmente en las casas de suministros del laboratorio.

La cantidad de fuerza aplicada junto con la velocidad de movimiento de la muestra durante el desbaste y el pulido es una cuestión de preferencia y experiencia personal como lo muestra la Figura 2. En la preparación de materiales difíciles, como revestimientos o materiales compuestos pulverizados térmicamente, los parámetros de funcionamiento deben controlarse estrictamente.

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force[A] N(lbf)	Platen RPM[B]	Rotation
Planar Grinding						
paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al_2O_3	15–45	20–30 (5–8)	200–300[C]	CO[D]
Fine Grinding						
paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing						
low/no nap cloth	compatible lubricant	6μm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing						
med./high nap cloth	compatible lubricant	1μm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede[E]	water	0.04μm colloidal silica or 0.05μm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA[F]

[A] Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.
[B] Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
[C] High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
[D] Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
[E] Optional step.
[F] Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Figura 2. Métodos de preparación de uso general [5].

El éxito del pulido y el tiempo empleado en la operación dependen en gran manera del cuidado con que se haya realizado el desbaste, mientras sea posible hay que tomar precauciones para que la operación se realice en un ambiente relativamente

limpio de polvo. El pulido final de una probeta metalográfica desbastada se realiza en uno o más discos. Tales discos son, esencialmente, platos de metal de 20 a 25 cm de diámetro cubiertos con un paño de calidad apropiada, los discos giran, generalmente, en un plano horizontal, y es conveniente que cada disco posea su motor individual para facilitar el control y ajuste de la velocidad de rotación [25].

2.2.4 **Análisis de vibraciones**

En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes [26].

El hecho más significativo y de interés para evaluar el estado de un equipo sometido a una o varias actividades que dan lugar a vibraciones, es que procesos mecánicos diferentes de una máquina relacionados con aspectos a controlar, por ejemplo, desbalanceo, desalineamiento, o fallos en rodamientos, producen energía a diferentes frecuencias. Si esas frecuencias diferentes son separadas una de otra con el análisis espectral, entonces se puede identificar el fallo y su desarrollo [27].

2.2.5 **Norma ISO 10816-3**

Los estándares internacionales para la vibración mecánica son ISO-10816 (Vibración mecánica: evaluación de la vibración de la máquina mediante medición en piezas no giratorias). La actual Organización Internacional de Normalización es una versión actualizada de la norma ISO 2372 anterior. La actualización gira principalmente en torno a los criterios de velocidad de vibración. Regulaciones más detalladas han agregado nuevos criterios para evaluar la condición del equipo que utiliza el desplazamiento por vibración, que se emitió en 2001 como el estándar nacional chino GB-T 6075. ISO 10816-3 pertenece a la tercera parte de esta norma, a saber, "Máquinas industriales con potencia superior a 15 KW y velocidad de rotación entre

120 RPM y 5000 RPM-1998". Esta sección describe la categoría de máquina aplicable, los estándares de referencia, el proceso de medición, las condiciones de operación, la clase de máquina y los requisitos de evaluación [28].

En particular, en las secciones sobre el proceso de medición y las condiciones aplicables, la norma aborda el equipo de medición, la posición de medición, el monitoreo continuo y discontinuo, respectivamente. También explica las condiciones de funcionamiento. Por ejemplo, para equipos de monitoreo tales como sensores de monitoreo de condición de vibración, se requiere explícitamente un amplio rango de respuesta de frecuencia de 10Hz-1KHz.

El estándar también entra en detalles sobre la capacidad de medir la vibración en la banda de frecuencia. Dependiendo de la regla de evaluación, puede ser necesario medir el desplazamiento o la velocidad (o ambos). Para velocidades cercanas o inferiores a 600 RMIN, el límite inferior de respuesta de frecuencia del instrumento debe comenzar desde 2 Hz. Al mismo tiempo, también debemos considerar que el sistema de medición no se ve afectado por factores ambientales como la temperatura, el campo acústico, la longitud del cable del sensor, el campo magnético, las variaciones de potencia, la orientación del sensor, etc. [29].

2.3 TIPOS Y ELEMENTOS DE UN EQUIPO DE PULIDO METALOGRÁFICO

2.3.1 Tipos de pulido

2.3.1.1 Pulido mecánico

El término "pulido mecánico" se usa con frecuencia para describir los diversos procedimientos de pulido que involucran el uso de abrasivos finos en telas. La tela se puede unir a una rueda giratoria como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Pulidora metalográfica [30].

Históricamente, los paños se han estirado sobre la rueda y se han mantenido en su lugar con una abrazadera ajustable en la periferia de la platina, o se han mantenido en su lugar con un adhesivo sensible a la presión adherido a la parte posterior del paño. Si una tela estirada se mueve bajo la presión aplicada durante el pulido, el corte será menos efectivo. Si se utiliza un cabezal de pulido automático, es más probable que las telas estiradas se rasguen, especialmente si se están preparando muestras sin montar. En el pulido mecánico, los especímenes se sostienen a mano, se sostienen mecánicamente en un accesorio, o simplemente se confinan dentro del área de pulido.

2.3.1.2 **Pulido electrolítico**

El pulido electrolítico se puede usar para preparar muestras con superficies libres de deformación. La técnica ofrece reproducibilidad y velocidad. En la mayoría de los casos, las instrucciones publicadas para los electrolitos le dicen al usuario que muela la superficie hasta obtener un acabado de grano 600 y luego electropulle durante aproximadamente 1 a 2 minutos.

El pulido electrolítico ha sido más exitoso con metales blandos monofásicos y aleaciones, particularmente donde la respuesta a la luz polarizada necesita ser maximizada.

No se recomienda el pulido electrolítico para el análisis de fallas o el trabajo de análisis de imágenes, excepto posiblemente como un paso muy breve al final de un ciclo de pulido mecánico para eliminar cualquier daño menor que pueda persistir.

2.3.1.3 **Pulido manual (a mano)**

Aparte del uso de paños y abrasivos pulidores mejorados, las técnicas de pulido a mano siguen la práctica básica establecida hace muchos años:

- **Movimiento de la muestra.** La muestra se sujeta con una o ambas manos, según las preferencias del operador, y se gira en una dirección contraria a la rotación de la rueda de pulido. Además, la muestra se mueve continuamente de un lado a otro entre el centro y el borde de la rueda garantiza una distribución uniforme del desgaste abrasivo y uniforme del paño de pulido. (Algunos metalógrafos usan una pequeña rotación de muñeca mientras mueven la muestra desde el centro hasta el borde de un lado de la rueda). Después de cada paso, la muestra se gira de 45 a 90 ° para que la abrasión no sea unidireccional.

- **Presión de pulido.** La cantidad correcta de presión aplicada debe ser determinada por la experiencia. En general, se aplica una presión firme de la mano a la muestra.

- **Lavado y secado.** La muestra se lava con un hisopo con una solución de detergente líquido, se enjuaga con agua corriente tibia, luego con etanol y se seca en una corriente de aire caliente. El alcohol generalmente se puede usar para lavar cuando el portador abrasivo no es soluble en agua o si la muestra no puede tolerar el agua. La limpieza ultrasónica puede ser necesaria si las muestras son porosas o agrietadas.

- **Limpieza.** Las precauciones de limpieza, como se mencionó anteriormente, deben observarse estrictamente para evitar problemas de contaminación. Esto involucra la muestra, las manos del metalógrafo y el equipo.

2.3.1.4 **Pulido automatizado**

El pulido mecánico se puede automatizar en gran medida utilizando una amplia variedad de dispositivos que van desde sistemas relativamente simples, Figura *4*, hasta dispositivos más sofisticados, controlados por microprocesadores o microprocesadores, Figura *5*. Las unidades también varían en capacidad desde un solo espécimen hasta media docena o más a la vez y se pueden usar para todos los pasos de desbaste y pulido.

Figura 4. Beta & Vector grinder/polisher and power head [6].

Figura 5. Buehler Vanguard 2000 fully automatic specimen preparation system [6].

Estos dispositivos permiten al operador preparar una gran cantidad de muestras por día con un mayor grado de calidad que el pulido a mano y con costos de consumibles reducidos. Los dispositivos de pulido automáticos producen la mejor planitud de la superficie y la retención de bordes. Hay dos enfoques para el manejo de especímenes. La fuerza central utiliza un porta muestras con cada muestra firmemente en su lugar. El soporte se presiona hacia abajo contra la superficie de preparación con la fuerza aplicada a todo el soporte. La fuerza central produce la mejor retención del borde y la planitud de la muestra. Si los resultados después del grabado son inadecuados, las muestras se deben volver a colocar en el soporte y se debe repetir toda la secuencia de preparación. En lugar de hacer esto, la mayoría de los metalógrafos repetirán el paso final manualmente y luego volverán a grabar la muestra.

2.3.1.5 **Pulidores vibratorios**

Los pulidores vibratorios, se usan a menudo para el pulido final, particularmente con materiales más difíciles de preparar, para estudios de análisis de imágenes o para trabajos de calidad de publicaciones.

Figura 6. VibroMet 2 vibratory polisher [6].

2.3.2 **Discos**

Los abrasivos rígidos o aglomerados son piezas indispensables para cualquier herramienta que realice las funciones de lijar, cortar o desbastar un material por fricción, como una pulidora o una esmeriladora. Estas herramientas están compuestas por una malla que tiene como soporte una rueda de fibra de vidrio compactada y sólida lo que le permite una gran resistencia al esfuerzo mecánico soportando grandes temperaturas y altas velocidades las cuales deben venir indicadas por el fabricante en la etiqueta del producto.

Los abrasivos sólidos o aglomerados son partes importantes para cualquier herramienta que haga las funcionalidades de lijar, recortar o desbastar un material por fricción, como una pulidora o una esmeriladora. Estas herramientas permanecen compuestas por una malla que tiene como soporte una rueda de fibra de vidrio compactada y sólida lo cual le posibilita una gigantesca resistencia al esfuerzo mecánico aguantando enormes temperaturas y altas velocidades las cuales tienen que advenir indicadas por el fabricante en la etiqueta del producto.

Tabla 1: Velocidad de trabajo de discos abrasivos [22].

Velocidad de trabajo máxima (m/s)	Franja de colores
50	Azul
63	Amarillo
80	Rojo
100	Verde

2.3.3 Abrasivo metalográfico

Físicamente, un abrasivo metalográfico ideal debe de poseer una dureza relativamente alta; la forma externa de las partículas debe ser tal que presenten numerosas y agudas aristas y vértices cortantes; las partículas, si se rompen durante su uso, deben hacerlo en forma de que se produzcan nuevas aristas y vértices cortantes; por último, la naturaleza del abrasivo debe de ser adecuada para permitir una buena clasificación de las partículas por tamaños [30]. Encontramos abrasivos para pulidos tales como:

- **La alúmina (óxido de aluminio)**. Es, probablemente, el abrasivo más satisfactorio y universal desde el punto de vista metalográfico para pulir materiales ferrosos y de los basados en cobre, La alúmina existe en tres formas cristalográficas distintas: alfa, beta y gamma. De ellas, la alfa y la gamma son las más empleadas como abrasivos [30].

- **Polvo de diamante.** El abrasivo que más se aproxima al ideal es el polvo de diamante no adulterado y bien clasificado. Se ha empleado mucho en el pasado para preparar probetas de aleaciones muy duras, tales como carburos sinterizados de volframio o boro y recientemente se ha extendido su uso, con gran éxito, para el pulido de las aleaciones y metales más comunes [30].

- **Óxido de magnesio.** Que es el abrasivo que suele recomendarse para el pulido final de los metales blandos, tales como el aluminio, magnesio y otros, o para sustituir a

la alúmina en el pulido de las fundiciones y otros materiales relativamente duros, entre otros abrasivos que se emplean a menudo son el óxido de cerio, óxido de cromo y el óxido de hierro [25].

La selección de un paño para pulir depende del material que vaya a pulirse y el propósito del estudio metalográfico. Se pueden encontrar paños de lanilla o pelillo variable, desde aquellos que no tienen pelillo, hasta aquellos de pelillo intermedio.

2.3.4 Sistemas de refrigeración para pulido

2.3.4.1 Refrigeración continua

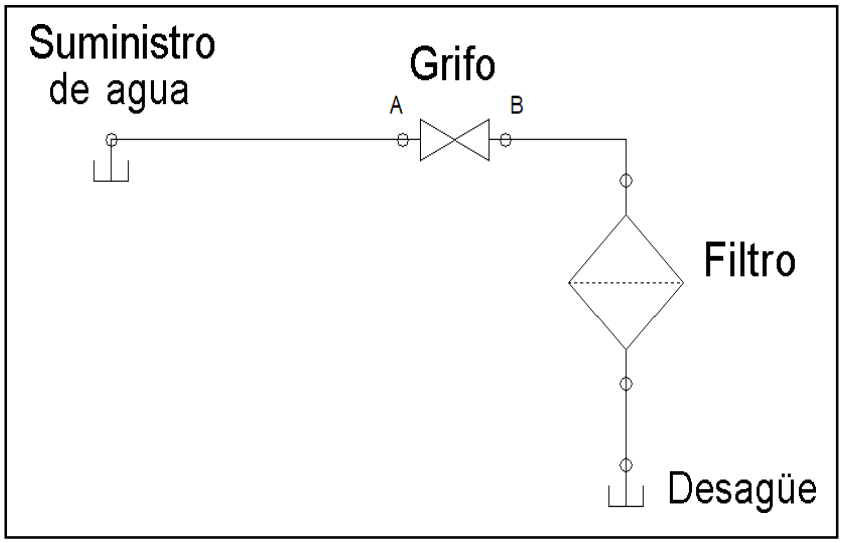


Figura 7. Esquema de sistema refrigeración continua [Autores].

Sistema conformado por grifo (entrada y salida sencillo. Un filtro, suministro de agua y desagüe. no necesita de un espacio considerable para su funcionamiento, es de alta confiabilidad.

2.3.4.2 Refrigeración con retorno

Para implementar el retorno del fluido refrigerante se emplea un sistema de bombeo.

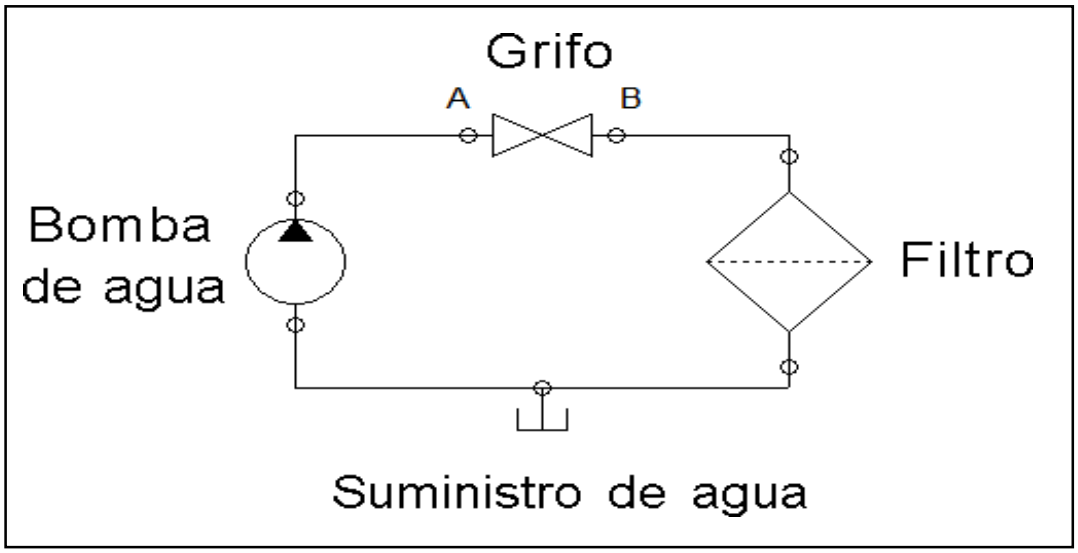


Figura 8. Esquema de sistema refrigeración con retorno [Autores].

Es necesario una bomba para el movimiento del fluido lo que elevaría el costo, la fabricación y complicaría el montaje, se necesita un mantenimiento periódico y un área considerable para su ensamble y funcionamiento y por utilizar una bomba el sistema es muy confiable.

2.3.4.3 **Refrigeración manual**

Este sistema posee como ventajas su reducido costo, facilidad de construcción y montaje

Figura 9. Gotero para sistema de refrigeración manual [Autores].

Este tiene un precio reducido, su construcción y montaje resulta ser muy sencilla, utiliza un espacio muy reducido, su confiabilidad es baja y no asegura una eficiencia en el pulido de las probetas.

2.3.5 **Poleas y correas**

Los sistemas de transmisión de correas y poleas son utilizados para transmitir potencia mecánica entre 2 ejes separados entre sí por una determinada distancia. La transmisión del desplazamiento por correas se debería al rozamiento estático en las poleas, de manera que únicamente va a ser viable una vez que el desplazamiento rotacional y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento, la cual, es dependiente, de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; o sea, del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, etcétera.) y de sus magnitudes.

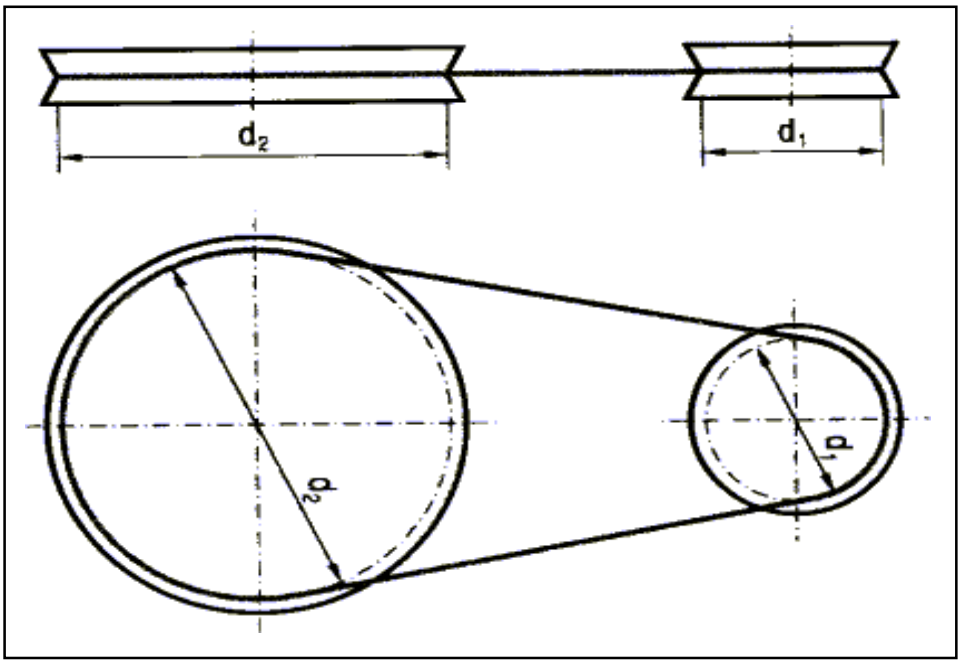


Figura 10. Esquema de polea y correa [31].

Estos sistemas son empleados cuando la potencias a transmitir son bajas entre un eje a otro. Unos de sus principales inconvenientes se deben en el arranque debido a que

el roce entre la correa y la polea produce pérdida de potencia; esto se evita utilizando correas dentadas, que aumentan la sujeción.

2.3.6 **Motor eléctrico.**

Son mecanismos de conversión de energía eléctrica a mecánica mediante campos magnéticos generados gracias a sus bobinas.

2.3.6.1 **Tipos de convertidores de energía**

Existen 3 conceptos fundamentales que utilizan algunas máquinas capaces de convertir algún tipo de energía en energía eléctrica:

- **Generador:** Convierte en energía eléctrica, la energía mecánica. Mediante el movimiento de una bobina en un campo magnético resultando una FEM inducida que al aplicarla a un circuito externo produce una corriente que interacciona con el campo y desarrolla una fuerza mecánica que se opone al movimiento. En consecuencia, el generador necesita una energía mecánica de entrada para producir la energía eléctrica correspondiente.
- **Motor:** los motores transforman energía eléctrica en mecánica, lo cual, logran al introducirles corriente mediante fuentes externas, para que interaccionen con el campo y obtener una rotación de la máquina, mediante una FEM para oponerse a la corriente.
- **Transformador:** convierte energía eléctrica AC con magnitudes de corriente y tensión específica a energía eléctrica AC de magnitudes requeridas.

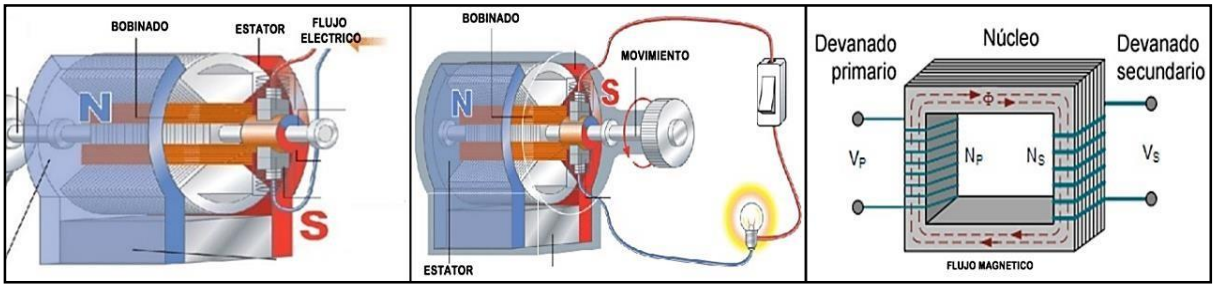


Figura 11. Máquinas Eléctricas (Motor-Generador-Transformador) [32].

Motores y generador poseen un acceso mecánico lo que las hace que están dotadas de movimiento rotacional, en cambio los transformadores son máquinas eléctricas con accesos eléctricos que carecen de movimientos y son máquinas estáticas [33].

2.3.6.2 **Características de operación de motores eléctricos.**

El principal aspecto para la selección de un motor es según la carga a la cual va a estar sometido, desde este punto de vista lo más importante del motor son la fuerza de torque y la potencia, estos dos aspectos varían a su vez de acuerdo con el trabajo que está realizando el motor eléctrico, no es lo mismo un motor en etapa de arranque que un motor cuando ha alcanzado su máxima velocidad, según esto tenemos las siguientes etapas de torque y potencia:

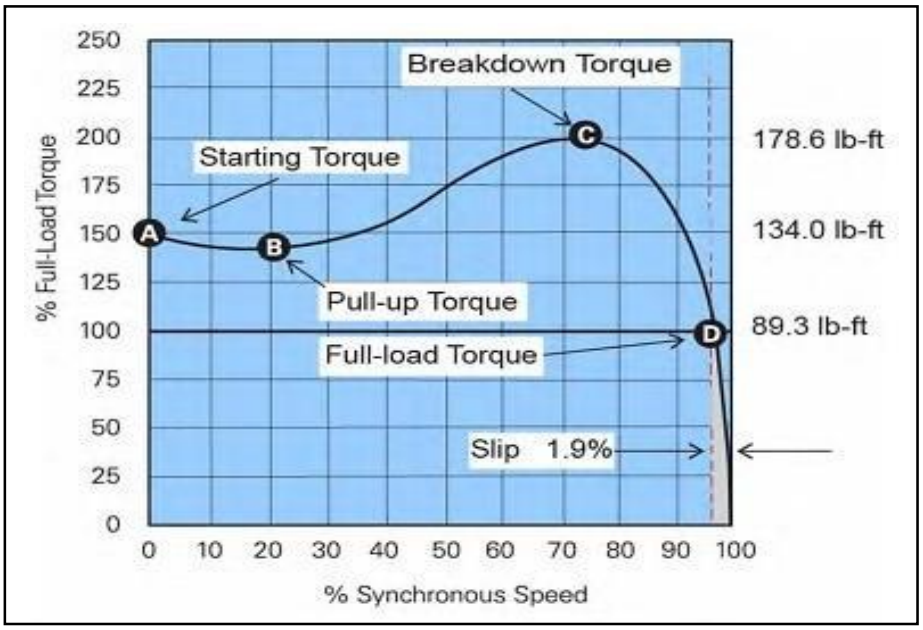


Figura 12. Etapas de Torque y Potencia en el funcionamiento de los motores eléctricos [34].

- Full load torque
- Starting torque – Locked rotor torque
- Break down torque
- Acceleration torque
- Full load speed

2.3.7 **La bancada**

Se refiere particularmente a elemento diseñado y construido para ser la superficie de apoyo y columna vertebral del equipo, caracterizado siempre por su alta rigidez y sobre los cuales juegan parámetros de ingeniería como ergonomía, estabilidad y durabilidad.

La bancada es la estructura metálica sobre la cual van dispuestos todos y cada uno de los instrumentos utilizados para el perfecto funcionamiento de la máquina, desde el motor eléctrico, sistema de refrigeración, sistema eléctrico, rodamientos, entre otros, los cuales, permiten la realización de las pruebas de pulido.

Los bancos de pruebas son dispositivos fundamentales en el progreso de la ciencia y tecnología dado que permiten como su nombre lo indica probar el funcionamiento correcto de alguna pieza o grupo de piezas, ensambles mecánicos, maquinas, equipos rotativos, etc.

Los bancos de pruebas son dispositivos fundamentales que permiten como su nombre lo indica probar el funcionamiento correcto de alguna pieza o grupo de piezas, ensambles mecánicos, maquinas, equipos rotativos, etc.

3 MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo, elaboración y ejecución del proyecto se realizó una serie de pasos y actividades organizadas que permiten garantizar el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos, cuyo cumplimiento significa a su vez que se alcance el objetivo general del mismo [26]. Dado que este proyecto abarca la implementación de una máquina para evaluación de pulido, se considera una investigación de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, ya que su implementación involucra resultados medibles. A continuación, en la figura 13, se exponen de manera grafica los puntos que conforman las etapas de realización del proyecto.

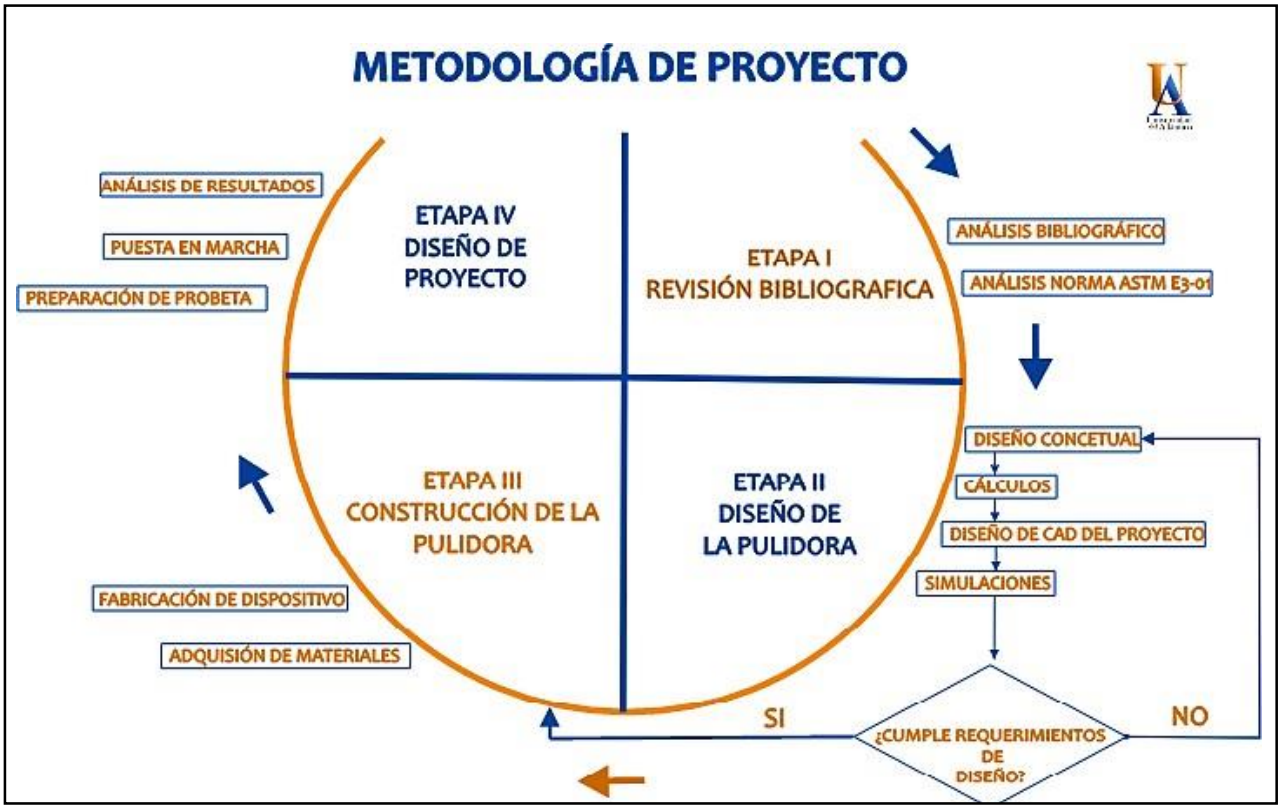


Figura 13 Esquema metodológico [Autores].

3.1.1 **Revisión bibliográfica**

- **Búsqueda bibliográfica.** Para la realización de este proyecto se buscó información referente al tema en la biblioteca de la Universidad del Atlántico, en libros, revistas, artículos, publicaciones especializadas y en documentos encontrados en la red.

  En esta fase se describe la temática a abordar en el estudio, para lo cual tenemos que se trata de: "IMPLEMENTACIÓN DE UNA PULIDORA METALOGRÁFICA PARA EL LABORATORIO DE TRIBOLOGÍA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO" este tema lo sometemos a un análisis para determinar el número de palabras y establecer los conceptos claves, para lo cual se emplea la herramienta https://www.contadordepalabras.com/.

  Una vez realizado el análisis se identificaron las siguientes palabras claves: pulidora, metalográfica, tribología, tratamientos, térmicos, maquinas, acabados, diseño.

  Con las palabras claves descritas anteriormente se realizó la búsqueda de los tesauros para construir las ecuaciones de búsqueda en las bases de datos, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tesauros encontrados [Autores].

Palabras	Sinónimo 1	Sinónimo 2	Sinónimo 3
PULIDORA	PULSADORA	PELADORA	N/A
METALOGRAFICA	N/A	N/A	N/A
TRIBOLOGIA	N/A	N/A	N/A
TRATAMIENTOS	PROCESOS	METODO	PROCEDIMIENTO
TERMICOS	CALIENTE	N/A	N/A

MAQUINAS	APARATO	MECANISMO	HERRAMIENTA
ACABADOS	PULIDO	TERMINADO	N/A
DISEÑO	PROYECTO	BOCETO	BOSQUEJO

Con estos datos se logró encontrar una cantidad especifica de palabras claves, de las cuales se consideraron las más relevantes para la construcción de los algoritmos de búsqueda, las cuales son:

PULSE, POLISHING, PEELING, MACHINE, METALLOGRAPHY, TRIBOLOGY, TREATMENTS, PROCESSES, METHOD, PROCEDURE, HOT, THERMAL, MACHINES, APPLIANCE, MECHANISM, TOOL, FINISHES, POLISHED, FINISHED, DESIGN, PROJECT, SKETCH, SKETCH.

Con estas palabras se construyeron las ecuaciones que se describen en la tabla 3, las cuales se emplearon en las bases de datos de Google Scholar y Scopus.

Tabla 3. Ecuaciones de búsqueda [Autores].

DESIGN AND MACHINE AND POLISHING AND METALLOGRAPHY	**Ec. 1**
DESIGN AND POLISHING IN METALLOGRAPHY AND TRIBOLOGY AND THERMAL TREATMENTS	**Ec. 2**
((CONSTRUCTION OR DESIGN) AND MACHINE AND POLISHING AND METALLOGRAPHY)	**Ec. 3**

- **Adquisición del material bibliográfico.** Se recolectó la mayor cantidad de información referente a los ensayos metalográficos, enfatizándose en el pulido presentado en materiales ferrosos y no ferrosos, además, acerca de tratamientos térmicos que se pueden aplicar sobre los materiales a estudiar, con el fin de ayudar a mejorar sus propiedades mecánicas. También, se tomó como base para la elaboración del trabajo y el diseño del equipo, trabajos realizados anteriormente por otros investigadores.

  Para determinar los documentos que se utilizarían en este proyecto, se consideraron los resultados obtenidos en las bases de datos, estos fueron clasificados de acuerdo a criterios como la fecha de publicación que para efectos de este diseño se definieron en un periodo de 5 años, esto asumiendo los nuevos desarrollos tecnológicos en este campo, también se consideraron aspectos como el campo de estudio y el tipo de documento, este último limitado a artículos y tesis de grado, los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de búsqueda en bases de datos

Bases de datos	Ecuación	Resultados
GOOGLE SCHOLAR	DESIGN AND MACHINE AND POLISHING AND METALLOGRAPHY	180
SCOPUS	DESIGN AND MACHINE AND POLISHING AND METALLOGRAPHY	10
GOOGLE SCHOLAR	DESIGN AND POLISHING IN METALLOGRAPHY AND TRIBOLOGY AND THERMAL TREATMENTS	487
SCOPUS	DESIGN AND POLISHING IN METALLOGRAPHY AND TRIBOLOGY AND THERMAL TREATMENTS	21

GOOGLE SCHOLAR	((CONSTRUCTION OR DESIGN) AND MACHINE AND POLISHING AND METALLOGRAPHY)	367
SCOPUS	((CONSTRUCTION OR DESIGN) AND MACHINE AND POLISHING AND METALLOGRAPHY)	5

3.1.2 **Diseño del equipo**

- **Diseño conceptual:** Con base en la revisión bibliográfica se procedió a establecer una caracterización de los diseños revisados, para luego construir un diseño preliminar ajustado a las necesidades técnicas y académicas previstas para este proyecto. De manera complementaria se fijaron unas pautas sustentadas en el despliegue de la función de desempeño para consolidar el diseño conceptual de la máquina.
- **Análisis del diseño:** Se estudió la información necesaria para conocer el fenómeno del pulido y las pautas para el correcto diseño del equipo, es decir, los lineamientos para que en el equipo se desarrollen las actividades propuestas de la mejor forma. Sin embargo, para garantizar que se puedan realizar ensayos, los parámetros de potencia requerida por el motor, RPM del motor y el diámetro del eje serán seleccionados de tal manera que se pueda cambiar de una a otra de manera sencilla.

- **Creación de las piezas en SOLIDWORKS:** Mediante el software SolidWorks se realizó el Diseño asistido por computador (CAD) de las piezas que componen el equipo, y su posterior ensamble. Previamente se había consultado la disponibilidad de los materiales preseleccionados en el mercado, esto con el fin, que el diseño computacional fuese lo más realista posible, y que al momento de la construcción se tuviese disponibilidad de los recursos.

- **Simulaciones:** Mediante el software SolidWorks, usando el módulo de simulaciones estáticas, se realizaron diversas simulaciones. Esto con el fin de verificar en los componentes más críticos de la máquina, sus cargas permisibles, y validar las deformaciones, las cargas, energía de distorsión y cuanto es el factor de seguridad de los componentes más críticos del equipo.

- **Cálculo conceptual:** Se realizaron cálculos para determinar la potencia mínima y máxima requerida para realizar los diferentes ensayos, y con base a los resultados se seleccionó el motor idóneo para el equipo, lo que se corroboro con los sistemas encontrados en las búsquedas preliminares por fabricantes certificados.

- **Selección de materiales:** Con base a los resultados que se obtuvieron en la etapa de diseño y las simulaciones, se seleccionaron los materiales para construir un equipo de ensayos de desgaste abrasivo lo más robusto posible.

3.1.3 Construcción del equipo

- **Compra de materiales y equipos:** Posterior a la selección de todos los materiales necesarios para la construcción del equipo, se cotizaron con los diferentes proveedores para conocer la disponibilidad, costos y se procedió a realizar la compra de estos.

- **Elaboración de elementos del equipo mediante maquinado:** Para cumplir con el adecuado funcionamiento del equipo, algunos de los componentes se han diseñado con una variedad de forma y tamaño, los cuales no se encuentran en el mercado por lo cual, fue necesaria su fabricación mediante diferentes procesos de manufactura.

- **Ensamble del equipo:** El montaje del equipo se realizó con uniones rígidas y desmontables. Las uniones desmontables están con el fin de que el equipo a futuro tenga piezas intercambiables para permitir su reemplazo de una forma sencilla, en caso de que su funcionamiento normal se vea interrumpido

- **Instalación de elementos eléctricos y electrónicos para funcionamiento e instrumentación del equipo:** Estos elementos son: un motor eléctrico, protección eléctrica y un sistema de ventilación para el motor, por lo que se usaron componentes adecuados para la conexión de estos; además de ello, los elementos de conexión entre componentes de cables y alambres se ubicaron de tal forma que no afectaran el funcionamiento de la máquina, asegurando sujeciones rígidas y seguras en el proceso.

3.1.4 Validación del equipo

- **Puesta en marcha del equipo.** Se posicionó el equipo en su sitio final de trabajo, se verificó que todos sus componentes se encuentren aptos para su adecuada operación, y se realizó su puesta a punto, verificando todos los componentes.

- **Validación**. Luego de la puesta en marcha del equipo y corroborar que todos sus componentes estén en correcto funcionamiento, se produjo a validar el equipo mediante una serie de pruebas de pulido con probetas metálicas en los diferentes discos de pulido del equipo. Con la máquina ya instalada en Centro de Laboratorios y Talleres de Ingeniería (CELTI).

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se describirá al detalle todas las etapas tenidas en cuenta antes, durante y después del desarrollo del diseño de la pulidora metalográfica. Se establecerá la metodología de diseño utilizada para este proyecto.

4.1 MODELO DE DISEÑO

Después de analizar los distintos modelos de diseños encontrados en la literatura, es establecido un modelo de características prescriptivas, teniendo en cuenta que es necesario idear un patrón de actividades de diseño. El modelo de Phal & Beitz [35] este modelo básicamente implanta el proceso y lo divide en 5 etapas que van desde las necesidades del proyecto hasta un resultado personalizado e ideal. Las etapas necesarias para la ejecución del proceso son explicadas en la Figura 14.

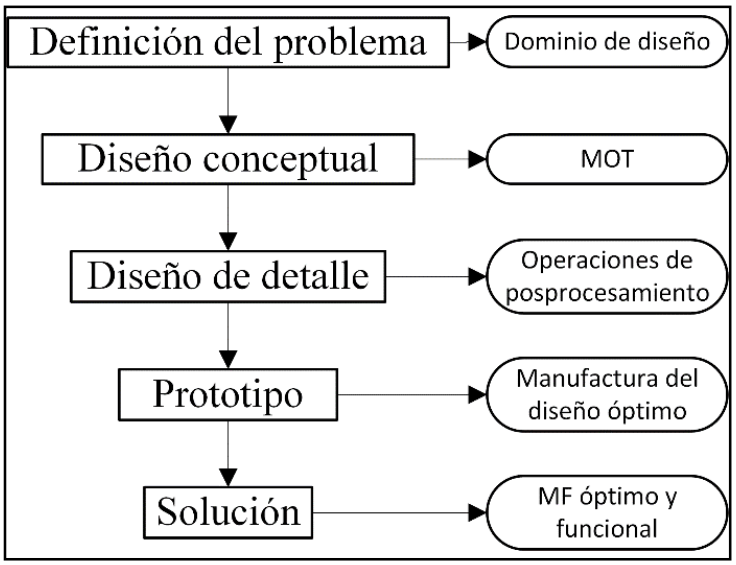
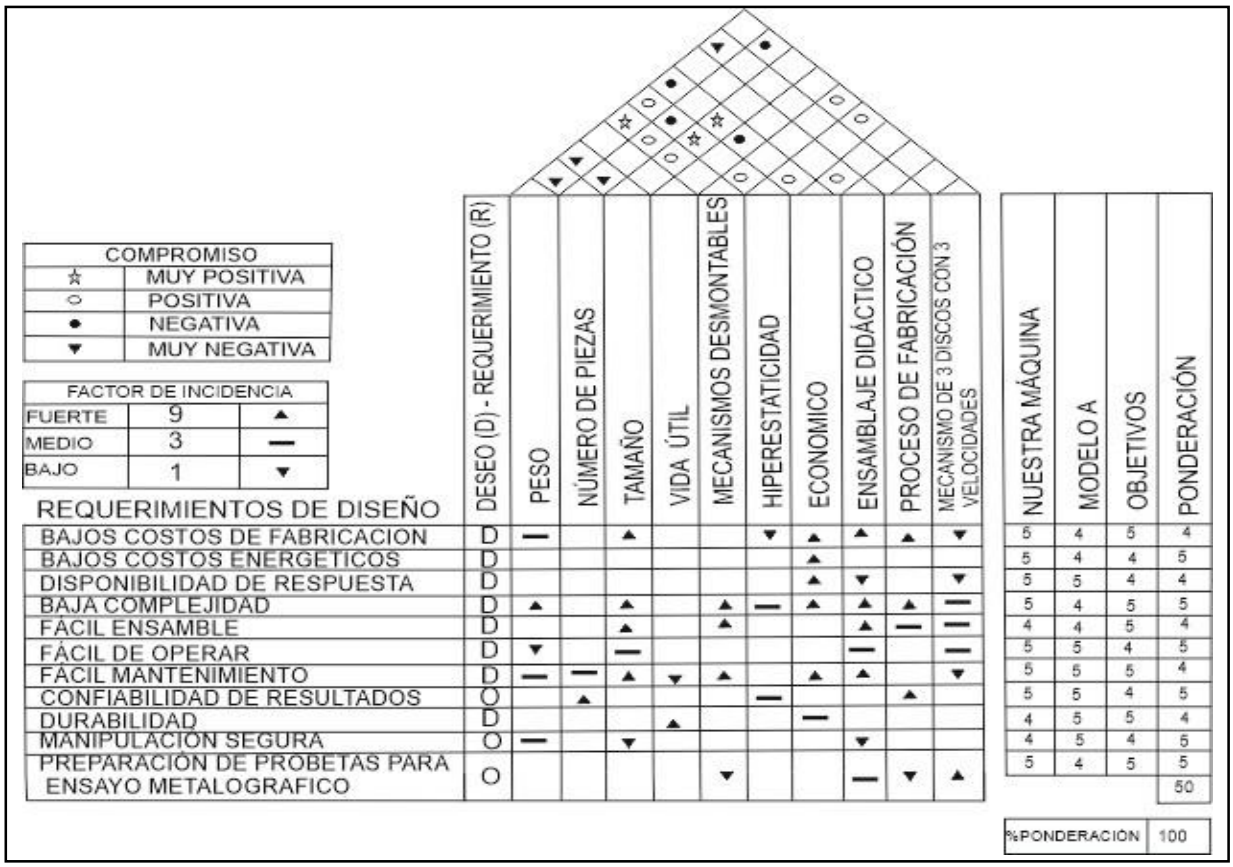


Figura 14. Esquema de la metodología de diseño empleada [35].

4.1.1 Definición del problema

Por la condición del presente proyecto, se estableció que esta fase había sido perfeccionada a lo largo del desarrollo del mismo, sin embargo, las necesidades serán sintetizadas en la matriz mostrada en la Figura 15, donde se observa el diagrama de

la casa de la calidad, en donde se relaciona una serie de requerimientos y características técnicas y comerciales que se traducen en objetivos en función de la calidad de la máquina, que corrobora una serie de ponderaciones cualitativas y cuantitativas contemplándose en un análisis detallado de dichos requerimientos y características.



COMPROMISO	
☆	MUY POSITIVA
○	POSITIVA
●	NEGATIVA
▼	MUY NEGATIVA

FACTOR DE INCIDENCIA		
FUERTE	9	▲
MEDIO	3	—
BAJO	1	▼

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	DESEO (D) - REQUERIMIENTO (R)	PESO	NÚMERO DE PIEZAS	TAMAÑO	VIDA ÚTIL	MECANISMOS DESMONTABLES	HIPERESTATICIDAD	ECONOMICO	ENSAMBLAJE DIDÁCTICO	PROCESO DE FABRICACIÓN	MECANISMO DE 3 DISCOS CON 3 VELOCIDADES	NUESTRA MÁQUINA	MODELO A	OBJETIVOS	PONDERACIÓN
BAJOS COSTOS DE FABRICACION	D	—		▲			▼	▲	▲	▲	▼	5	4	5	4
BAJOS COSTOS ENERGETICOS	D							▲				5	4	4	5
DISPONIBILIDAD DE RESPUESTA	D							▲	▼		▼	5	5	4	4
BAJA COMPLEJIDAD	D	▲		▲		▲	—	▲	▲	▲	—	5	4	5	5
FÁCIL ENSAMBLE	D			▲		▲			▲	—	—	4	4	5	4
FÁCIL DE OPERAR	D	▼		—					—		—	5	5	4	5
FÁCIL MANTENIMIENTO	D	—	—	▲	▼	▲		▲	▲		▼	5	5	5	4
CONFIABILIDAD DE RESULTADOS	O		▲				—			▲		5	5	4	5
DURABILIDAD	D				▲			—				4	5	5	4
MANIPULACION SEGURA	O	—		▼					▼			4	5	4	5
PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO METALOGRAFICO	O					▼			—	▼	▲	5	4	5	5
															50
												%PONDERACIÓN			100

Figura 15. Diagrama de la calidad para la pulidora metalográfica [Autores].

4.1.2 **Diseño conceptual**

Las pulidoras metalográficas cumplen con ciertas características que consecuentemente la lleven a desarrollar su labor de forma correcta y eficiente. Por ende, debe regirse por factores como: ergonomía, altura antropométrica, estética, seguridad, costo y didáctico que será definidos en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones de rendimiento [Autores].

CLIENTE: UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO			FACULTAD DE INGENIERÍA FECHA DE INICIO: FECHA DE FIN:
PROYECTO: PULIDORA METALOGRAFICA DE 3 VELOCIDADES DE GIRO CONSTANTES			
CONCEPTO	**PROPONE**	**TIPO R/D**	**DETERMINACIONES**
FUNCIÓN	C+I		Realizar Pulido a probetas para ensayos metalográficos
	C+I		Realizar pulido a diferentes velocidades
ECONOMÍA	C+I		Que los procesos de fabricación sean sencillos y económicos
	C+I		Ofrezca bajo consumo energético
EFICIENCIA	C+I		Capacidad de ensamble didáctico
	C+I		Funcionalidad operacional
SEGURIDAD	C+I		Garantizar confiabilidad en los resultados
	C+I		Confiabilidad en la manipulación
	C+I		Buena estabilidad en el equipo
MATERIALES	I		Ofrezcan propiedades mecánicas adecuadas al equipo
	C+I		Económicos
	C+I		Disponibilidad en el mercado local
DIMENSIONES	I		volumen aproximado ocupado por la maquina 150x50x30 mm (largo, ancho y alto)
	I		Confiabilidad en la manipulación
MOVIMIENTOS	I		Pequeños movimientos giratorios provocados por un par torsos
	I		Vibraciones generadas por los movimientos en los elementos de transmisión.
FUERZA	I		Rigidez en la estructura para darle máxima vida útil
	I		Desbaste generado por esfuerzo cortante y flector, al contacto con el abrasivo
MANTENIMENTO	I		Adecuado para practicar mantenimiento, predictivo, preventivo y correctivo
	I		Cambio de repuesto de tal forma que no haya daño de la máquina
DURABILIDAD	C+I		Rigidez en la estructura para garantizar larga vida útil
	C+I		Acabado y protección superficial que garantice protección a la estructura
	I		Lubricación adecuada para los distintos mecanismos
	I		Mecanismos que no provoquen mucho desgaste entre las piezas
FABRICACIÓN Y ERGONOMÍA	C+I		Aspecto estético de acuerdo a la maquina
	I		Proceso de fabricación sencillos: (torneado, soldadura, corte, etc.)

En la tabla 5 se pueden observar una descripción esquemática de las prioridades requeridas para el diseño de la máquina, objetivos como la seguridad se hacen altamente relevantes en este proyecto, ya que la preparación de la probeta se debe

realizar con alta precisión para su posterior evaluación. Por otro lado, la eficiencia, que es otro de los factores de suma importancia debido a que garantiza el cumplimiento adecuado de las funciones y operaciones para las cuales fue fabricado el banco.

En ese sentido se realizó una búsqueda abierta en la que se encontraron maquinas con características similares a las descritas anteriormente, las cuales se caracterizaron de la siguiente manera:

1. Máquina GRIDNING-POLISHING

La primera alternativa encontrada para la propuesta de diseño propuesta es la maquina GRIDNING-POLISHING encontrada en la tienda de Amazon, esta cuenta con las características descritas en la tabla 6.

Tabla 6. Máquina GRIDNING-POLISHING [Autores].

Especificaciones técnicas	
Tensión de trabajo	220V 50Hz
Diámetro de disco pulidor	Φ 50-1000rpm de velocidad de 203mm
Diámetro de disco rectificador	Φ 50-1000rpm de velocidad de 230mm
Motor	Élysées7124, 550W
Dimensiones	700mm x 670mm x 320mm
Peso	50kg.

Figura 16. Maquina GRIDNING-POLISHING [36]

En la figura 16 se puede apreciar el diseño presentado por la maquina GRIDNING-POLISHING, el cual es aceptable en cuanto a su estética y características para el proyecto plasmado en este documento.

2. MP-2CE Doble Disco Doble Control Metalografía Pulidora

La última alternativa que se consideró como base del diseño propuesto fue la maquina pulidora IMP-2CE de doble disco, la cual cuenta con las características descritas en la tabla 7.

Tabla 7. Pulidora MP-2CE [Autores].

Especificaciones técnicas	
Tensión de trabajo	CA 220V 50Hz
Diámetro de disco de pulido	Φ 50-1000rpm de velocidad de 203mm
Diámetro de disco de rectificado	Φ 50-1000rpm de velocidad de 230mm
El motor	550 W x 2.
Dimensiones	710 x 680 x 330 mm.
El peso	50kg.

Figura 17. Pulidora MP-2CE [37]

La figura 17 presenta la imagen de la pulidora MP-2CE, siendo esta la última de las alternativas encontradas y seleccionadas para el desarrollo del diseño conceptual del proyecto.

4.1.3 Consideraciones ergonómicas

Siendo de gran importancia dado que el equipo estará siendo utilizado por los estudiantes de la Universidad del Atlántico pasando a ser operarios directos de la máquina, por lo que hay que tener en cuenta que sea un manejo sin necesidad de recurrir a esfuerzos físicos incomodos. Siguiendo este principio estableciendo el percentil 5 de las medidas de los trabajadores colombianos es decir el 95% de la población trabajadora en Colombia no tendrá que realizar ningún esfuerzo extra para poder manejar el equipo, el restante 5% tendrá que realizar un esfuerzo físico.

- **Altura de la mesa:** Tomando como referencia la altura del colombiano entre 20 y 29 años, edad promedio del estudiantado en la Universidad Del atlántico. la altura de la mesa de trabajo deberá estar entre 95 cm y 105 cm [38], en la figura 18 se pueden observar estas recomendaciones.

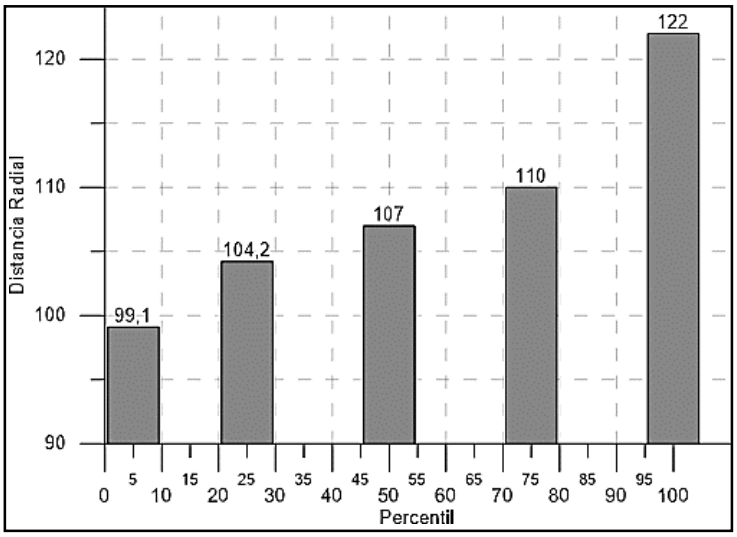


Figura 18. Distancia del piso a la cabeza del hueso radial de los colombianos entre 20 y 29 años [39].

- Distribución del panel de control análogo quedará determinado por una semicircunferencia con centro en el hombro [38] así como las herramientas para alinear motor eléctrico con los discos de pulido.

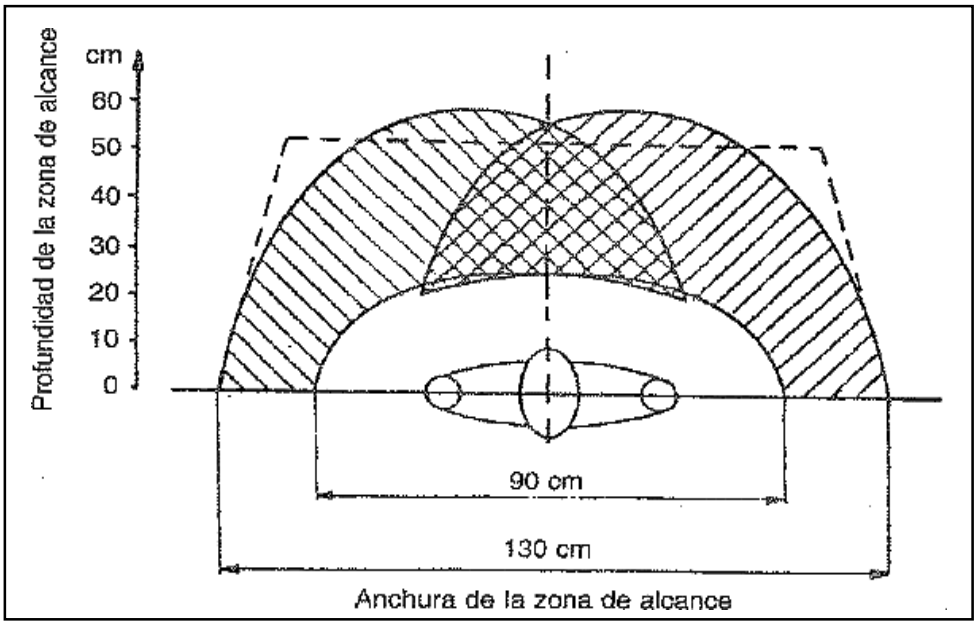


Figura 19. Zona de alcance óptima a la altura de la mesa (según Schmidtke) [38].

- **Versatilidad del banco:** esto va ligado a dos ítems el peso y la movilidad del banco dado que debe ser fácil de llevar por el estudiante/operario al lugar donde estará

dispuesto el banco de MCI donde se realizará la prueba de arrastre, por lo que se usará ruedas adaptadas en la parte inferior del banco para su fácil desplazamiento disminuyendo la carga para la fuerza que debe aplicar el estudiante para mover el banco [40], estas observaciones se pueden apreciar en la figura 19.

4.1.4 Consideraciones de diseño

El equipo se someterá a mover los discos de pulido variando las RPM del motor eléctrico a usar, por medio de una trasmisión por poleas y así mover los discos de pulido a las velocidades requeridas. Es necesario tener una estructura sólida soldada, a la cual, determinadas su espesor y longitud, deben soportar de la mejor manera los esfuerzos a los que estará sometido la máquina y además de soportar los diferentes componentes que constituyen el equipo.

Se creó un diseño lo más ergonómico posible, utilizando los materiales de mejor calidad y buscando la mejor interacción con el medio de trabajo. Como resultado a todos estos aspectos, se obtuvieron 2 alternativas de diseño (Figura 20) del equipo y fue necesario tener en cuenta una serie de consideraciones para lograr el diseño conceptual adecuado y óptimo.

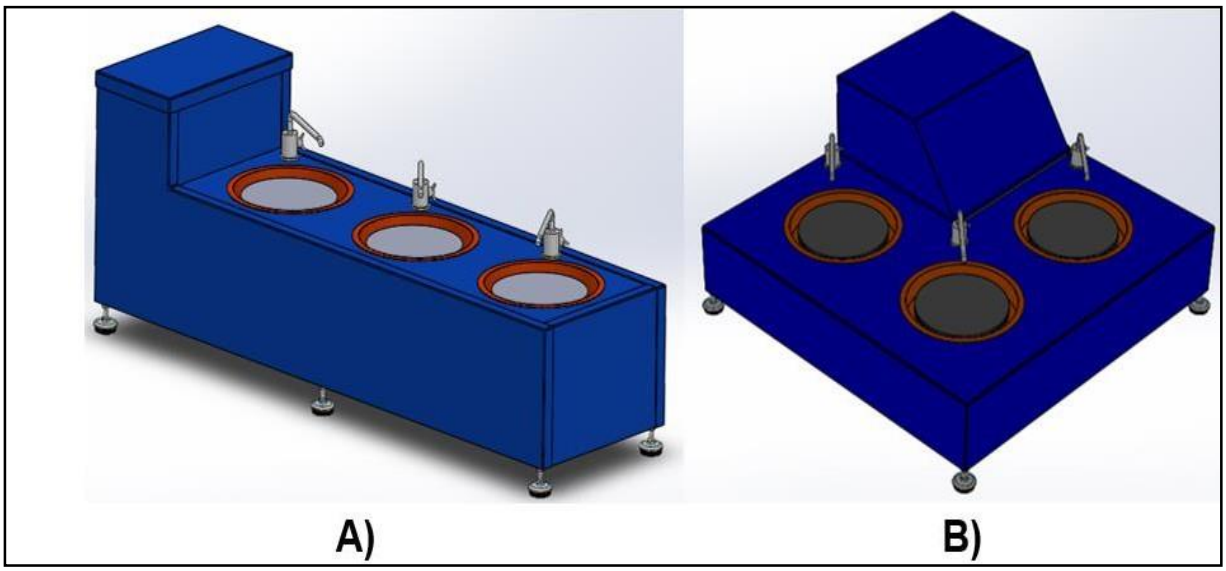


Figura 20. Alternativas de diseño [Autores].

En la figura 20 se muestran las dos opciones de diseño que se tuvieron en cuenta para la construcción del equipo, con base en las alternativas encontradas en el mercado. La opción (a) fue diseñada por requerimiento de espacio, la opción (b) se diseñó para un menor gasto de material.

Los ítems que se usaron para calificar las opciones de estructura fueron:

Peso de la máquina, estabilidad del motor y espacio requerido. El espacio requerido tiene la mayor ponderación debido a que el espacio disponible en el laboratorio es de 0.6 m de ancho, 2 m de largo y 0.7 m de alto. La estabilidad de la estructura hacia el motor tiene la segunda ponderación más alta, debido a que se requiere que el motor se encuentre bien posicionado y así se reduzcan vibraciones y el peso de la maquina tendrá la menor ponderación, debido que no se requiere traslado del equipo.

El puntaje asignado será de 1 a 5, siendo 5 favorable y 1 muy desfavorable.

Tabla 8. Criterios de selección de estructura [autores].

OPCIÓN	DISEÑO A	DISEÑO B
PESO DE LA MÁQUINA (10%)	2	4
ESTABILIDAD DEL MOTOR (40%)	4	4
REQUERIMIENTO DE ESPACIO (50%)	5	2.5
TOTAL	**4.3**	**3.25**

Los resultados obtenidos de nuestros criterios de diseño mostrados en la Tabla 8, nos muestra que, el diseño (A) obtuvo la mayor ponderación, por lo cual se optó a implementar dicha estructura.

4.1.5 **Diseño al detalle**

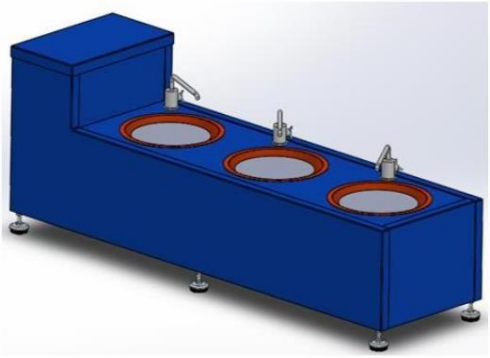
En esta fase se generaron los planos del diseño para proceder a su posterior

fabricación y ensamblaje final, esto primeramente definiendo un análisis de las funciones, en el cual se consideraron las funciones principales del sistema y cómo estas se pueden abordar en un orden lógico, esto se determinó a través del método de la caja negra, la cual se puede observar en la figura 21. Con esto se confirma que es un producto que cumple con todas las necesidades requeridas por los diseñadores e impuestas por la naturaleza de la máquina. En el Anexo 9**:** Plan de mantenimiento preventivo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Nombre del operador			
Fecha de revisión	Día:	Mes:	Año:
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO DIARIO		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
limpieza de la maquina			
Secado de discos de pulido			
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO SEMANAL		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
Engrase de rodamientos			
Lubricación de ejes			
Limpieza e inspección visual del equipo			
Limpieza de los recolectores de agua			
Limpieza de los filtros			
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO MENSUAL		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
Nivel aceite del motor			
Voltaje del motor			
Amperaje del motor			
Ajuste de las correas y las poleas			
Alineación de los ejes			
Estado del cableado			
Tuberías de entrada y salida de agua			
Limpieza de los grifos			
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO SEMESTRAL		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
Desgaste y tensión de las correas			
Descaste en los canales de las poleas			
Chequeo embobinado del motor			
Arranque del equipo sin carga			

Anexo 10: Ficha técnica pulidora metalográfica.

FICHA TÉCNICA PULIDORA METALOGRÁFICA



Descripción

- **Dimensiones:**
  1600 mm x 500 mm x 300 mm (largo, ancho y alto)
- **Motor:**
  1 HP trifásico 220/440 V - 60 HZ
  1200 rpm.
- **Velocidades de pulido:**
  600, 300 y 100 rpm.

MATERIALES

ESTRUCTURA: ASTM A36
EJES: AISI SAE 1045 ESTIRADO EN FRIO
DISCOS DE PULIDO: ASTM A36
DISCOS DE AJUSTE EJE Y PULIDO: ASTM A36
POLEAS: ALUMINIO
CARCAZA: FIBRA DE VIDRIO

FUNCIÓN

Pulido de probetas metálicas, para su respectivo ensayo metalográfico.

OPERACIÓN

Se coloca la probeta sobre el paño o lija localizados en los discos de pulidos, ejerciendo una leve presión sobre ellas, por cortos periodos de tiempo.

VENTAJAS

- Fácil manejo y operación
- Hasta 3 operarios por maquina
- Fácil arme y desarme
- Fácil mantenimiento
- Diferentes tipos de pulido

, se puede observar el plano de la estructura.

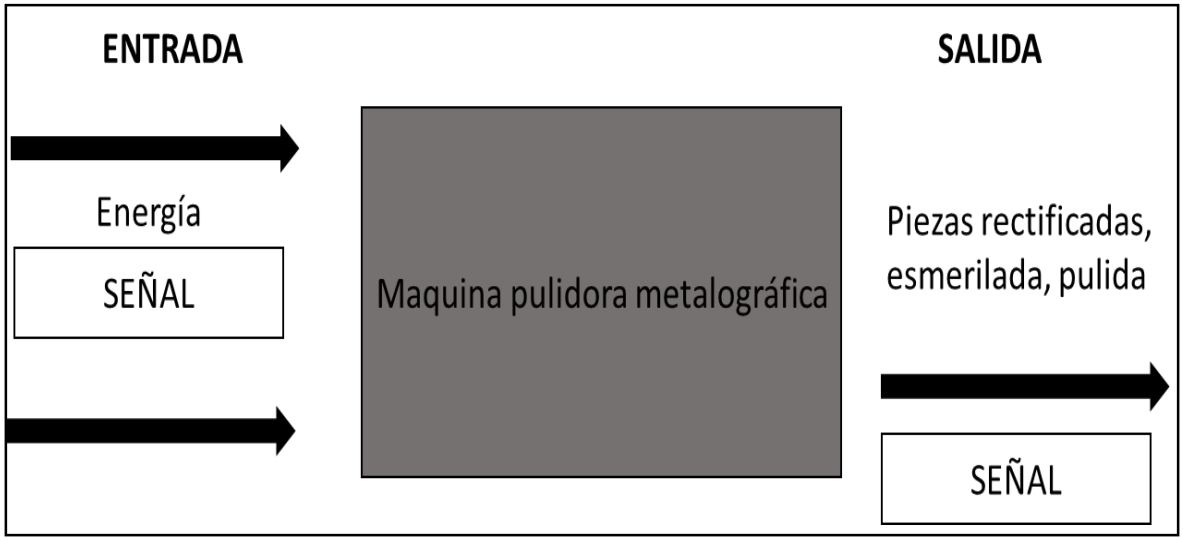


Figura 21. Caja negra del sistema [Autores].

Vale la pena destacar que en el diseño definitivo se consideraron de manera adicional criterios adoptados en las alternativas encontradas en la búsqueda preliminar, los cuales se pueden apreciar en la casa de la calidad planteada para esta decisión en la figura 22.

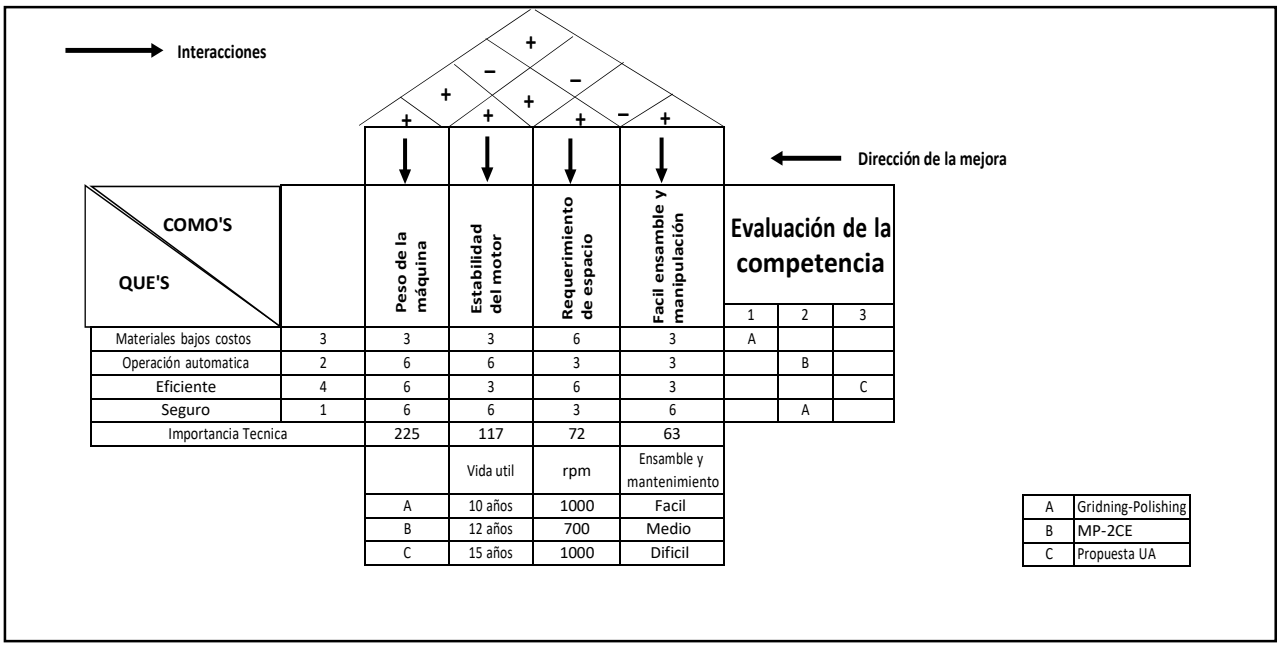


Figura 22. Casa de la calidad para el diseño de maquina seleccionado [Autores].

4.2 CÁLCULOS TEÓRICOS

4.2.1 Potencia requerida del motor

La potencia requerida se calculó definiendo inicialmente las cargas que actúan sobre este: las pesas aplicadas sobre el brazo de la máquina (considerando la de mayor magnitud), la velocidad máxima de rotación del motor, y el tamaño del disco a emplear, adicionalmente se consultó la página web de IMOCON el cual es un fabricante garantizado de esta serie de máquinas, el cual permitió abordar un cálculo más coherente con la realidad plasmada [41].

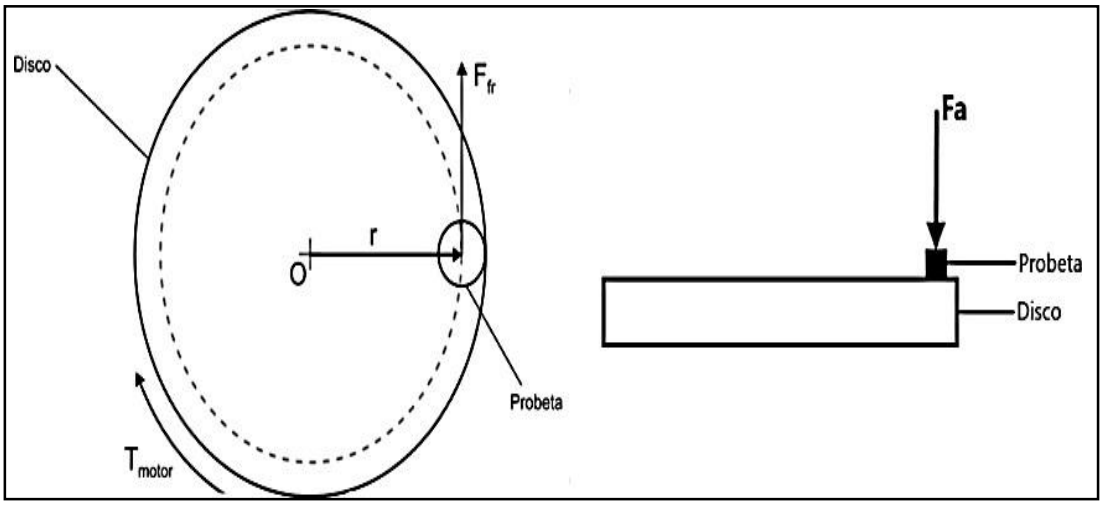


Figura 23. Diagrama de cuerpo libre disco [Autores].

Para calcular la fuerza tangencial, se utilizará la ecuación:

$$F_{fr} = F_a * \mu \tag{4.1}$$

Donde:
$F_{fr} = Fuerza\ tangencial\ (N)$
$F_a = Fuerza\ aplicada\ al\ disco\ (N)$
$\mu = Coeficiente\ de\ rozamiento$

Tabla 9. Coeficiente de fricción de materiales comunes sobre metal [42].

MATERIAL DE FRICCIÓN	**MATERIAL DE FRICCIÓN**	
	En seco	En aceite
Compuestos moldeados	0.25 - 0.45	0.06 - 0.10
Materiales tejidos	**0.25 - 0.45**	0.08 - 0.10
Material sinterizado	0.15 - 0.45	0.05 - 0.08
Corcho	0.30 - 0.50	0.15 - 0.25
Madera	0.20 - 0.45	0.12 - 0.16
Hierro fundido	0.15 - 0.25	0.03 - 0.06
Con base de papel	-	0.10 - 0.15
Grafito/resina	-	0.10 - 0.14

Reemplazando los datos se obtiene:

$$F_{fr} = 30\ N * 0.45$$

$$F_{fr} = 13{,}5\ N$$

Una vez determinada la Fuerza tangencial, podremos obtener el torque con la siguiente ecuación:

$$T = F_{fr} * r \tag{4.2}$$

Donde:

$T = Torque\ (Nm)$
$r = Radio\ de\ disco\ de\ pulido\ (m)$

El disco de pulido donde se le aplicará la fuerza tiene un diámetro útil de 250 mm (0.250 m).

Reemplazando, se obtiene:

$$T = 13.5\ N * 0.125\ m$$
$$T = 1.6875\ Nm$$

Una vez obtenido el torque, procedemos a calcular la potencia.

$$P_r = T * w \tag{4.3}$$

Donde:

$P_r = Potencia\ requerida\ (W)$
$w = Velocidad\ angular\ del\ disco\ (rad/s)$

Empleando como base las velocidades de rotación requeridas por los 3 discos de pulido a (600 rpm, 300 rpm y 100 rpm) respectivamente; como resultado se obtienen los valores de potencia requerida para vencer la fricción estática del sistema.

$$W = (n\frac{rev}{min})\,(2\pi\frac{rad}{rev})\,(\frac{min}{s}) \tag{4.4}$$

Resolviendo obtenemos:

$$W_{d1} = (600\frac{rev}{min})\,(2\pi\frac{rad}{rev})\,(\frac{1\ min}{60\ s}) = 62.83\,(\frac{rad}{s})$$
$$W_{d2} = (300\frac{rev}{min})\,(2\pi\frac{rad}{rev})\,(\frac{1\ min}{60\ s}) = 31.81\,(\frac{rad}{s})$$
$$W_{d3} = (100\frac{rev}{min})\,(2\pi\frac{rad}{rev})\,(\frac{1\ min}{60\ s}) = 10.47\,(\frac{rad}{s})$$

Al realizar la sumatoria total de las velocidades angulares y Remplazando en la ecuación (4.3) obtenemos una potencia total de:

$$P_r = 1.6875\ Nm * 105.11\ (\frac{rad}{s}) = 177.3731\ W$$
$$P_r = 177.3731W * (\frac{1\ HP}{746\ W})$$
$$P_r = 0.2378\ HP$$

Para hallar la potencia del sistema, utilizamos un factor de servicio (1.15) estipulado por el fabricante, utilizando la ecuación:

$$P_s = P_r * FS \tag{4.5}$$

Donde:

$P_s = Potencia\ del\ sistema\ (HP)$
$FS = Factor\ de\ servicio$

- Eficiencia IE1 hasta tamaño constructivo AH 355 (Norma IEC 60034-30)
- Tensiones conmutables (220/380/440V) para tamaños (AH80 al AH250), 440V para AH 280 en adelante a 60Hz.
- Excede ampliamente el rango de la norma para variaciones de tensión y frecuencia, permitiendo valores de (+/-10%) en tensión y (+/- 5%) en frecuencia.
- Posibilidad de arranque Y - Δ en todos los tamaños constructivos para tensiones de 220V y 440V.
- Los motores Siemens son fabricados con materiales clase térmica F (155 °C), pero en su operación alcanzan únicamente la sobreelevación de temperatura B (130 °C), permitiendo una reserva térmica de sobrecarga.
- Tipo de servicio: S1
- Factor de servicio en todas las potencias (FS): 1.15.
- Temperatura ambiente de operación: -15/40 °C.
- Aptos para ser accionados con variador de velocidad

Figura 24. Características de los motores eléctricos [43].

Reemplazando obtenemos:

$$P_s = 0.2387\ HP * 1.15$$
$$P_s = 0.2743\ HP$$

Consideraremos que el motor tiene un rendimiento del 65 %, calculado con la ecuación (3.6).

$$P_m = \frac{P_s}{\eta} \tag{4.6}$$

Donde:

$P_m = Potencia\ del\ motor$
$\eta = Rendimiento\ del\ motor$

reemplazando obtenemos:

$$P_m = \frac{0.2742\ HP}{0.65}$$
$$P_m = 0.4220\ HP$$

4.2.2 Cálculo de poleas

La relación entre las velocidades de rotación entre 2 poleas conectadas entre sí, donde una de ellas ejerce fuerza sobre la otro, se debe a la diferencia de diámetros de las poleas, que implica una diferencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes, esto se da mediante la fórmula de relación de transmisión mostrada en la ecuación (4.7).

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \tag{4.7}$$

Donde:
$i = Relacion\ de\ transmision$
$D_1 = diametro\ polea\ motriz$
$n_1 = revoluciones\ polea\ motriz$
$D_2 = diametro\ polea\ conducida$
$n_2 = revoluciones\ polea\ conducida$

Polea motor 1200 rpm a polea eje 600 rpm

$$4\ in * 1200\ rpm = d_2 * 600\ rpm$$
$$d_2 = 8\ in$$

Polea eje 600 rpm a polea eje 300 rpm

$$4\ in * 600\ rpm = d_2 * 300\ rpm$$
$$d_2 = 8\ in$$

Polea eje 300 rpm a polea eje 100 rpm

$$4\ in * 300\ rpm = d_2 * 100\ rpm$$
$$d_2 = 12\ in$$

4.2.3 **Selección de las bandas.**

Para diseñar la banda partimos de los siguientes parámetros y considerando las ecuaciones de cálculo del libro Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica, octava edición, año 2008: Capítulo 17 [44].

El sistema para transmitir el movimiento de giro del motor al sistema de pulido está conformado de los por los elementos mostrados en la Figura 25.

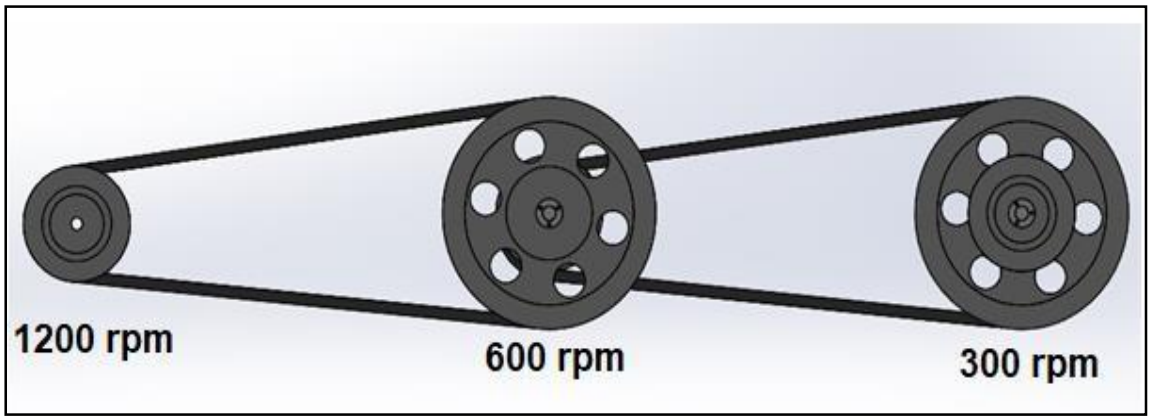


Figura 25. Vista superior mecanismo de transmisión [Autores].

A. Selección de la banda de 1200 rpm a 600 rpm

$Transmisión = banda\ abierta$
$Polea\ motor\ (d) = 4\ in\ ;\ n = 1200\ rpm.$
$Polea\ eje\ (D) = 8\ in;\qquad n = 600\ rpm.$
$Distancia\ entre\ centros\ (C) = 13.7795276\ in$
$Asumimos\ un\ tipo\ de\ banda = A46$ (Anexo 1)

Longitud de paso

$$L_p = L + L_c \tag{4.8}$$

Donde:
$L_p = longitud\ de\ paso\ (in)$
$L_c = 1.3\ tabla\ 11 - 17$ (Anexo 2**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Reemplazando obtenemos:

$$L_p = 39 + 1.3$$
$$L_p = 40.3\ in$$

Ángulo de contacto de la polea conductora

$$\theta_d = \boldsymbol{\pi} - 2\sin\left(\frac{D-d}{2C}\right) \tag{4.9}$$

$$\theta_d = \pi - 2\,sin\left(\frac{8-4}{2*13.779}\right)$$

$$\theta_d = 2.850$$

(La Gates Rubber Company declara que su coeficiente de fricción efectivo es de 0.5123 para ranuras) [42].

Se estima $e^{[f\theta_d]}$ para el desarrollo completo de la fricción:

$$e^{[f\theta_d]} \tag{4.10}$$

$$e^{[0.5123*\theta_d]} = 4{,}306$$

Ángulo de contacto de polea conducida

$$\theta_D = \boldsymbol{\pi} + 2\sin\left(\frac{D-d}{2C}\right) \tag{4.11}$$

$$\theta_D = \pi + 2\,sin\left(\frac{8-4}{2*13.779}\right)$$

$$\theta_D = 3.432$$

Longitud de la banda

$$L = [4C^2 - (D-d)]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \tag{4.12}$$

$$L = 46{,}7\ in$$

Factores de corrección ángulo en contacto

$\frac{D-d}{C} = 0.0{,}2902$; Interpolando de tabla 17-13 obtuvimos un $K_1 = 0.789$. como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Interpolación factor de corrección K1 [autores].

Factor corrección ángulo de contacto	K1
0,2000	0,780
0,2902	0,789
0,3000	0,790

Factor de corrección de longitud de la banda

Asumiendo una banda A39 obtuvimos un $K_2 = 0.9$ leído de tabla 17-14 (Anexo 4).

Cálculo de la velocidad periférica

$$V_p = \frac{\pi * d * n}{12} \tag{4.13}$$

Donde:
$V_p = Velocidad\ Periférica\ (pies/min)$
$d = Diametro\ de\ la\ polea$
$n = velocidad\ de\ la\ polea\ (rpm)$
Reemplazando obtenemos:

$$V_p = \frac{\pi * 4 * 1200}{12}$$
$$V_p = 1256.64\ \frac{pies}{min}$$

Interpolando de la tabla $17 - 12$ (Anexo 5) para un diámetro de 4 in y a una $V_p = 1256.64$ obtenemos $H_{tab} = 1.150$, como se muestra en las Tabla 11Tabla 12.

Tabla 11. Interpolación potencias nominales en bandas [Autores].

DIAMETRO DE PASO POLEA (IN)	1000	2000
3.8	0.93	1.55
4	0.98	1.645
4.2	1.03	1.74

Tabla 12. Interpolación para hallar Htab [Autores].

VELOCIDAD DE LA BANDA (Vp)	HTAB
1000	0.98
1256.64	1.150
2000	1.645

Cálculo de la potencia permitida por banda

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab} \tag{4.14}$$

Donde:
$K_1 = Factor\ de\ corrección\ del\ ángulo\ de\ contacto$
$K_2 = Factor\ de\ corrección\ de\ la\ longitud\ de\ banda$
Reemplazando obtenemos:

$$H_a = 0.8171$$

Potencia de diseño

$$H_d = K_s * H_{nom} \tag{4.15}$$

Donde:
$H_d = Potencia\ de\ Diseño\ (HP)$
$K_s = Factor\ de\ servicio\ para\ trasnmisiones\ en\ V.\ Tabla\ 17-15$ (Anexo 6)
$H_{nom} = Potencia\ del\ motor\ (HP)$
Asumiendo un impacto medio (1.4) y reemplazando en la ecuación obtenemos:

$$H_d = 1.4 * 1$$
$$H_d = 1.4\ HP$$

Numero de bandas

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \tag{4.16}$$

$$N_b \geq \frac{1.4}{0.8171} \geq 1.713 \approx 2$$

Tensión centrifuga

$$F_c = K_c \left(\frac{V_p}{1000}\right)^2 \tag{4.17}$$

Donde:
$F_c = Tension\ centrifuga\ (Lbf)$
$K_c = Parametro\ de\ bandas\ en\ V.\ Tabla\ 17-16$ (Anexo 7)
$V_p = Velocidad\ Periferica\ (pies/min)$
Reemplazando obtenemos:

$$F_c = 0.561 \left(\frac{1256.64}{1000}\right)^2$$
$$F_c = 0.885\ Lbf$$

Tensión mayor

$$\Delta F = \frac{63025(H_d)/N_b}{n\left(\frac{d}{2}\right)} \tag{4.18}$$

$$\Delta F = 18.38\ 2Lbf$$

$$F_1 = F_c + \left(\frac{(\Delta F * \theta)}{(\theta - 1)}\right) \tag{4.19}$$

$$F_1 = 24.827\ Lbf$$
$$F_{1p1} = 110.43\ N$$

Tensión menor

$$F_2 = F_1 - \Delta F \tag{4.20}$$

$$F_2 = 6.444\ Lbf$$
$$F_{2p1} = 28.66\ N$$

Tensión inicial

$$F_i = \frac{F_1 - F_2}{2} - F_c \tag{4.21}$$

$$F_i = 15.636\ Lbf$$

Seguridad de la banda

$$n_{fs} = \frac{H_a * N_b}{H_{nom} * K_s} \tag{4.22}$$

Reemplazando obtenemos

$$n_{fs} = 1.167\ Satisfactorio.$$

B. Selección de la banda de 600 a 300 rpm

$Transmisión = banda\ abierta$
$Polea\ eje\ 1\ (d) = 4\ in\ ;\ n\ = 600\ rpm.$
$polea\ eje\ 2\ (D) = 8\ in;\ \ n = 300\ rpm.$
$Distancia\ entre\ centros\ (C) = 17.7165\ in$
$Asumimos\ un\ tipo\ de\ banda = A52$ (Anexo 1)

Longitud de paso

$$L_p = 54.3\ in$$

Ángulo de contacto de a polea impulsora

$$\theta_d = 2.9153\ rad$$

$$e^{[0.5123*2.9153]} = 4.4527$$

Ángulo de contacto de a polea impulsada

$$\theta_D = 3.3679\ rad$$

Factores de corrección ángulo en contacto

$\frac{D-d}{C} = 0.2258$; Interpolando de la tabla 17-13 (Anexo 3) obtuvimos un $K_1 = 0.78257$

Factor de corrección de longitud de la banda

Asumiendo una banda A53, obtuvimos de la tabla 17-14 (Anexo 4) un $K_2 = 0.95$

Velocidad periférica

$$V_p = 638.3185\ \frac{pies}{min}$$

Extrapolando de la tabla $17 - 12$ para un diámetro de 4 in y a una $V_p = 638.3185$, obtenemos $H_{tab} = 0.7328$

Potencia permitida por banda

$$H_a = 0.5448$$

Potencia de diseño

$$H_d = 1.4\ HP$$

Numero de bandas

$$N_b \geq \frac{1.4}{0.5495} \geq 2.569 \approx 3$$

Tensión centrifuga

$$F_c = 0.2215\ Lbf$$

Tensión mayor

$$F_1 = 31.8298\ Lbf$$
$$F_{1p2} = 141.586\ N$$

Tensión menor

$$F_2 = 7.320\ Lbf$$
$$F_{2p2} = 32.56\ N$$

Tensión inicial

$$F_i = 19.574\ Lbf$$

Factor de seguridad de la banda

$$n_{fs} = 1.1674\ Satisfactorio.$$

4.2.4 **Diseño del eje**

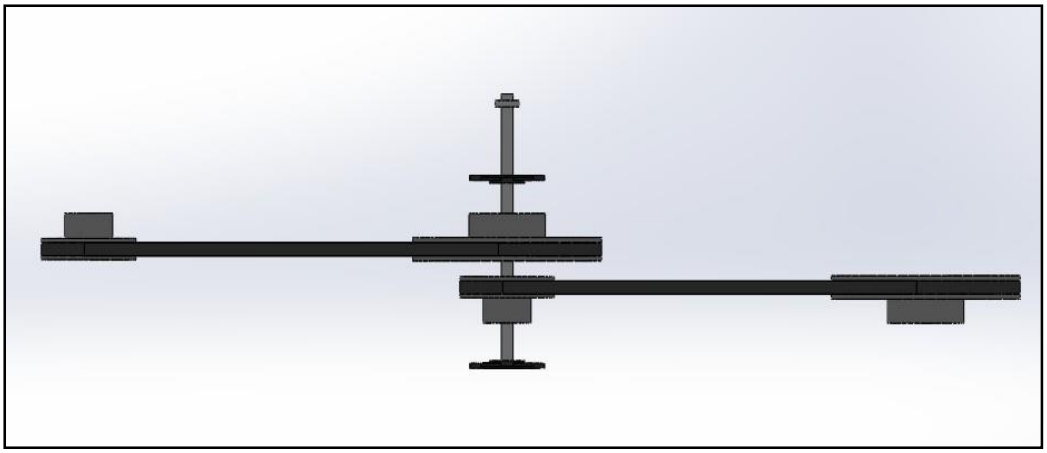


Figura 26. Vista frontal componentes en eje a diseñar [Autores].

Fuerzas resultantes que actúan sobre el eje a diseñar

Para el estudio del eje (Figura 26) se estableció como viga en voladizo que soporta carga puntual.

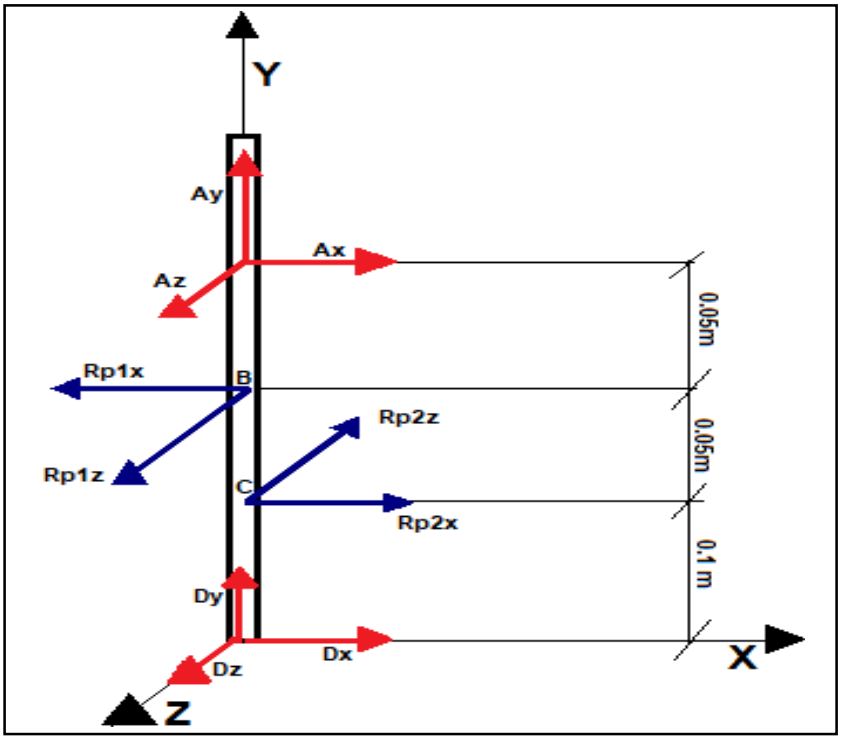


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre eje a diseñar [Autores].

Fuerzas que actúan en la polea conducida

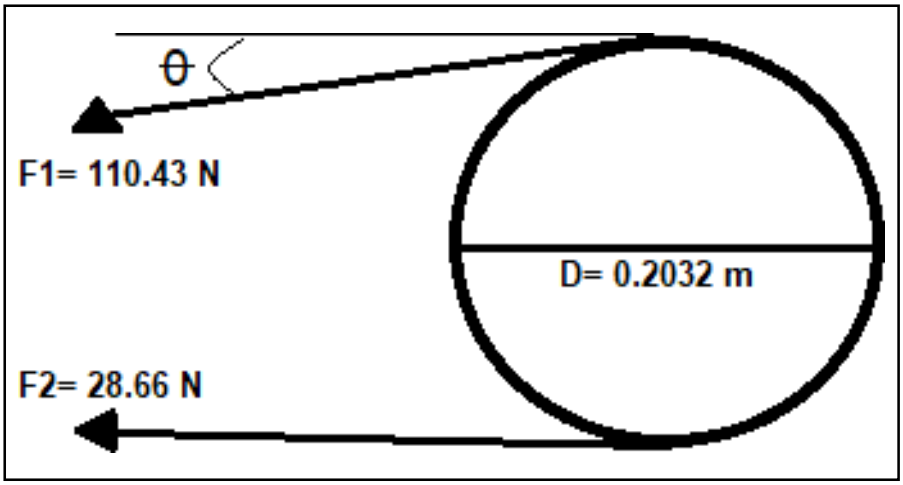


Figura 28. DCL libre polea punto B [Autores].

Para hallar el ángulo θ mostrado en la Figura 28 utilizaremos la fórmula del capítulo 8 del libro de mecánica vectorial para ingenieros estática 9^{ed} de la editorial Mc Graw Hill [45], que se pueden aplicar tanto a problemas que involucran bandas planas, como a problemas que involucran cuerdas enrolladas alrededor de un poste o de un cabrestante. Además, dichas fórmulas también pueden utilizarse para resolver problemas que involucran frenos de banda.

$$\ln\frac{F_1}{F_2} = \mu\beta \tag{4.23}$$

Donde:
$\mu = Coeficiente\ de\ fricción$
$\beta = Angulo\ de\ contacto$

Remplazando obtenemos:

$$\ln\frac{110.43}{28.66} = 0.5123\beta$$
$$\ln 3.8522 = 0.5123\beta$$
$$\beta = \frac{1.3486}{0.5123}$$
$$\beta = 3.6325\ rad * \frac{180}{\pi}$$
$$\beta = 150.834°$$

$$\theta = \frac{180 - \beta}{2} \tag{4.24}$$

$$\theta = 14.582°$$

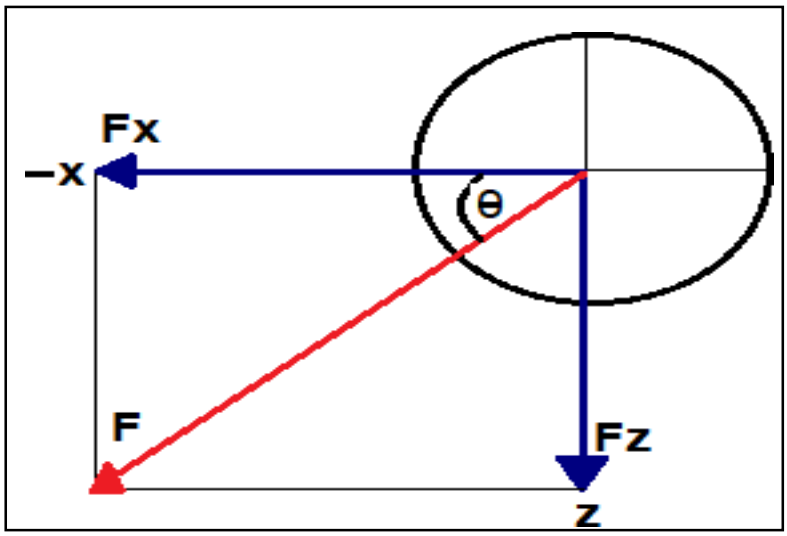


Figura 29. Fuerzas resultantes polea conducida 8 in en el punto B [Autores].

$$F = F_1 + F_2 \tag{4.25}$$

$$F = 139.43\ N$$

$$\sin\theta = \frac{F_Z}{F} \tag{4.26}$$

$$F_Z = 35.01\ N$$

$$\cos\theta = \frac{F_X}{F} \tag{4.27}$$

$$F_X = 134.61\ N$$

Fuerzas que interactúan en la polea conductora.

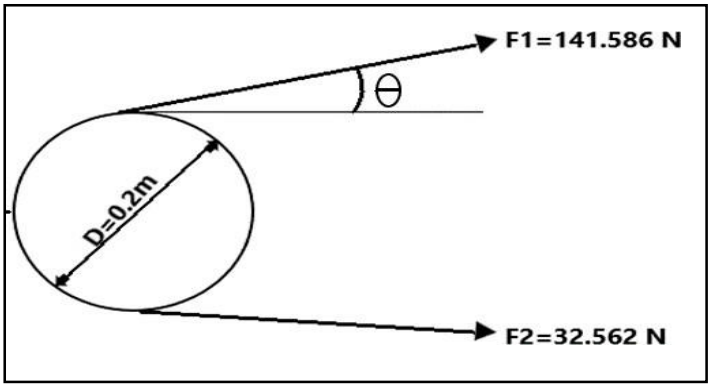


Figura 30. diagrama de cuerpo libre polea punto C [Autores].

$$\ln\frac{F_1}{F_2} = \mu\beta \tag{4.23}$$

$$\beta = 2.8689\, rad * \frac{180}{\pi}$$

$$\beta = 164.3785°$$

$$\theta = \frac{180 - \beta}{2} \tag{4.24}$$

$$\theta = 7.8107°$$

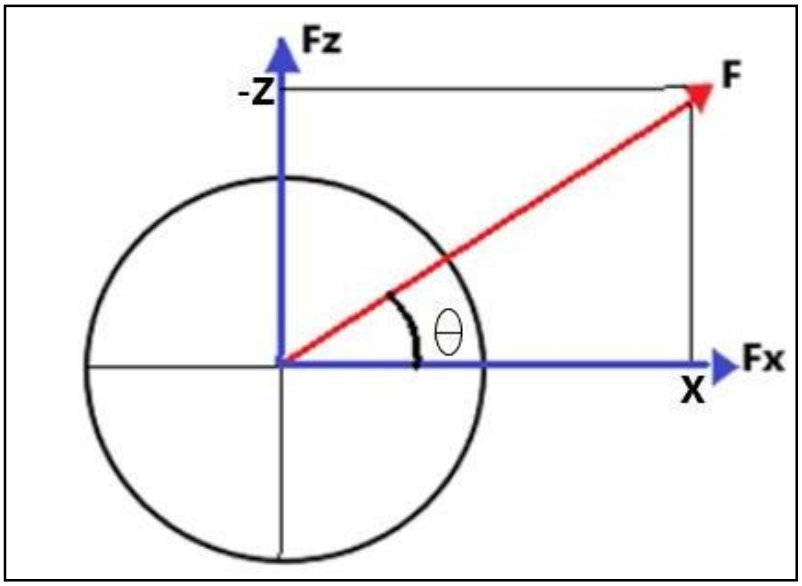


Figura 31. Fuerzas resultantes polea conductora 4 in punto C [Autores].

$$F = F_1 + F_2 \tag{4.25}$$

$$F = 174.1480\, N$$

$$\sin\theta = \frac{F_Z}{F} \tag{4.26}$$

$$F_Z = 23.6467\, N$$

$$\cos\theta = \frac{F_X}{F} \tag{4.27}$$

$$F_X = 172.3857\, N$$

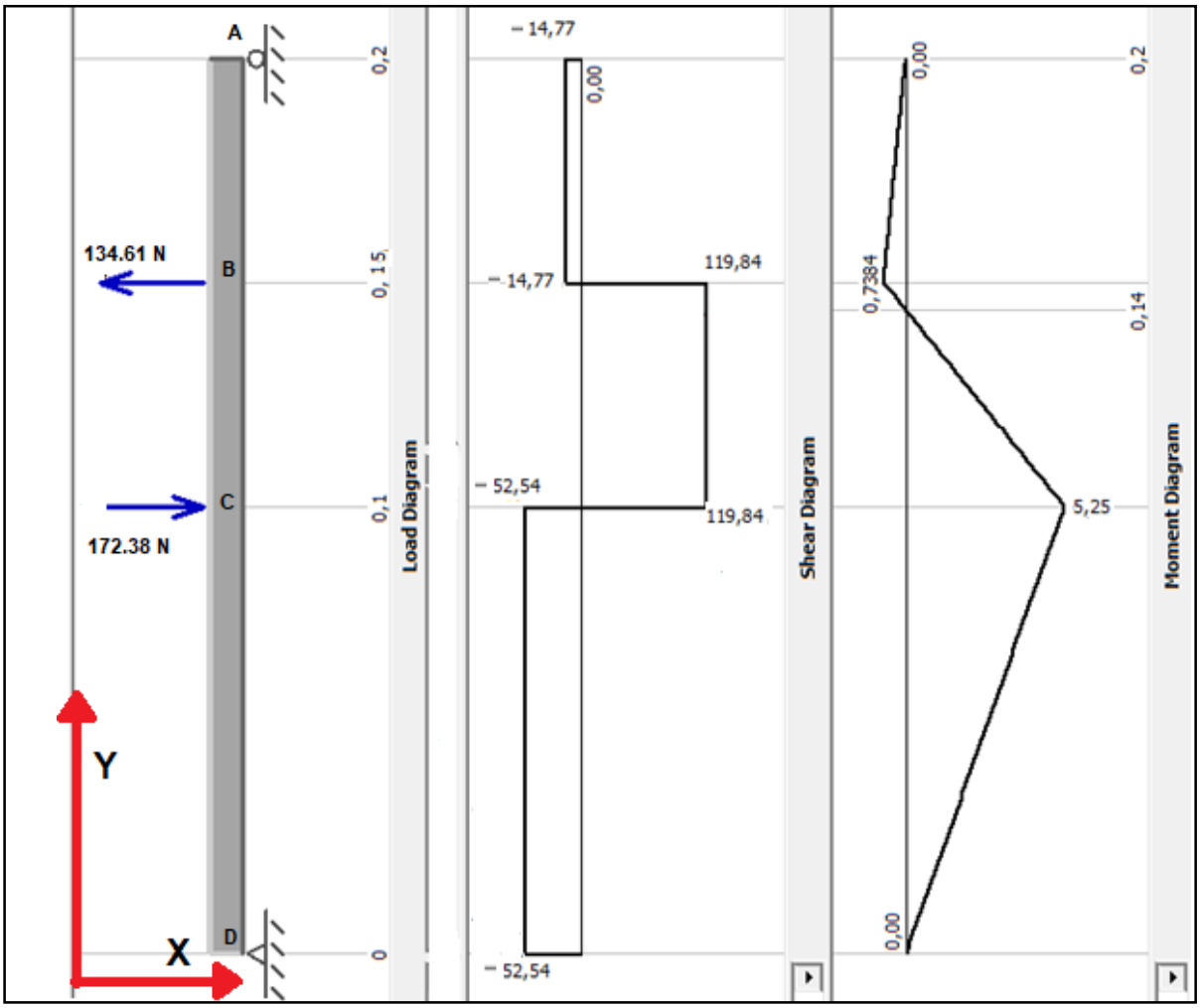


Figura 32. Diagrama de cuerpo libre, momentos cortante y flector plano YX [Autores].

$$G_{+} \sum M_D = 0; \tag{4.28}$$

$$-(172.38\ N * 0.1m) + (134.61\ N * 0.05m) - (A_x * 0.2m) = 0$$

$$A_x = \frac{2.9535\ Nm}{0.2\ m}$$

$$A_x = 14.7675\ N$$

$$\rightarrow_{+} \sum F_X = 0; \tag{4.29}$$

$$172.38\ N + 14.7675\ N - 134.61\ N - D_X = 0$$

$$D_X = 52.5375\ N$$

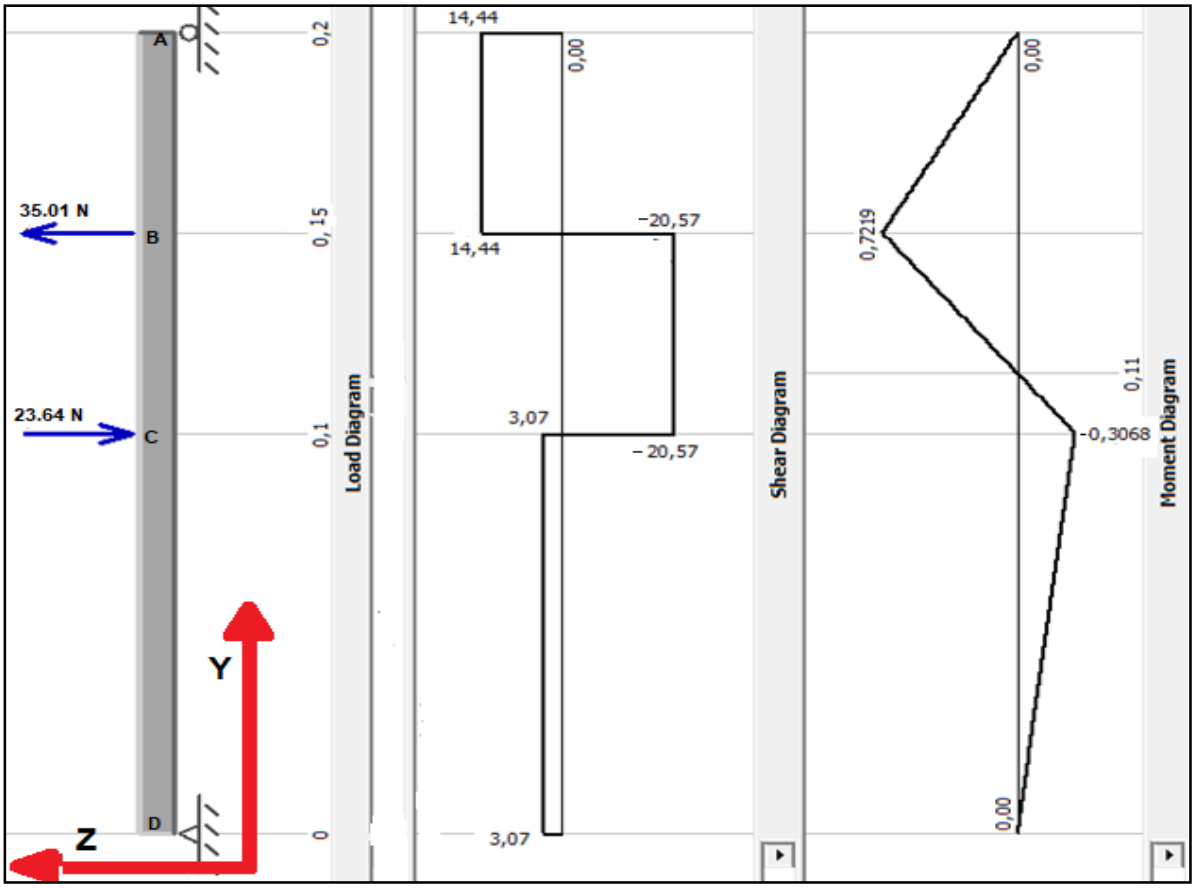


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre, momentos cortante y flector plano YZ [Autores].

$$G_+ \sum M_D = 0; \qquad (4.30)$$

$$-(23.64\ N * 0.1m) + (35.01\ N * 0.15m) - (A_z * 0.2m) = 0$$

$$A_Z = \frac{2.8875\ Nm}{0.2\ m}$$

$$A_Z = 14.4375\ N$$

$$\leftarrow_{+} \sum F_Z = 0; \tag{4.31}$$

$$D_Z - 23.64\ N + 35.01\ N - 14.4375\ N = 0$$

$$D_Z = 3.0675\ N$$

4.2.4.1 **Diseño por resistencia estática**

Para el diseño por resistencia estática partiremos de los siguientes datos:

$Sección = Circular.$
$Material = AISI\ SAE\ 1045\ estirado\ en\ frio$ (Anexo 8)
$Resistencia\ a\ la\ tensión\ (S_{ut}) = 630\ Mpa$
$Resistencia\ a\ la\ fluencia\ (S_y) = 530\ Mpa$
$Diámetro = 0.0127\ m$
$M_{max} = 5.262\ Nm$
$T_{max} = 8.835\ Nm$

Cálculo del esfuerzo máximo por flexión y se determina con la siguiente ecuación:

$$\sigma_y = \frac{32\ M}{\pi d^3} \tag{4.32}$$

$$\sigma_y = \frac{32 * 5.262\ Nm}{\pi * 0.0127^3}$$
$$\sigma_y = 26.166\ Mpa$$

Cálculo del esfuerzo máximo torsión y se determina con la siguiente ecuación:

$$r_{yx} = \frac{16\ T}{\pi d^3} \tag{4.33}$$

$$r_{yx} = \frac{16 * 8.835\ Nm}{\pi * 0.0127^3}$$
$$r_{yx} = 21.97\ Mpa$$

Para evaluar si el material seleccionado, así como el diámetro es el correcto utilizaríamos la teoría de esfuerzos combinados de Von-Misses.

$$\sigma^1 = \sqrt{\sigma_y^2 + 3r_{YX}^2} \quad (4.34)$$

$$\sigma^1 = \sqrt{26.166^2 + 3 * 21.97^2}$$
$$\sigma^1 = 46.176\ Mpa$$

Para el cálculo del factor de seguridad utilizaremos la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\sigma^1} \quad (4.35)$$

$$n = \frac{530\ Mpa}{46.176\ Mpa}$$
$$n = 11.04$$

4.2.4.2 **Diseño por Resistencia dinámica**

Para realizar el diseño por resistencia a fatiga consideramos los siguientes parámetros:

El eje gira a 600 rpm; considerando que la máquina va a funcionar 8 horas diarias el eje realizaría 288,000 ciclos.

$Material = AISI\ SAE\ 1045\ estirado\ en\ frio$ (Anexo 8¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)
$Resistencia\ a\ la\ tensión\ (S_{ut}) = 630\ Mpa$
$Resistencia\ a\ la\ fluencia\ (S_y) = 530\ Mpa$
$Diámetro = 0.0127\ m$
$M_{max} = 5.262\ Nm$
$T_{max} = 8.835\ Nm$

Límite de resistencia a la fatiga.

$$S_{e'} = 0.5\ S_{ut} \quad (4.36)$$

$$S_{e'} = 0.5 * 630\ Mpa$$
$$S_{e'} = 315\ Mpa$$

Factor de condición superficial

$$K_a = aS_{ut}^b \quad (4.37)$$

Siendo un acabado superficial maquinado; $a = 4.51$ y $b = -0.265$

$$K_a = 4.51 * 630^{-0.265}$$
$$K_a = 0{,}817$$

Factor de modificación del tamaño

$$K_b = (\frac{d}{7.62})^{-0.107} \tag{4.38}$$

$$K_b = (\frac{12.7}{7.62})^{-0.107}$$

$$K_b = 0.947$$

Factor de modificación de la carga

$$K_c = 0.85$$

Factor de modificación de la temperatura

Con una temperatura de funcionamiento de 20º

$$K_d = 1$$

Factor de confiabilidad

Para una confiabilidad del 90%

$$K_e = 0.897$$

Factor de carga puntual

Como la sección donde se encuentra soportando la carga puntual es uniforme

$$K_f = 1$$

Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_{e'} \tag{4.39}$$

$$S_e = 0.817 * 0.947 * 0.85 * 1 * 0.897 * 1 * 315$$

$$S_e = 185.83\ Mpa$$

Resistencia a la fatiga, utilizaremos la siguiente ecuación

$$S_f = aN^{\,b} \tag{4.40}$$

Donde:
$N = Ciclos$

$$a = \frac{(fS_{ut}^2)}{S_e} \tag{4.41}$$

$Siendo\ f = 0.85$

$$b = -\frac{1}{3}\ log\ (\frac{fS_{ut}}{S_e}) \tag{4.42}$$

Reemplazando obtenemos:

$$a = \frac{0.85 * 630^2\ Mpa}{185.83\ Mpa} = 1815.36\ Mpa$$

$$b = -\frac{1}{3}\ log\ (\frac{0.85 * 620\ Mpa}{185.83\ Mpa}) = -0.153$$

$$S_f = 264.57\ Mpa$$

Factor de seguridad por resistencia dinámica

$$n = \frac{S_f}{\sigma^1} \tag{4.43}$$

$$n = \frac{264.57\ Mpa}{46.176\ Mpa}$$

$$n = 5.729$$

Evaluamos nuevamente aplicando la teoría de falla por fatiga de Goodman Modificado, utilizando ecuación (4.44).

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \tag{4.44}$$

Donde:

$$\sigma_a = \sigma_y = 26.166\ Mpa$$

$$\sigma_m = \sqrt{3r_{yx}} \tag{4.45}$$

$$\sigma_m = 8.117\ Mpa$$

Reemplazando:

$$n_f = \frac{1}{\frac{26.166}{185.83} + \frac{8.117}{630}}$$

$$n_f = 6.5$$

Los resultados obtenidos por diseño estático y a fatiga nos indicaron que el diámetro del eje seleccionado soporta sin problemas las fuerzas actuales en el mismo.

4.2.5 Cálculos de soldadura

Resistencia de la soldadura en el ángulo por unidad de superficie.

$$f_{vW,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} \tag{4.46}$$

Donde:

$f_u = resistencia\ a\ la\ tracción\ del\ acero\ A36\ (N/mm^2)$
$\gamma_{M2} = coeficiente\ parcial\ de\ la\ seguridad\ de\ la\ union\ soldada$
$\beta_w = coeficiente\ de\ correlación\ en\ función\ del\ tipo\ de\ acero\ de\ las\ piezas\ a\ soldar,$
$valor\ obtenido\ a\ partir\ del\ limie\ elastico\ del\ cero\ A36$

$$f_{vW,d} = \frac{\frac{400\frac{N}{mm^2}}{\sqrt{3}}}{0{,}2 * 1{,}25} = 923{,}760\ \frac{N}{mm^2}$$

Dimensionado de espesor de garganta de cordón de soldadura

$a \leq 0{,}7 * e_{min}$
$e_{min} = minimo\ espesor\ de\ las\ chapas\ soldadas$
$a \leq 0{,}7 * 3\ mm = 2{,}1\ mm$

De la Tabla 13 se obtiene que:

$a \geq 3\ mm\ para\ e_{min} \leq 10\ mm$

Como el espesor del ángulo es de 3 mm, entonces de tabla obtenemos que el espesor de la garganta será de $a = 3mm$

Tabla 13. Tamaños mínimos de la soldadura en filete [46].

Espesor de la parte más delgada a unir (mm)	Tamaño mínimo de soldadura en filete (mm)
Hasta 6.4 inclusive	3
Mayor que 6.4 a 12.7	5
Mayor que 12.7	6

Mayor que 19.1	8

Longitud del cordón de soldadura

$$F_{W,Ed} \leq a * L_W * \ F_{vW,d} \tag{4.47}$$

Donde:

$$L_W \geq \frac{F_{Ed}}{a * F_{vW,d}}$$

Donde F_{Ed} es la fuerza aplicada sobre la estructura soldada

En nuestro cado, la estructura soporta un peso de 30 N, la cual multiplicamos por 10 y obtener un factor de seguridad debido a las fuerzas dinámicas de la máquina en operación.

$$L_W = \frac{300\ N}{3\ mm * 923{,}760\ \frac{N}{mm^2}} = 0{,}107\ mm$$

Se obtiene que:

$L_W > 40\ mm \rightarrow disposición\ mínima$ [44]

Como nuestro perfil angular A36 tiene un ancho de $25\ mm$ de cada lado.

$25\ mm + 25\ mm = 50\ mm$

Por lo tanto, nuestro cordón cumple con la disposición mínima

Resistencia cordón de soldadura para soldadura de filete

$$\Phi R_n = \Phi * 0{,}6\ F_{Exx} * A_{we} \tag{4.47}$$

$F_{Exx} = Resistencia\ del\ electrodo\ a\ la\ cedencia.$
$A_{we} = Area\ efectiva\ de\ la\ soldadura = 0.707 * a * Lw$

$$\Phi R_n = 0{,}75 * 0{,}6(330\ Mpa) * 0{,}707 * 3\ mm * 4\ mm$$

$$\Phi R_n = 16416{,}54\ N$$

Hasta 160 N que es el peso al que estamos sometiendo la estructura está sobredimensionado el cordón de soldadura.

$$f_s = \frac{16416,54\ N}{106\ N}$$
$$f_s = 154{,}87\ N$$

El cordón de soldadura soporta las cargas a las que está sometido.

4.3 ANÁLISIS COMPUTACIONAL DEL DISEÑO

Las herramientas tecnológicas actuales permiten realizar cálculos que en el pasado fácilmente podían llevar entre días y semanas realizarlos, a solo esperar un día. Especificando en el presente proyecto se utilizó el software SOLIDWORKS® para la creación del diseño CAD, realización de las simulaciones tanto a la estructura como el eje, para que el diseño se avale en la realización de este.

4.3.1 Simulación de la estructura

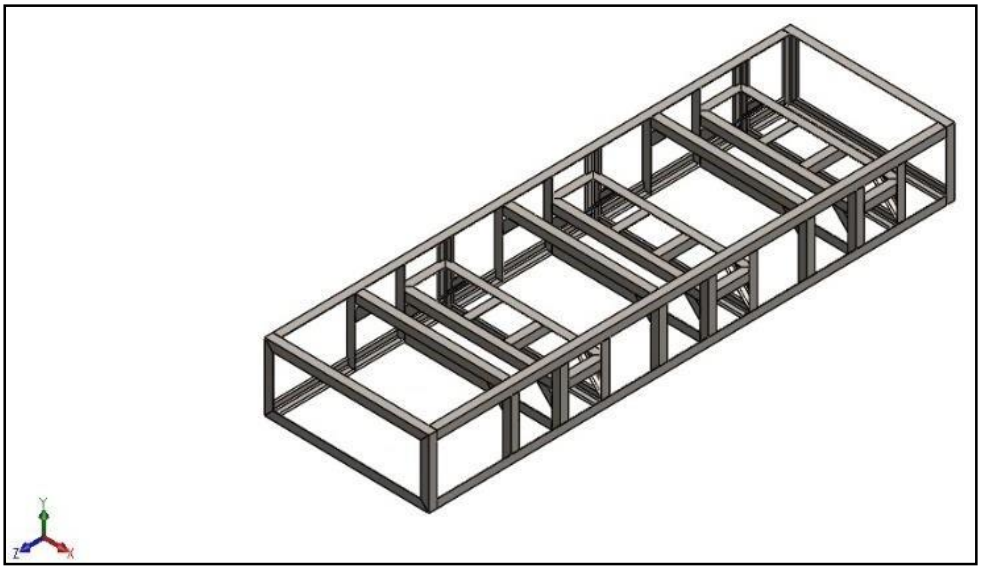


Figura 34. Diseño estructura realizada en SOLIDWORKS® [Autores].

Durante la realización de las simulaciones el primer estudio fue el análisis estático a la estructura (Figura 34), donde obtuvimos los resultados de tensión axial y de flexión, desplazamiento y factor de seguridad (FDS), el primer paso fue la determinación de la geometría de malla (Figura 35), por medio de esta se puede analizar los diferentes puntos de la estructura por el método de elementos finitos utilizado. Seleccionando una malla adecuada de alta calidad para mantener una confiabilidad alta en los resultados.

Tabla 14. Propiedades del material de la estructura [Autores].

Nombre	**ASTM A36 Acero**
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico	2,5e+08 N/m^2
Límite de tracción	4e+08 N/m^2
Módulo elástico	2e+11 N/m^2
Coeficiente de Poisson	0,26
Densidad	7.850 kg/m^3
Módulo cortante	7,93e+10 N/m^2

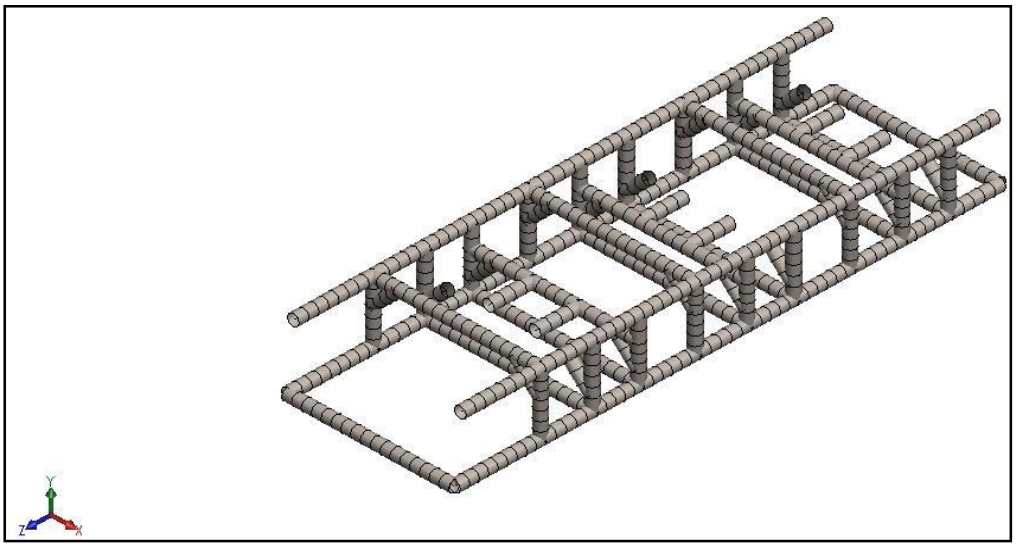


Figura 35. Enmallado realizado para las simulaciones [Autores].

Tabla 15. Propiedades del mallado [Autores].

TIPO DE MALLA	NODOS	ELEMENTOS
Malla de viga	678	667

Después se determina el lugar de aplicación de las cargas en los 3 lugares donde se situarán los discos de pulido, poleas, eje y chumaceras, la cual será una carga distribuida de 1000 N, el material utilizado es un acero ASTM A36. (Figura 36).

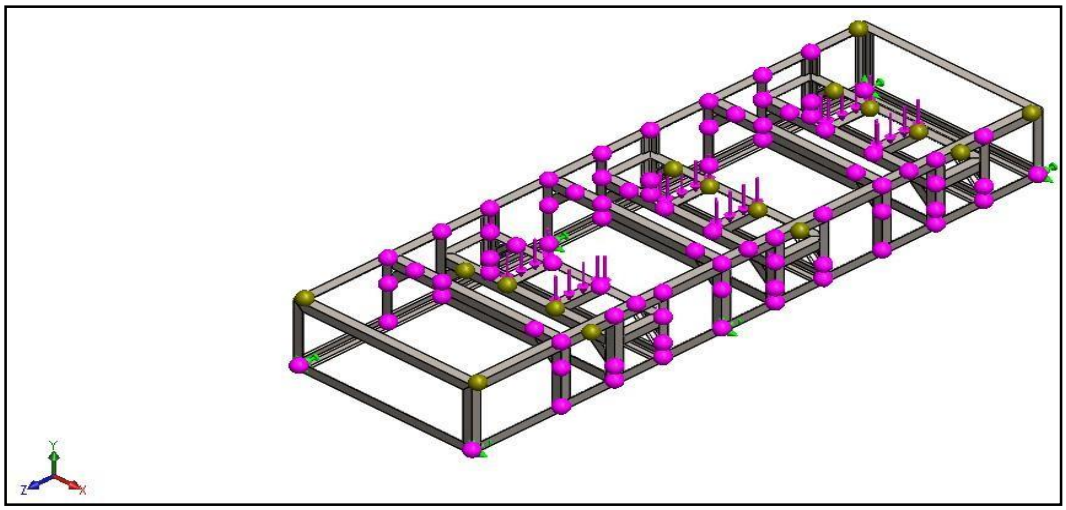


Figura 36. Cargas aplicadas en la estructura para la simulación [Autores].

Los resultados del análisis estático de tensión axial y de flexión (Figura 37), desplazamiento (Figura 38) factor de seguridad. El factor de seguridad definido como un parámetro para determinar la viabilidad del diseño propuesto, siendo optimo cuando este sea mayor o igual a 1 [47], en la Figura 39 se puede apreciar el análisis del factor de seguridad mínimo de 1.1 por lo que se puede concluir que la estructura diseñada es óptima para los esfuerzos a los que estará sometida.

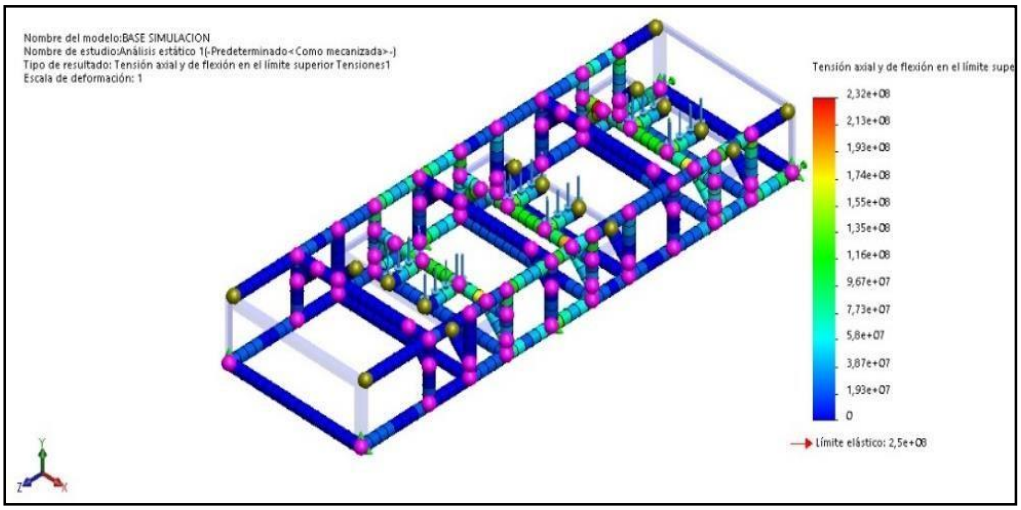


Figura 37. Análisis estático tensión axial y de flexión en el límite superior [Autores].

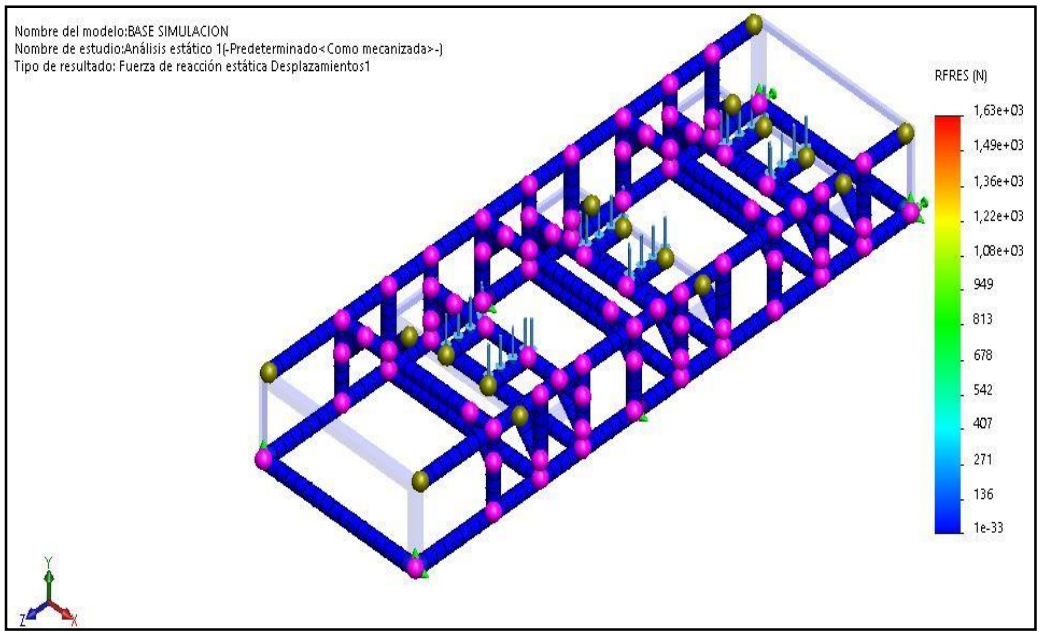


Figura 38. Análisis estático desplazamientos resultantes [Autores].

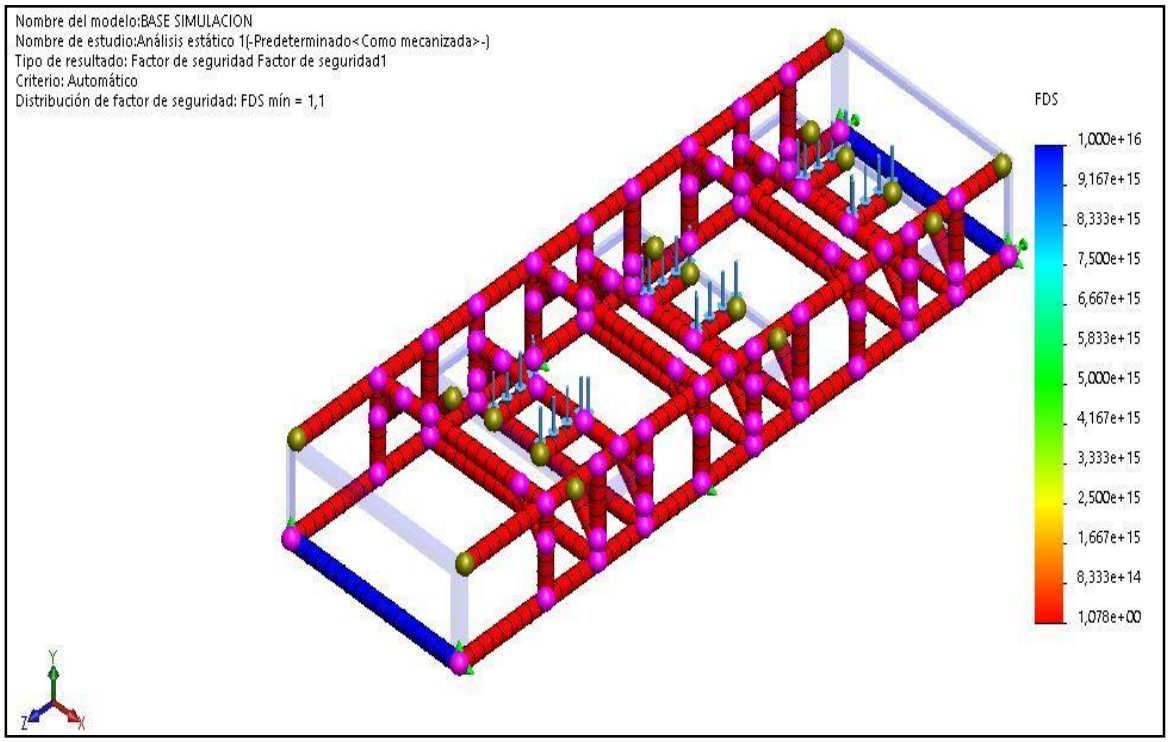


Figura 39. Análisis estático factor de seguridad [Autores].

4.3.2 **Simulación del eje**

En la simulación del eje (**Figura *40.*** Eje simulado en SolidWorks [Autores].Figura 40) se seleccionó un acero AISI 1045 estirado en frío el cual se presente en él Anexo 8, el peso de los componentes sujetos a este, y todo tipo de carga que se pudiera aplicar sobre este.

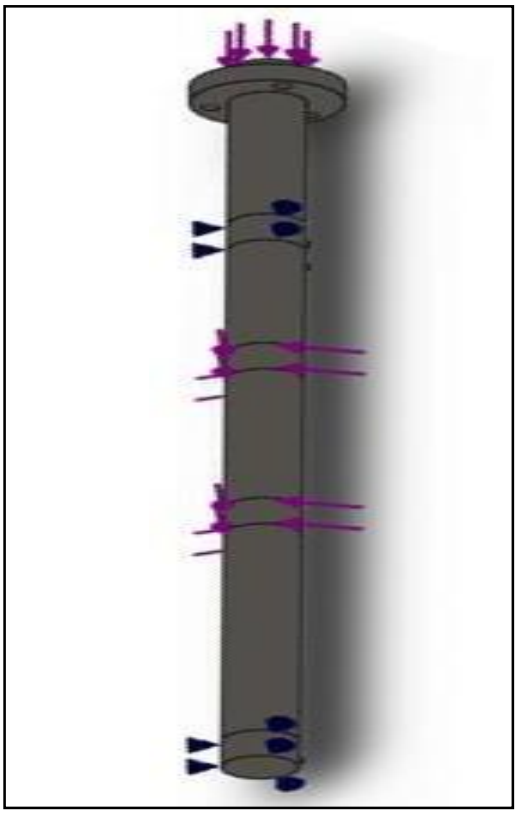


Figura 40. Eje simulado en SolidWorks [Autores].

Tabla 16. Propiedades del material del eje [Autores].

Nombre	**AISI 1045 Acero estirado en frío**
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico	5,3e+08 N/m^2
Límite de tracción	6,25e+08 N/m^2
Módulo elástico	2,05e+11 N/m^2
Coeficiente de Poisson	0,29
Densidad	7.850 kg/m^3
Módulo cortante	8e+10 N/m^2
Coeficiente de dilatación térmica	1,2e-05 /Kelvin

Tabla 17. Sujeciones en el eje [Autores].

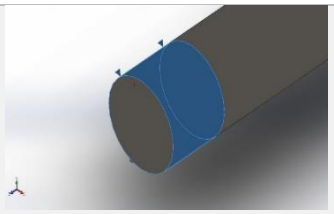
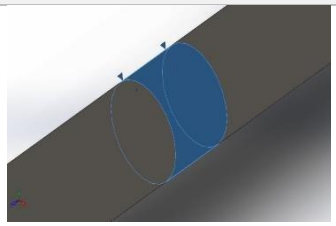
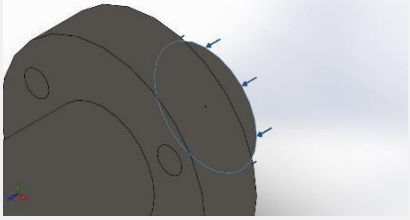
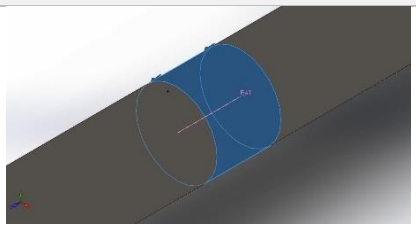
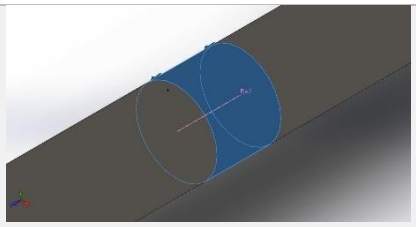
Sujeciones	Referencia de modelo
Rodamiento	
Rodamiento	

Tabla 18. Fuerzas que actúan en el eje [Autores].

Carga	Referencia del modelo	Valor carga
Fuerza		100 N
Torsión		14,131 Nm
Torsión		8,835 Nm

Tensión de von mises: Para este estudio se obtuvo un valor mínimo de $6{,}11e^{03}\ \frac{N}{m^2}$y un máximo de $6{,}19e^{07}\ \frac{N}{m^2}$.

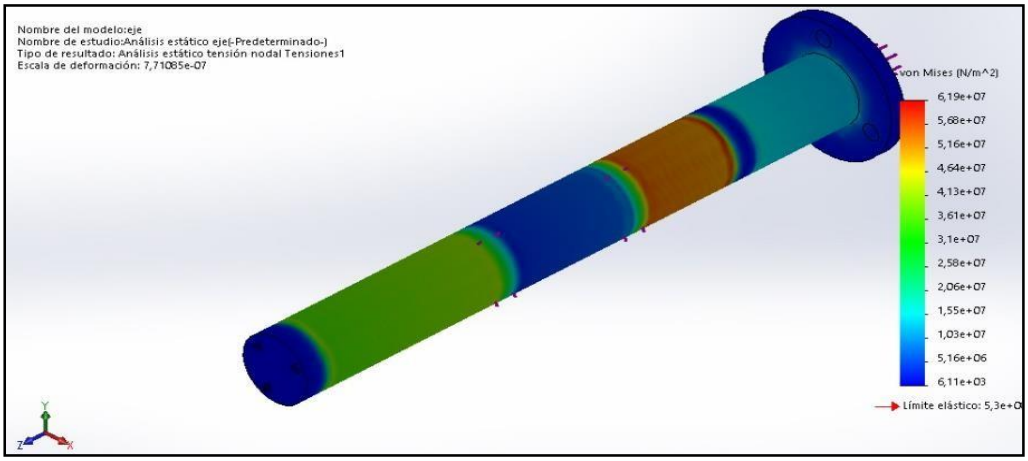


Figura 41. Resultados simulación Tensión de von mises [Autores].

Factor de seguridad: Para este estudio se obtuvo un valor mínimo de 8.6 el factor de seguridad del eje.

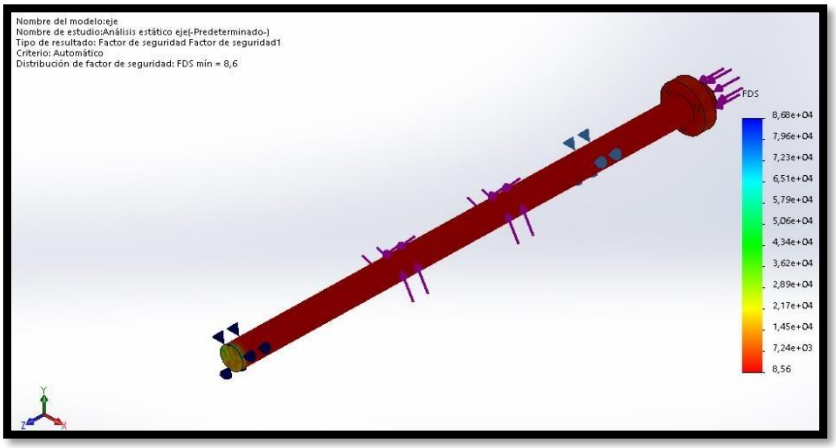


Figura 42. Resultados simulación Factor de seguridad [Autores].

El factor de seguridad obtenido en las simulaciones y en los cálculos teóricos nos indica que el material escogido para el eje de nuestro equipo es apto para soportar las cargas que actúan en él.

4.4 CONSTRUCCIÓN Y VERIFICACIÓN

Habiendo definido los elementos, basándonos en fundamentos teóricos, en este capítulo enseñaremos los elementos construidos y comprados, así misma el tipo de conexión de cada uno y el ensamble para tener un equipo de pulido metalográfico 100% funcional, y así poder realizar más de un solo ensayo metalográfico a la vez.

4.4.1 Materiales, equipos y consumibles

En la Tabla 19,

Tabla ***20*** y Tabla 21 se resumen todos los materiales, equipos y consumibles utilizados para la construcción y puesta a punto del equipo, los materiales se seleccionaron teniendo en cuenta parámetros de diseño, tales como, costos, factor de seguridad, interacción de carga y ambiente de trabajo.

Tabla 19. Materiales principales para construcción del equipo [Autores].

MATERIALES	Dimensiones	Cantidad	Unidad
Perfiles angulares	25 x 25 x 4	40	mm
Flanches	260 x 12.7	3	mm
Flanches	160 x 19.05	3	mm
Eje	300 x 12.7	3	mm
Fibra de vidrio	-	8	kg
Resina	-	20	kg
Estopa	-	1	kg
Cera		1	galón
Cloruro	-	1	kg
Thinner	-	½	galón

Tabla 20. Equipos utilizados en principales componentes del equipo [Autores].

EQUIPOS
Fresadora y Torno
Máquina de soldar Arc Weld 200i Lincoln electric
Taladro de banco y Taladro manual
Pulidora y Prensa

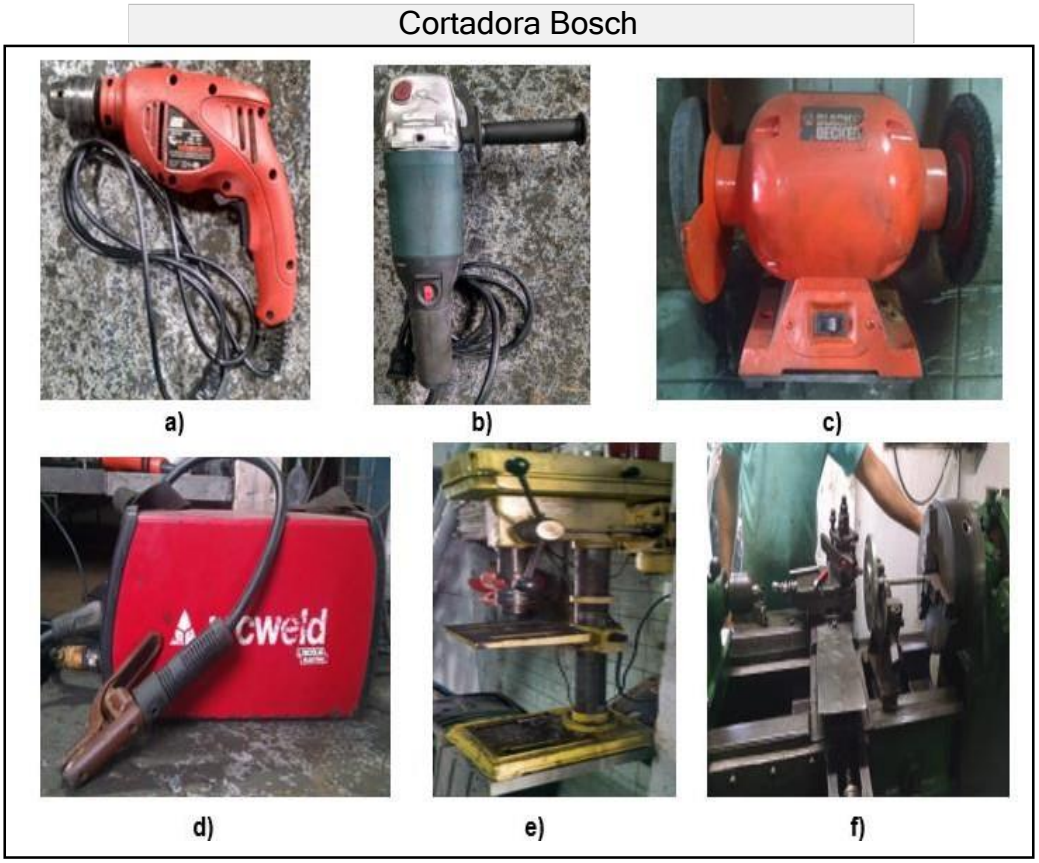


Figura 43. Equipos utilizados para la fabricación del equipo a) taladro manual, b) cortadora, c) pulidora, d) máquina de soldar, e) taladro de banco y f) torno [Autores].

Tabla 21. Consumibles utilizados en la construcción de la pulidora [Autores].

CONSUMIBLES	Cantidad	Unidad
electrodo 6011	3	kg
electrodo 6018	3	kg
discos de corte	10	-
discos de pulido	8	-
Brocas de 1/4"	1	-
Broca de 3/8”	1	-
Broca de 1/2"	1	-

4.4.2 **Componentes del equipo**

4.4.2.1 **Estructura**

Determinado el diseño a usar verificado por el software de apoyo determinado en el capítulo anterior teniendo en cuenta variaciones que a comparación al CAD las simulaciones de las fuerzas y los miembros estructurales no sufrieron grandes cambios, Durante el proceso de construcción fue necesario dividir el proceso en varias etapas siguiendo los planos en la figura 44. Se buscó crear una estructura lo más ergonómica posible, utilizando los materiales de mejor calidad y buscando la mejor interacción con el medio de trabajo. en donde se utilizó como material base un acero angular estructural de acero ASTM A36, con dimensiones de (25x25x4) mm.

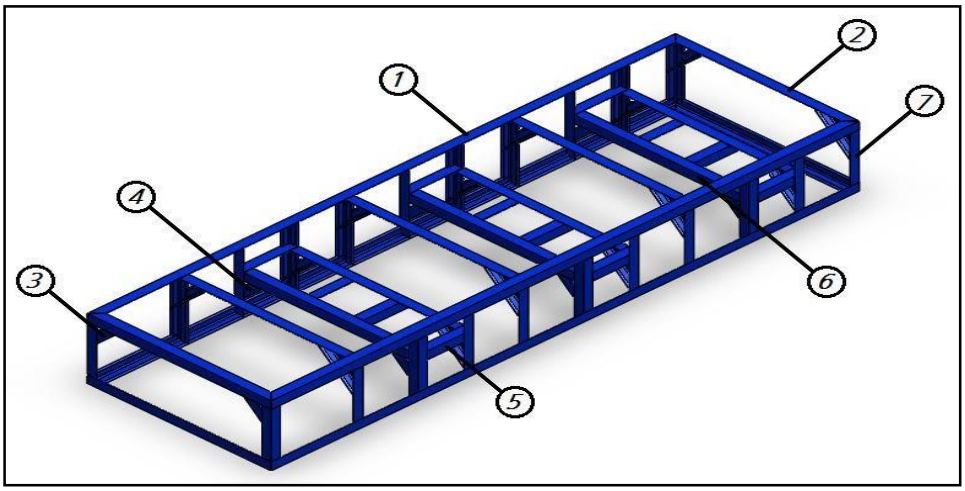


Figura 44. Vista isométrica de la estructura [Autores].

La selección de barras angulares de acero estructural ASTM A36 de 25 mm por 25 mm y de 4 mm de espesor se reforzó con los resultados arrojados en las simulaciones. Las cantidades que comprar se definió con ayuda de SOLIDWORKS® (Tabla 22) concluyendo la compra de 4 perfiles angulares de 6 m de largo (Figura 45).

Tabla 22. Tabla de perfiles angulares por el software SOLIDWORKS [Autores].

PERFIL	DESCRIPCIÓN (mm)	LONGITUD (mm)	CANTIDAD	MATERIAL
1	25 x 25 X 4	1600	4	ASTM A36 ACERO
2	25 x 25 X 4	500	4	ASTM A36 ACERO
3	25 x 25 X 4	187,05	4	ASTM A36 ACERO
4	25 x 25 X 4	196,69	18	ASTM A36 ACERO
5	25 x 25 X 4	146,69	12	ASTM A36 ACERO
6	25 x 25 X 4	487,05	9	ASTM A36 ACERO
7	25 x 25 X 4	136,74	22	ASTM A36 ACERO

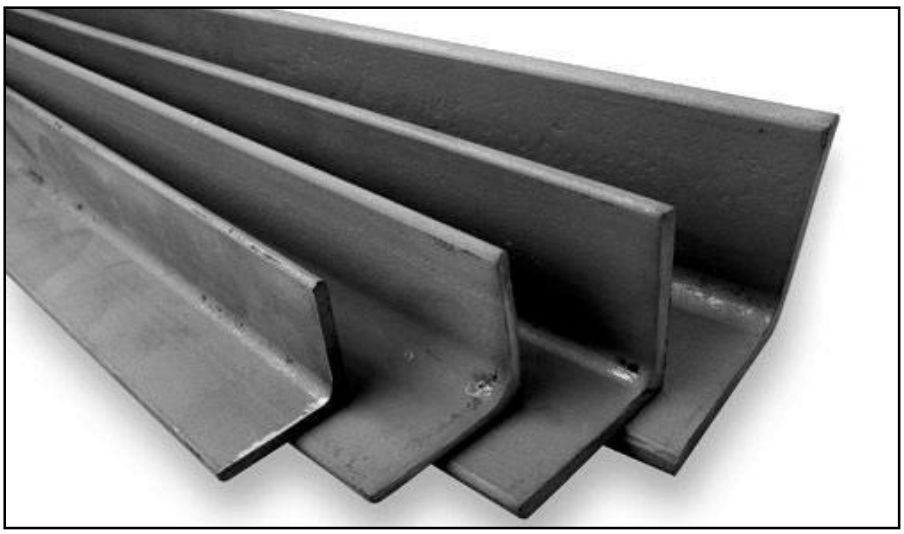


Figura 45. Perfiles angulares comprados para la elaboración de la estructura [48].

Teniendo las barras necesarias se pasó a realizar el corte de las secciones transversales según los planos extraídos de la herramienta de diseño SOLIDWORKS® realizando cortes rectos y diagonales.

- **Corte y soldadura de los perfiles angulares**

La soldadura es un tipo de unión mecánica rígida, en la que dos o más materiales llamados metal base, se unen mediante la adición de un material externo llamado material de aporte, existiendo distintos procesos, los cuales involucran diferentes configuraciones de material de aporte, y, en algunos casos demandan adición de gases puntuales para controlar la atmosfera próxima a la aplicación de soldadura donde se dispersa el oxígeno para que produzca una mala soldadura o se presente corrosión. También existen fundentes, los cuales ayudan a controlar el área adyacente a la soldadura, dispersando contaminantes de la soldadura.

Cada material de aporte requiere diferentes tipos de equipos, tales como: equipos eléctricos, oxiacetilénicos, por inducción de calor mediante resistencia eléctrica o incluso por fricción. Para la selección de equipo se debe tener en cuenta, el material base, el tamaño de dicho material, el medio ambiente donde se realizará para saber cómo controlar variables que puedan ocasionar un mal proceso, tales como: contaminantes, humedad y demás. Basados en el código de “Agrupación de metales base para procedimientos de soldadura y calificación de rendimiento” o AWS B2.1 el cual habla del tipo de acero que es el metal base, la composición, esfuerzos de ruptura y permisible [46].

Con base a esto nos referimos al código de “Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura de arco de metal blindado” o AWS A5.1 este da información sobre los diferentes metales de aporte, su composición, esfuerzos de ruptura y permisible [47].

Figura 46. Proceso de corte de los perfiles angulares [Autores].

4.4.2.2 **Carcasa**

En el diseño de la carcasa del equipo, se optó por un modelo didáctico, intercambiable y de fácil ensamble, lo cual facilitara el mantenimiento o intercambio de un componente interno, sea de transmisión o eléctrico de la máquina, en el menor tiempo posible con solo retirar una de las piezas.

Para el material de la carcasa, se buscó un material resistente, económico, liviano y con un buen acabado superficial, lo que nos llevó a 3 opciones de materiales. Mediante una matriz de decisión (Tabla 20) logramos obtener el material apto para nuestro equipo. El puntaje asignado será de 1 a 5, siendo 5 favorable y 1 muy desfavorable.

Tabla 23. Matriz de decisión carcasa [Autores].

	ACERO INOXIDABLE	**FIBRA DE VIDRIO**	**LAMINA GALVANIZADA**
COSTO 30%	1.0	3.0	5.0
PESO 10%	3,5	3,5	4.0
RESISTENCIA MECÁNICA 25%	5.0	4.0	3.0

RESISTENCIA CORROSION 20%	4,5	5.0	2,5
ACABADO 15%	5.0	4,5	3.0
TOTAL	**3,55**	**3,925**	**3,6**

La fibra de vidrio obtuvo la mayor ponderación y se realizaron las partes de la carcasa como se muestra en la Figura 47.

Figura 47. Carcaza del equipo; Derecha equipo sin uno de los laterales de la carcasa; Izquierda equipo con la carcasa completa en fibra de vidrio [Autores].

4.4.2.3 **Motor**

Gracias a los cálculos de potencia realizados con los parámetros de funcionamiento establecidos ya mencionados en el capítulo anterior, logramos obtener una potencia requerida por el sistema de 0.422 HP a 1200 rpm, por lo cual, se procedió a buscar en catálogos de motores eléctricos cuales presentan esta característica y disponibilidad en nuestro mercado, y logramos obtener que no son muy comerciales; por lo que; optamos por sobredimensionar la potencia y comprar un motor Siemens con una potencia de 1 HP, 1200 rpm trifásico mostrado en la Figura 48.

Figura 48. Motor eléctrico utilizado en el proyecto [Autores].

Tabla 24. Propiedades del motor [Autores].

Motor	**trifásico**
Tipo de construcción	IMB3
Grado de protección	IP55
Rango de tensión	220 YY / 440 YV
Frecuencia	60 Hz
Potencia	1 HP
Eficiencia	67.5 %
Velocidad nominal	1090 rpm
Peso	10.1 Kg
T ambiente Max	40°C
Corriente nominal	4.2/2.1 A

4.4.2.4 **Discos de ajuste**

El disco de ajuste es un componente fundamental de diseño del equipo, ya que, este nos permite la unión entre el eje de transmisión y el disco de pulido.

Figura 49. Disco de unión entre eje y disco de pulido [Autores].

4.4.2.5 **Eje**

Los resultados del cálculo teórico del eje, nos arrojó un factor de seguridad que cumple con los requerimientos de diseño previamente establecidos; tanto por resistencia estática, como por resistencia dinámica, y, por medio de un diseño asistido por computador y un análisis de elementos finitos en el software SolidWorks se validó satisfactoriamente.

Figura 50. Eje utilizado en los 3 discos de pulido [Autores].

4.4.2.6 **Discos de pulido**

En la Figura 51 se puede ver 1 de los 3 discos de pulido, los cuales operaran a 600, 300 y 100 rpm. Para así lograr un pulido basto y medio mediante lijas magnéticas y un pulido fino mediante paños.

Figura 51. Disco de pulido [Autores].

4.4.2.7 **Chumaceras**

Gracias a estos componentes encargados de trasmitir potencia se apoyan ejes, arboles de transmisión, existen diferentes tipos en el mercado, y para la selección, se tuvo en cuenta que el eje empleado en la máquina tiene un diámetro de 0.5”, se verificaron diferentes catálogos y se contactó a sus distribuidores, especificando las condiciones para la cual se requería de un apoyo en nuestro equipo, tales condiciones como, no permitir movimiento axial, impidiendo movimientos, solo se le debe permitir rotar sobre su propio eje. Y nos recomendaron con soporte autoalineantes dentro de las cuales existen diferentes modelos.

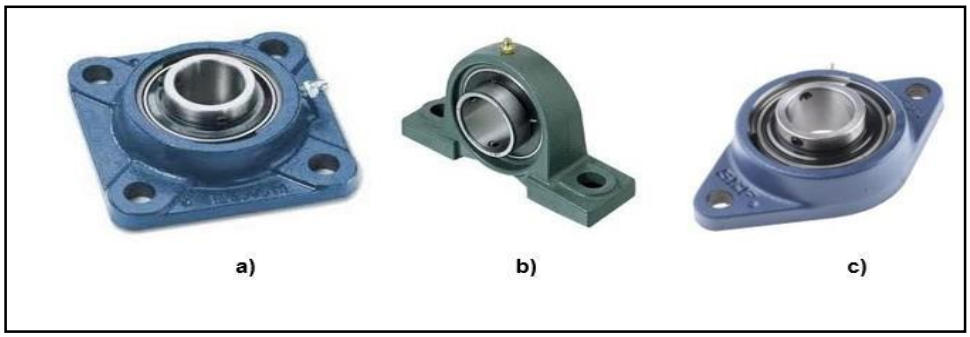


Figura 52. Tipos de rodamientos [50].

Los tipos de rodamientos recomendados, a) rodamiento con brida cuadrada b) rodamiento con soporte de pie y c) rodamiento con brida ovalada. Las opciones más viables para utilizar en el diseño eran la a y c, optamos por usar rodamientos con brida cuadrada, debido a que era la opción que mejor se adecuaba al diseño de nuestra estructura.

4.4.2.8 **Poleas y correas**

Para la selección de estos componentes, se consideraron las velocidades requeridas de pulido, el diámetro del eje y las revoluciones del motor. Por otro lado, una elevada rigidez, flexibilidad para la colocación de tensores y una elevada transmisión de potencia es esencial en nuestro diseño, luego de tener en cuenta las diferentes consideraciones, se buscó en los diferentes catálogos de correas y logramos obtener un perfil de poleas (Figura 53) y correas (*Figura 54*) tipo A.

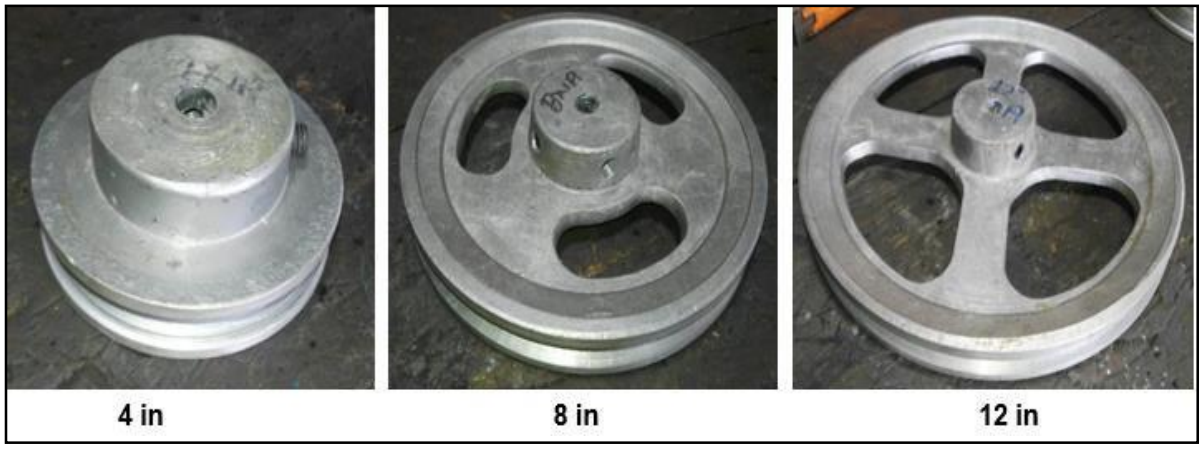


Figura 53. Poleas tipo A [Autores].

Figura 54. Correas A46, A52 y A59 [Autores].

4.5 VALIDACION DEL PROYECTO

4.5.1 Análisis de vibraciones

4.5.1.1 Sensor de medición de vibraciones

Detector de vibraciones, este instrumento mide los sentidos de las vibraciones en puntos predeterminados usando un sensor llamado giroscopio/acelerómetro y trabaja con valores de velocidad, aceleración y demodulación, los valores característicos de la pulidora metalográfica.

4.5.1.2 Recolección de Datos.

Cuando finalizamos una ronda de medición, con el detector de vibraciones los valores característicos medidos son grabados, estos los transferimos a una computadora, a través de un Nano Arduino, dónde son evaluados y analizados gráficamente, como se observa en la figura 51. Para el fijado del sensor a la pulidora metalográfica, debido al material tenemos que pegarlo al punto de medición con la ayuda de un súper glue duro. La configuración del punto de la medición lo seleccionamos y se empieza la medición para luego transportar las señales obtenidas y ser evaluadas por Software de Análisis Vibracional.

Figura 55. Equipo de medición de vibraciones

4.5.1.3 **Software de análisis vibracional**

El software **APP VIBROMETRO** es una aplicación basada en la norma ISO 10816-3, la cual establece condiciones y procedimientos para la evaluación de las vibraciones mecánicas, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas, con objeto de garantizar un funcionamiento fiable del equipo a largo plazo. El propio Detector se diseñó para grabar los datos que fueron medidos. Toda la administración de los datos y las tareas de la evaluación se llevan a cabo por el software **APP VIBROMETRO**. El software es una aplicación desarrollada en Python el cual es un lenguaje de programación que nos permite trabajar rápidamente e integrar los sistemas de manera más eficaz. Además, puede traducirse a lenguaje procesan para ser interpretado por un dispositivo ARDUINO.

En cuanto a los requerimientos de hardware y software, se recomienda unos mínimos que son especificados en la figura 56.

Requisitos Principales		
Pantalla	Mínimo:	960 X 600
	Recomendado:	1280 X 1024
Complementos	ARDUINO	
	CH341SER DRIVER ARDUINO	
Espacio disponible en Disco	Mínimo:	500 MB
	Recomendado:	1 GB
Sistema operativo	Windows 10	Windows 11

Figura 56. Especificaciones de hardware y software.

4.5.1.4 **Resultados de análisis vibracional**

Como parte de la prueba de análisis de vibraciones se hizo necesario variar la posición en la cual se colocó el detector de vibraciones.

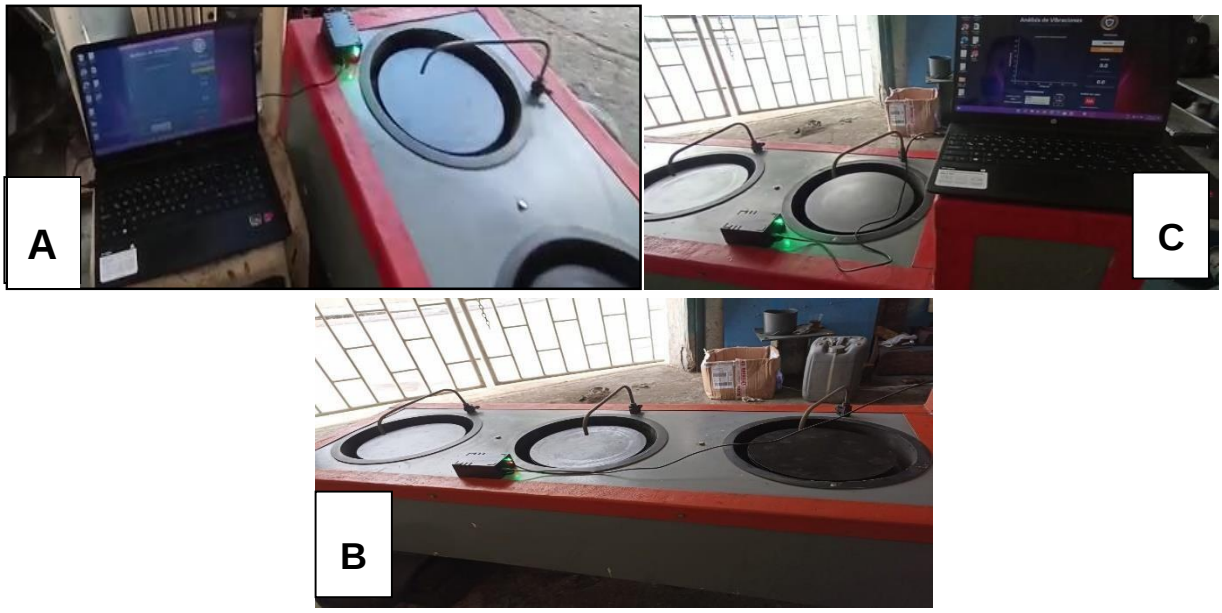


Figura 57. Prueba de vibraciones en diferentes puntos del equipo.

En la figura 57 A) se observa la posición más alejada de la ubicación del motor, la medida fue tomada durante 1 min. El software **APP VIBROMETRO** arrojo el siguiente resultado:

Figura 58. Resultado prueba de análisis de vibración, posición A. [Autores]

En la figura 57 B) se observa la posición media con respecto a la ubicación del motor, la medida fue tomada durante 1 min. El software **APP VIBROMETRO** arrojo el siguiente resultado:

Figura 59. Resultado prueba de análisis de vibración, posición B.

En la figura 57 c) se observa la posición más cercana con respecto a la ubicación del motor, la medida fue tomada durante 1 min. El software **APP VIBROMETRO** arrojo el siguiente resultado:

Figura 60. Resultado prueba de análisis de vibración, posición *C.*

Los resultados obtenidos por la **APP VIBROMETRO** son analizados utilizando la norma ISO 10816-3, que establece para bombas con potencias menores a 15kW, con un soporte rígido, con sistemas de transmisión de eje intermedio y poleas, valores de entre 1.4 mm/s y 3.5 mm/s, que es el rango de velocidad de vibración óptimo para las Máquinas que pueden funcionar indefinidamente sin restricciones. Este intervalo de valores se obtiene a partir de la tabla de velocidad de vibraciones.

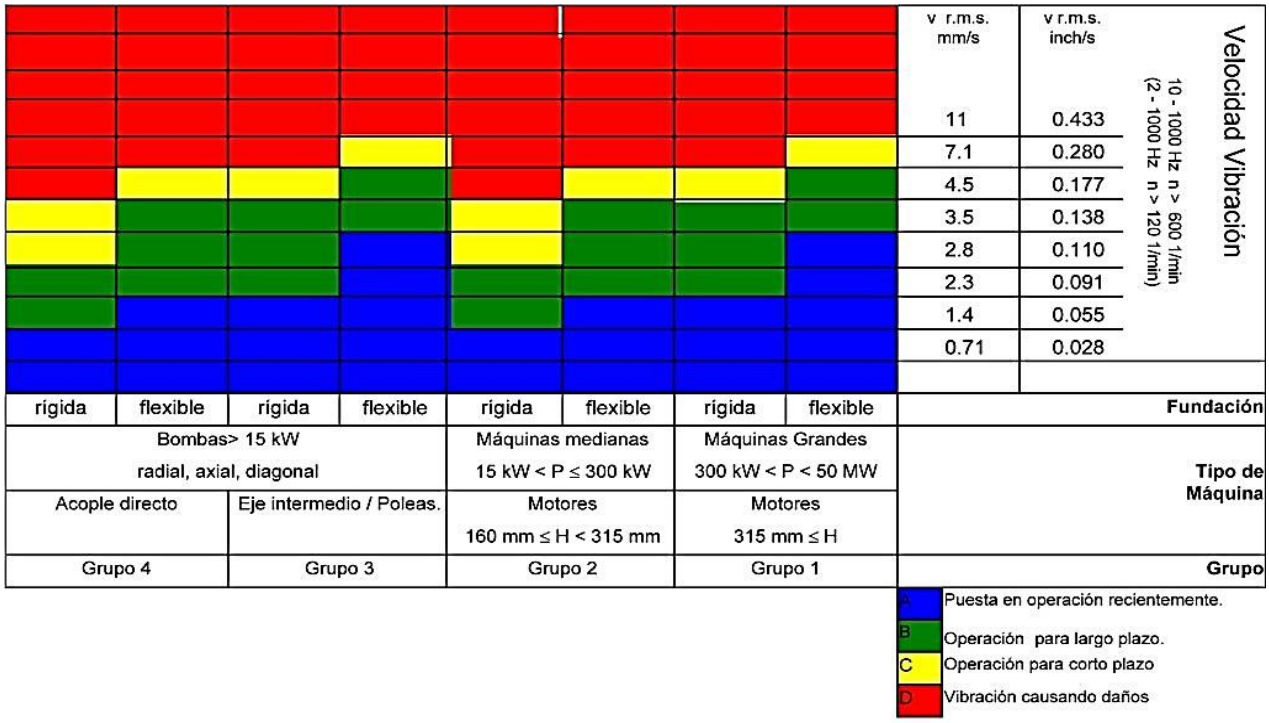


Figura 61. Valores de velocidad de vibración [28].

Para la prueba de medición se obtiene valores, los cuales se observan en la tabla 20, que se encuentran dentro del intervalo de valores de vibración que garantizan una operación a largo plazo.

Tabla 25: Resultados de promedios de amplitudes [Autores]

Velocidades de Vibración	
Prueba	**Promedio de amplitudes (mm/s)**
A	1.7
B	1.76
C	1.87

El **APP VIBROMETRO** en los resultados que presenta además del valor de velocidad de vibración presenta inmediatamente el resultado asociado a el código de colores y la letra del grupo que permiten la evaluación de la maquinaria en cuestión.

4.5.2 **Verificación de las velocidades de pulido**

La verificación de las revoluciones del motor y de los discos de pulido se realizaron mediante un tacómetro como se muestra en la Figura 62.

Figura 62. Tacómetro utilizado para medir los rpm [52].

Tabla 26. Especificaciones técnicas del Tacómetro [52].

Código	**224807**

Referencia	DT-6234B
Tipo	fotoeléctrico con mira laser
Rango contacto	0.5-19.999 RPM
Rango fotoeléctrico	5-99.999 RPM
Rango Velocidad	0.05-1.999.9 m/min (ft/min)
Distancia para sensor fotoeléctrico	50 a 500 mm
Resolución	0.1 a 1 RPM; 0.01 a 0.1 m/min
Exactitud	RPM: ± (0.05 % + 1 Dig) Vel: ± (2 % + 1 Dig)
Algunas Características y funciones	Memorias: Ultima lectura, Máx., Mín., Baterías 4x1.5 V AA

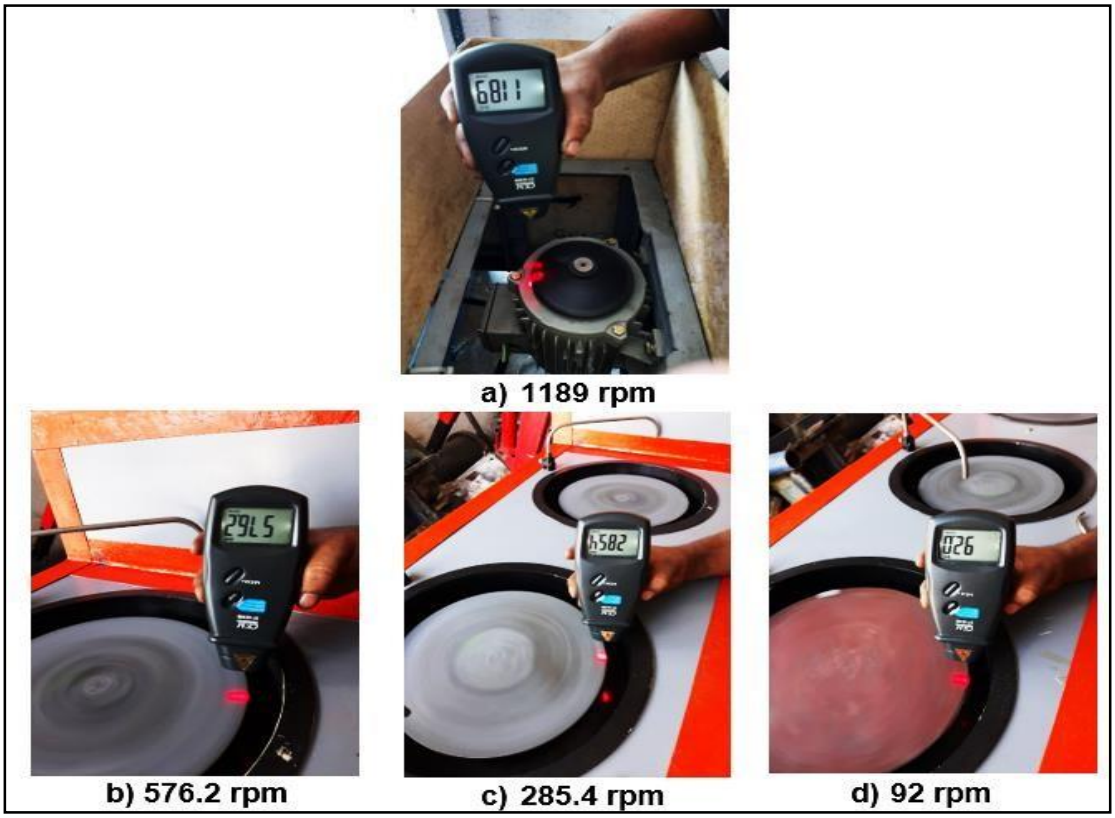


Figura 63. Velocidades verificadas con el tacómetro; a) velocidad de la salida del motor; b) disco pulido basto; c) disco pulido medio y d) disco pulido fino [Autores].

4.5.3 **Parámetros de las pruebas**

La principal variable para el pulido depende de la destreza de las personas que estén manipulando las probetas, luego las velocidades de pulido, el paño y el abrasivo con el que se esté realizando el ensayo, para el caso de nosotros utilizamos 3 tipos de lijas, en diferentes metales como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 27: elementos utilizados para las pruebas del equipo [Autores].

MATERIALES	GRANO DE LIJA	VELOCIDADES (rpm)	DIAMETRO (in)
ACERO 1045	650	100	5/8
ACERO A 36	1200	300	5/8
BRONCE	2000	600	3/4

4.5.4 **Metodología de las pruebas**

Para la ejecución de las pruebas se basó en lo descrito por la norma internacional ASTM E3-01 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens y consta de los siguientes pasos a seguir:

- **Selección, tamaño y corte de las muestras metalográficas:** los cuales están descritos en la Tabla 24 y se muestran en la Figura 64**¡Error! No se encuentra el o rigen de la referencia.**, en la cual se muestran los especímenes luego del corte.

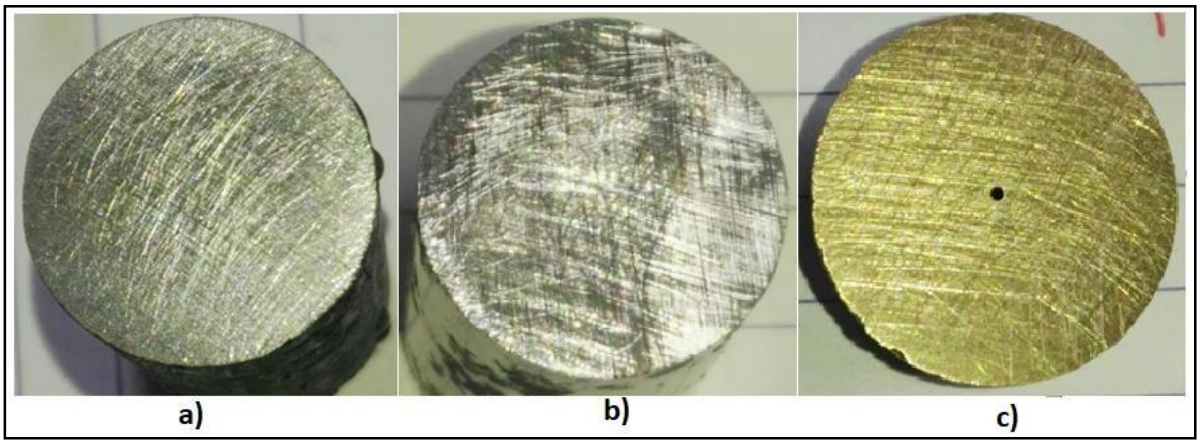


Figura 64. Probetas sin pulir; a) 1045: b) A 36; c) Bronce [Autores].

- **Limpieza, desbaste y pulido de las muestras metalográficas:** Una vez finalizado el corte, se procedió a retirar y limpiar la probeta con alcohol, luego se procedió a desbastar las probetas en el disco a 600 rpm con una lija de 650 como se muestra en la Figura 65, y así, se procedió a pulir las probetas a 300 rpm con lija de grano 1200 (Figura 65) y finalizar en el disco a 100 rpm con lija de grano 200 (Figura 66)

4.5.5 **Análisis de las pruebas**

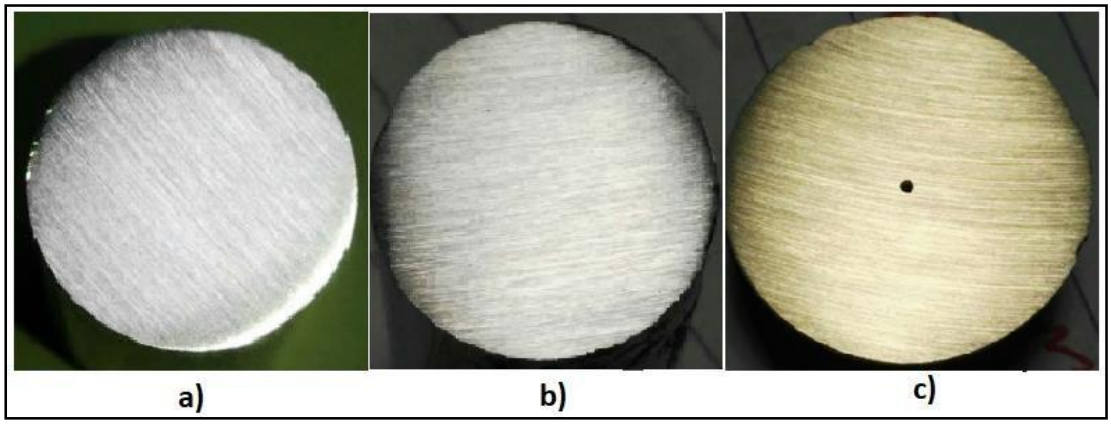


Figura 65. Probetas pulidas a 600 rpm con lija de grano 650; a) 1045: b) A 36; c) Bronce [Autores].

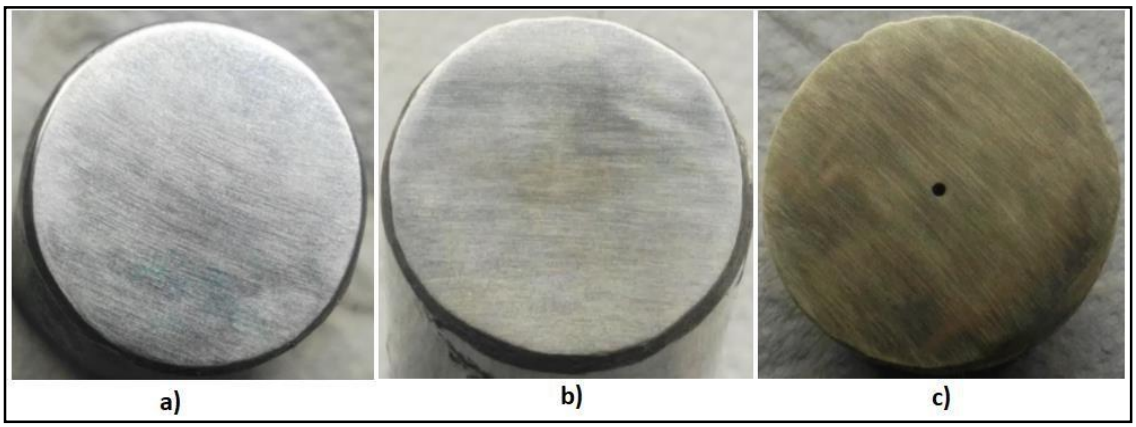


Figura 66. Probetas pulidas a 300 rpm con lija de grano 1200; a) 1045; b) A36; c) Bronce [Autores].

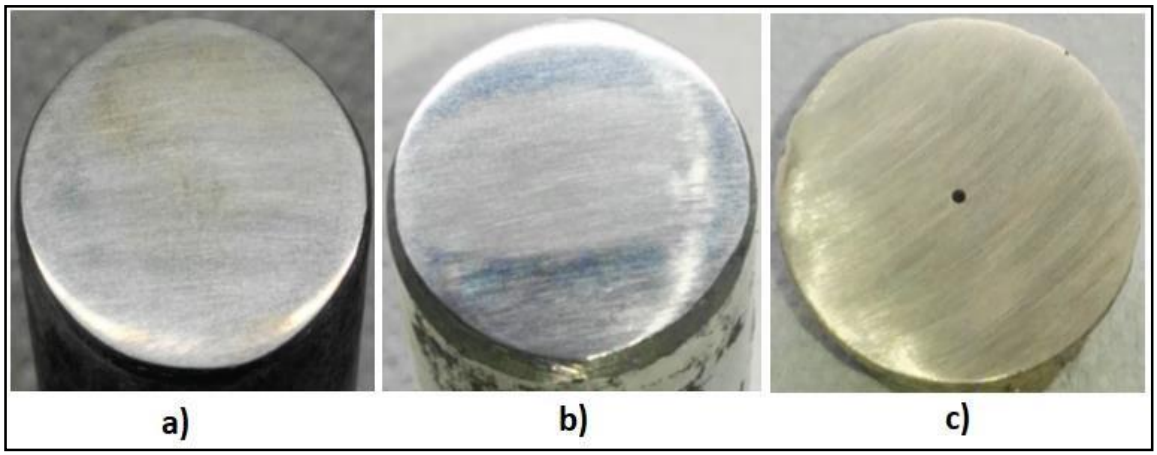


Figura 67. Probetas pulidas a 100 rpm con lija de grano 2000; a) 1045; b) A36; c) Bronce [Autores].

Como se observa en la Figura 65,66 y 67 las superficies de las probetas desbastadas en el equipo diseñado y construido muestran líneas de desbaste uniforme que no presentan ningún tipo de desviación, lo que no se observa en las superficies de las probetas mostradas en la Figura 64.

Esto se debe al seguir los lineamientos de la norma ASTM E3, para la preparación de la probeta en los ensayos metalográficos y a la destreza del operario que realizo el pulido, ya que la presión que se ejerce sobre el espécimen se aplica de forma continua y uniforme, lo cual no permite formación de planos sobre la superficie que se trabajó.

Según lo observado, el equipo de pulido presenta un buen desempeño tanto cuando se realizó el desbaste en materiales duros como en materiales blandos, por lo tanto, se puede considerar que esta validado el buen funcionamiento del equipo.

CONCLUSIONES

- El proyecto permitió el diseño y construcción de una máquina de pulido metalográfico que funciona en conjunto con los equipos tribológico en la Universidad del Atlántico para el desbaste y pulido de probetas a distintas revoluciones de trabajo de los discos utilizando un motor eléctrico como dispositivo de arrastre. Al diseñar la maquina se obtuvo un equipo robusto, económico, didáctico, de fácil operación y desarme, para un rápido mantenimiento y cambio de piezas fáciles de encontrar en el mercado nacional.

- Se construyo una estructura para el sistema de fijación de los componentes, se desarrolló un sistema de pulido para 3 discos con velocidad constante: 100 RPM, 300 RPM y 600 RPM, con base en las especificaciones técnicas y de diseño encontradas en la revisión bibliográfica y búsquedas abiertas, de manera complementaria se validó el diseño a través de un software CAD.

- En el proyecto en mención se alcanzó a fabricar en detalle una pulidora metalográfica con los parámetros y requisitos establecidos en el diseño conceptual establecido en este proyecto, este desarrollo cumple con criterios específicos de aceptación en los aspectos técnicos, estéticos y de eficiencia del sistema.

- Dado los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se procedió a instalar la maquina en el laboratorio de Tribología y Tratamientos Térmicos ubicado en el Centro de Laboratorios y Talleres de Ingeniería (CELTI) de la Universidad del Atlántico, esto con el objeto de validar su funcionamiento y formalizar su entrega a la institución a través del programa de Ingeniería Mecánica.

- La elaboración de este proyecto posibilita que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería adquieran una mayor apropiación de los conocimientos relacionados con el

área de degaste, fricción y pulido, al igual que un enfoque más realista a procesos asociados estrechamente con los ensayos metalográficos y lubricación.

- La fabricación del equipo resultó más económica que la compra de este en el mercado local. Un equipo de pulido normal de 1 disco cuesta alrededor de 5000 USD. Gracias al equipo se hace un uso eficiente del laboratorio de tratamientos térmicos, esto al cumplir con 3 discos de pulido en una sola máquina, lo cual, nos muestra que estamos formados académicamente para la fabricación de equipos competitivos y de buena calidad a los ofertados en el mercado.

- El uso de herramientas computacionales fue clave para el proceso de diseño de la estructura y los elementos mecánicos, mediante los cuales se modelaron diferentes alternativas de diseño y se logró obtener una mayor exactitud en la predicción de los criterios de falla en los componentes más críticos de la estructura, los cuales,, al compararlos con los cálculos teóricos concluimos que la selección de dichos materiales y características de los componentes fueron los adecuados para nuestro diseño.

- El no cumplir con las instrucciones y sugerencias que nos ofrece la norma ASTM E3-01 (Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens), puede conllevar a malas prácticas y resultados indeseados. Al validar el equipo se notó que es de vital importancia regirse por la norma, principalmente en la preparación de las probetas.

- Se elaboro un manual de operación y mantenimiento para la pulidora metalográfica, de modo que se puedan establecer las correctas pautas para su uso en el laboratorio de Tribología y tratamientos térmicos de la Universidad del Atlántico.

RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos queda la facilidad de automatizar el equipo, implementando un variador de velocidad al motor de arrastre o en otro caso motor y variador a cada disco, para así, lograr un rango mayor en las velocidades de pulido.

- Se recomienda la instalación de un sistema de bombeo recirculado para alcanzar un menor consumo en el refrigerante a utilizar.

- Realizar un galvanizado, cromado o cambio de discos a un material más resistente a la corrosión debido a su constante contacto con agua.

- Cambios en la altura de la estructura y adecuación con llantas para una mejor movilidad del equipo, debido a su peso.

REFERENCIAS

[1] ASTM, International. Grinding and polishing. En: Preparation and analysis of ceramic microstructures. USA: Richard Chinn, 2002. p. 35-44.

[2] Higuera, O, et al. Diseño y construcción de una desbastadora metalográfica bajo norma ASTM E 3. En: Scientia et Technica. Septiembre, 2007, vol 36. Universidad Tecnológica de Pereira. p 41-45. ISSN 0122-1701.

[3] ASKELAND, Donald. Ciencia e ingeniería de los materiales. 4ª ed. International Thompson editores, S.A., 2004. ISBN 970-686-361-3.

[4] LIANG, Liao, FENGFENG, Xi, and KEFU, Liu. Modeling and control of automated polishing/deburring process using a dual-purpose compliant toolhead. En: International Journal of Machine Tools & Manufacture. Abril, 2008, vol 48. Elsevier. p. 1454-1463. ISNN 0890-6955.

[5] ASTM. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. E 3-01. United States: American Society for Testing Materials, 2011. 12 p.

[6] BUEHLER. The science behind materials preparation. USA: Buehler LTD, 2004. 135 p. ISBN 0-9752898-0-2.

[7] DOYLE, L.E, et al. Manufacturing processes and materials for engineers. 3 ed. New Jersey: Prentice-Hall inc, 1985. 926 p. ISBN 978-013-555-921-5.

[8] ROSWELL, A, et al. Modelling and analysis of contact stress for automated polishing. En: International Journal of Machine Tools and Manufacture. Marzo, 2006, vol 46(3-4). Elsevier. p. 424-435. ISSN 0890-6955.

[9] NARANJO, Carlos y RACINES, Ricardo, Diseño y construcción de una máquina de desbaste para probetas metalográficas. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico. Quito: Escuela politécnica nacional, facultad de ingeniería, 2010, 157p.

[10] LLUMIQUINGA, William y QUISPE, Jorge, Diseño y construcción de un banco metalográfico para el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Trabajo de grado presentado para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico. Latacunga: Universidad técnica de Cotopaxi, facultad de ingeniería, 2016, 121p.

[11] PAREDES, Marcos y VIVANCO, David, Diseño y Construcción de un sistema de pulido de probetas metálicas (Capacidad de 4 probetas por hora) para el laboratorio de metalurgia de la FIM-E. Proyecto previo para la obtención del título de Ingeniero

Mecánico. Sangolquí: Escuela politécnica del ejército, facultad de ingeniería, 2006, 150p.

[12] CARDENAS, Jorge y CARRERA, julio, Diseño y construcción de una pulidora de probetas con paño a implementar en el laboratorio de metalografía de la universidad politécnica salesiana – campus kenedy. Proyecto previo a la obtención del título ingeniero mecánico. Quito: Universidad politécnica salesiana sede, facultad de ingeniería, 2015, 159p.

[13] LIMA, Nelson, LÓPEZ, Elmer y LÓPEZ, juan, Diseño y construcción una máquina semiautomática para el lijado de muestras metalográficas planas. Proyecto previo para optar el título de Ingeniero Mecánico. El Salvador: Universidad de El Salvador, facultad de ingeniería y arquitectura, 2003, 115p.

[14] BELLO, marco y PARDO, Hernando, Diseño y construcción de una pulidora de disco y una pulidora de banda metalográfica. Proyecto para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Bogotá: Universidad Santo Tomas, facultad de ingeniería, 2007, 160p.

[15] T. A. Stolarski, Tribology in Mashine Design, Oxford Auckland Boston Johannesburg Melbourne New Delhi: Butterworth Heinemann, 1990.

[16] K. Ludema, FRICTION, WEAR, LUBRICATION: a textbook in tribology, Boca Raton, New York, London, Tokyo: CRC Press, 1996.

[17] W. D. J.-L. J. M. O. P. Brostow, «Tribologia con enfasis en polimetos: friccion, resistencia al rayado y al desgaste,» *Journal of materials education,* vol. 25, nº 4-6, pp. 119-132, 2003.

[18] F. Martínez, La tribología : ciencia y técnica para el mantenimiento, Mexico: Limusa. Noriega Editores, 2002.

[19] D. Dowson, History of tribology, London: Logman Group Limited, 1979.

[20] I. M. Hutchings, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Gran Bretaña: Butterworth-Heinemann, 1992.

[21] J. A. W. J. B. P. Greenwood, «Contact of Nominally Flat Surfaces,» *Royal Society's physical sciences,* vol. 295, 06 12 1966.

[22] FABCOM. Discos de corte, desbaste y pulido datos básicos. COLOMBIA: FABCOM s.a.s., 2017.

[23] FUTURE-TECH. Sample preparation machines. JAPON: Future-tech corp. LTD. 2008.

[24] LAMPLAN. Metalografía, desbaste y abrasivos. ESPAÑA: Lamplan. 2015.

[25] KEHL, George. Fundamentos de la práctica metalográfica. Madrid: Aguilar, 1954. 516 p.

[26] Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Sonic Resonance; designation: E 1875 – 00. ASTM International, 2000. 7 p.

[27] Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration; designation: E 1876 – 07. ASTM International, 2007. 15 p.

[28] TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE, Severidad de Vibraciones Norma Iso 10816-3, 2009.

[29] CRUZ, Gerardo. Interpretación de ISO 10816-3: el estándar de vibración mecánica para el monitoreo del estado del equipo, 2020.

[30] "Buehler Metaserv Probenschleifmaschine (Auction Premium) | NetBid España." Available: https://www.netbid.com/es/subastas/detalle-vista-general/15851520-15113868-Buehler-Metaserv-Probenschleifmaschine/

[31] "Scopus - Detalles del documento - Un estudio preliminar sobre la maquinabilidad del acero inoxidable súper austenítico." https://www-scopus-com.ezproxy.cuc.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-84981244432&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=7b08ae5fcaf2801946c2448e8b5a70e9&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28%28%28CONSTRUCTION+OR+DESIGN%29+AND+MACHINE+AND+POLISHING+AND+METALLOGRAPHY%29%29&sl=89&sessionSearchId=7b08ae5fcaf2801946c2448e8b5a70e9

[32] HERNANDEZ, Roberto; FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. Metodología de la investigación. 5 ed. México D.F., 2010. 656p. ISBN 978-607-15-0291-9.

[33] SYDNEY H, Avner, Introducción a la metalurgia física. 2 ed. México D.F.: McGraw-Hill, 1988. 695 p. ISBN 0-07-002499-5.

[34] INTEF. Mecanismos de transmisión. ESPAÑA: Instituto nacional de tecnologías educativas y de formación de profesorado. Disponible en internet: <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20poleas%20y%20correas.htm>

[35] CENTRO DE CAPACITACIÓN INTERNET. Ley de Faraday [online]. Medellín: Universidad de Antioquia. Ingeniería de Sistemas - Regionalización. 25001 [citado 10 octubre 2017]. Disponible en Internet: <http://docencia.udea.edu.co/regionalizacion/irs-404/presentacion/descripcion.html>

[36] FRAILE Mora, Jesús. Maquinas Eléctricas. 5ed. España: McGraw-Hill, 2003. p.87.

[37] FUNDACIÓN RED DE ENERGÍA BUN-CA. Manual técnico: Motores eléctricos [en línea]. 1 ed.San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2011. 35 p. ISBN: 978-9968-904-36-0

[38] "SISTEMAS DE PULIDO AUTOMÁTICO DE DOS PLATOS SERIE TSP – KANSERT Metrología Metalografía y Ensayos." https://kansert.es/mme/producto/sistemas-de-pulido-automatico-de-dos-platos-serie-tsp/

[39] "Fácil de usar la máquina Gridning-Polishing - China Gridning-Polishing Machine, máquina pulidora Gridning." https://es.made-in-china.com/co_jiebotech/product_Gridning-Polishing-Machine-Easy-to-Use_hohhegugg.html

[40] "Equipo para preparación de muestras metalográficas - Imocom · Control de Calidad." https://control-de-calidad.imocom.com.co/portfolio/equipo-para-preparacion-de-muestras-metalograficas/

[41] FARIAS, Paola, et al. Evolución de los modelos del proceso de diseño. C. Riba, & A. Molina, Ingeniería Concurrente: Una visión integradora, 2006, p. 21-36.
[37] SEBATIÁN HERRANZ, Margarita y NOYA ANÁIZ, Reyes. Adaptación de puestos de trabajo. Madrid (España): CEAPAT, diciembre, 2006.64 p.

[42] ESTRADA, Jairo. Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995. Medellín: Universidad De Antioquia. Instituto De Seguros Sociales, septiembre 1994 - diciembre 1995. p.73.

[43] FARRER, F, MINAYA, G., et al. Manual de Ergonomía, Fundación Mapfre, Ed Mapfre S.A., Madrid, (España) 1994.

[44] BARBOSA, Luisa y DELGADO, Natalia. Determinación de la fuerza máxima aceptable para empujar y halar cargas por parte de trabajadores… Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial. Bogotá: Pontifica Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería Industrial, 2004. 159 p.

[45] Producción de Investigación Universitaria Tesis Digitales, Universidad de las Américas Puebla, "Coeficiente de fricción de materiales comunes," Mayo 2017. [en

línea]. Disponible: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/bonilla-mercado_jc/ apendiceB.pdf

[46] Versión 1.0 de 2020, SIMOTICS el portafolio de motores eléctricos más amplio del mundo, Siemens S.A., Múnich, GER.

[47] BUDYNAS, Richard y KEITH, J. Diseño de ingeniería mecánica de Shigley. 8 ed. México D.F., 2008. 1092 p. ISBN 970-10-3646-8.

[48] Beer, F. P., Johnston, E. R., Eisenberg, E. R., & Sarubbi, R. G. (1967). Mecánica vectorial para ingenieros (No. 968-422-565-2. 04-A1 LU. CG-12.). McGraw-Hill.

[49] American Welding Society aws, código estructural de soldadura con acero aws d1.1, USA, American Welding Society, 2015.

[50] Catalogo No. Rev.1, Perfilería metálica para construcción en seco y sistemas de tabiquería, Ingeperfiles S.A.S., Barranquilla, ATL.

[51] American Welding Society, specification for welding procedure and performance qualification, MIAMI: American Welding Society, 2000.

[52] American Welding Society, Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding, Miami: American Welding Society, 2004.

[53] Catalogo No. PUB 65, Unidades de rodamientos de bolas SKF para líneas de procesamiento de alimentos, Grupo SKF, Gotemburgo, SE.

[54] Catalogo No. 001, Tacómetros digitales portátiles contacto y fotoeléctrico, CEM catálogo. SGS Colombia S.A.S., Bogotá, Col.

ANEXOS

Anexo 1: Catálogo de correas tipo A Dayco.

DAYCO GOLD LABEL V - MM
CORREAS TRAPECIALES DE SECCIÓN CONVENCIONAL

SECCIÓN "A" (13 x 8 mm.)

TIPO	DESARROLLO INTERIOR mm.	DESARROLLO PRIMITIVO mm.
A37,50	953	986
A38	965	998
A38,50	978	1011
A39	991	1024
A39,50	1003	1036
A40	1016	1049
A40,50	1029	1062
A41	1041	1074
A41,50	1054	1087
A41,75	1060	1093
A42	1067	1100
A42,50	1080	1113
A43	1092	1125
A43,50	1105	1138
A43,75	1111	1144
A44	1118	1151
A44,50	1130	1163
A45	1143	1176
A45,50	1156	1189
A46	1168	1201
A46,50	1181	1214
A47	1194	1227
A48	1219	1252
A48,25	1226	1259
A49	1245	1278
A50	1270	1303
A51	1295	1328
A51,50	1308	1341
A52	1321	1354
A52,50	1334	1367
A53	1346	1379
A53,25	1353	1386
A54	1372	1405
A55	1397	1430
A56	1422	1455
A57	1448	1481
A58	1473	1506
A59	1499	1532
A60	1524	1557

SECCIÓN "A" (13 x 8 mm.)

TIPO	DESARROLLO INTERIOR mm.	DESARROLLO PRIMITIVO mm.
A64	1626	1659
A65	1651	1684
A66	1676	1709
A67	1702	1735
A68	1727	1760
A69	1753	1786
A70	1778	1811
A70,75	1797	1830
A71	1803	1836
A72	1829	1862
A73	1854	1887
A74	1880	1913
A75	1905	1938
A76	1930	1963
A77	1956	1989
A78	1981	2014
A79	2007	2040
A80	2032	2065
A81	2057	2090
A82	2083	2116
A83	2108	2141
A83,50	2121	2154
A84	2134	2167
A85	2159	2192
A86	2184	2217
A87	2210	2243
A88	2235	2268
A89	2261	2294
A90	2286	2319
A91	2311	2344
A92	2337	2370
A93	2362	2395
A94	2388	2421
A95	2413	2446
A96	2438	2471
A97	2464	2497
A97,50	2477	2510
A98	2489	2522
A99	2515	2548

Anexo 2: Dimensiones de conversión de longitud.

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Anexo 3: Tabla 17-13: Factor de corrección del ángulo de contacto K1 para trasmisiones de banda plana W* y en V.

$\frac{D-d}{C}$	θ, grados	K_1 VV	K_1 Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de θ es
$K_1 = 0.143\,543 + 0.007\,46\,8\,\theta - 0.000\,015\,052\,\theta^2$
en el intervalo de $90° \leq \theta \leq 180°$.

Anexo 4: Tabla 17-14: Factor de corrección de longitud de banda K2*.

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

*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

Anexo 5: Tabla 17-12: Potencias nominales de bandas en V estándar.

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89

Anexo 6: Tabla 17-15: Factores de servicio sugeridos Ks para transmisiones de banda en V.

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Anexo 7: Tabla 17-16: Algunos parámetros de bandas en V*.

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

Anexo 8: Resistencias mínimas determinísticas a la a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros.

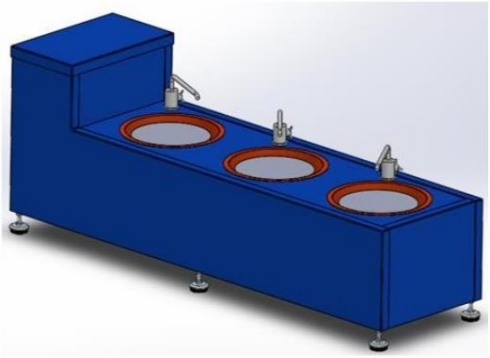
1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Anexo 9: Plan de mantenimiento preventivo.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Nombre del operador			
Fecha de revisión	Día:	Mes:	Año:
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO DIARIO		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
limpieza de la maquina			
Secado de discos de pulido			
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO SEMANAL		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
Engrase de rodamientos			
Lubricación de ejes			
Limpieza e inspección visual del equipo			
Limpieza de los recolectores de agua			
Limpieza de los filtros			
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO MENSUAL		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
Nivel aceite del motor			
Voltaje del motor			
Amperaje del motor			
Ajuste de las correas y las poleas			
Alineación de los ejes			
Estado del cableado			
Tuberías de entrada y salida de agua			
Limpieza de los grifos			
TIPO DE MANTENIMIENTO			
	MANTENIMIENTO SEMESTRAL		
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	**OBSERVACIONES**		
Desgaste y tensión de las correas			
Descaste en los canales de las poleas			
Chequeo embobinado del motor			
Arranque del equipo sin carga			

Anexo 10: Ficha técnica pulidora metalográfica.

FICHA TÉCNICA PULIDORA METALOGRÁFICA



Descripción

- **Dimensiones:**
  1600 mm x 500 mm x 300 mm (largo, ancho y alto)
- **Motor:**
  1 HP trifásico 220/440 V - 60 HZ
  1200 rpm.
- **Velocidades de pulido:**
  600, 300 y 100 rpm.

MATERIALES

ESTRUCTURA: ASTM A36
EJES: AISI SAE 1045 ESTIRADO EN FRIO
DISCOS DE PULIDO: ASTM A36
DISCOS DE AJUSTE EJE Y PULIDO: ASTM A36
POLEAS: ALUMINIO
CARCAZA: FIBRA DE VIDRIO

FUNCIÓN

Pulido de probetas metálicas, para su respectivo ensayo metalográfico.

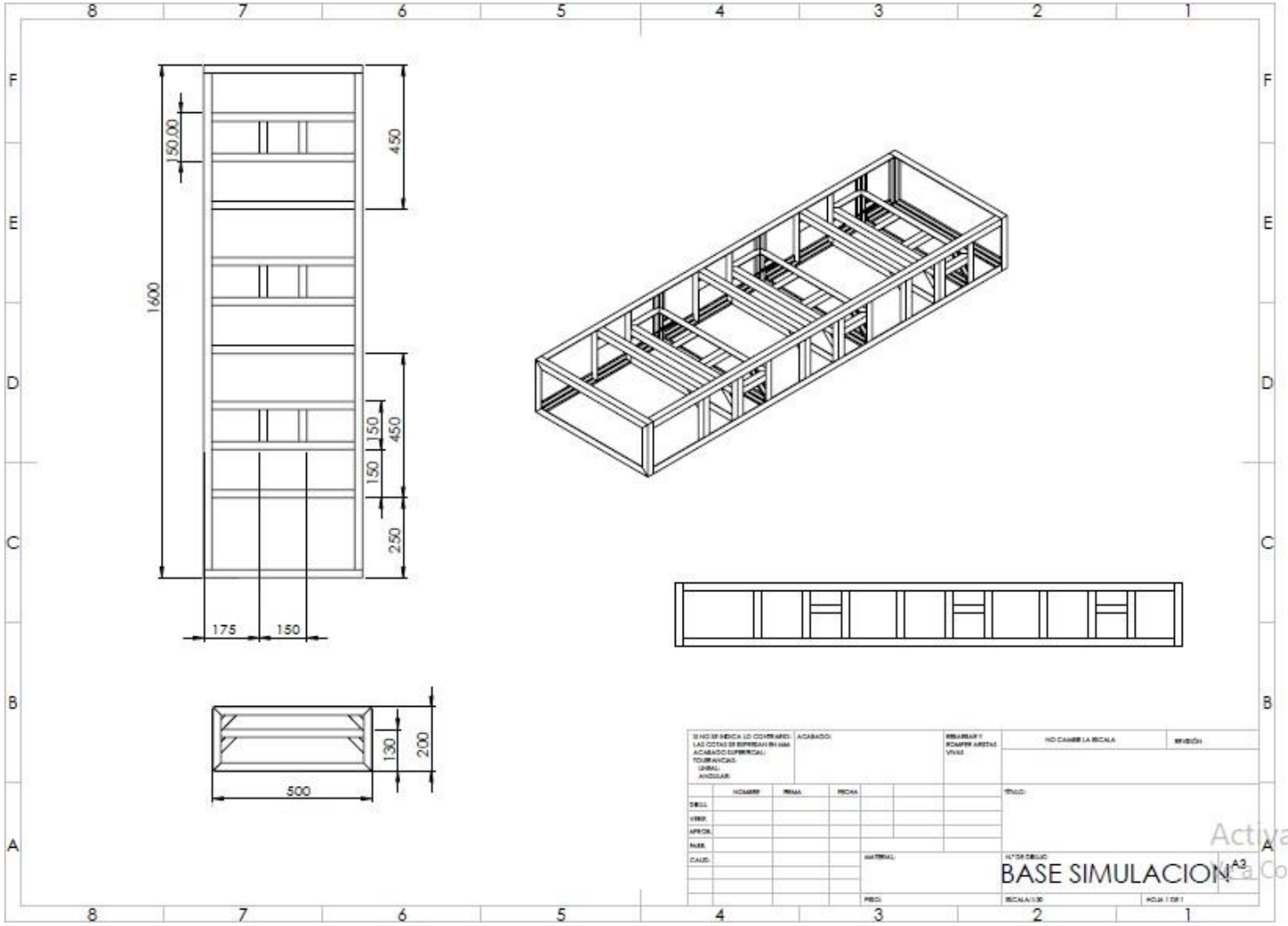
OPERACIÓN

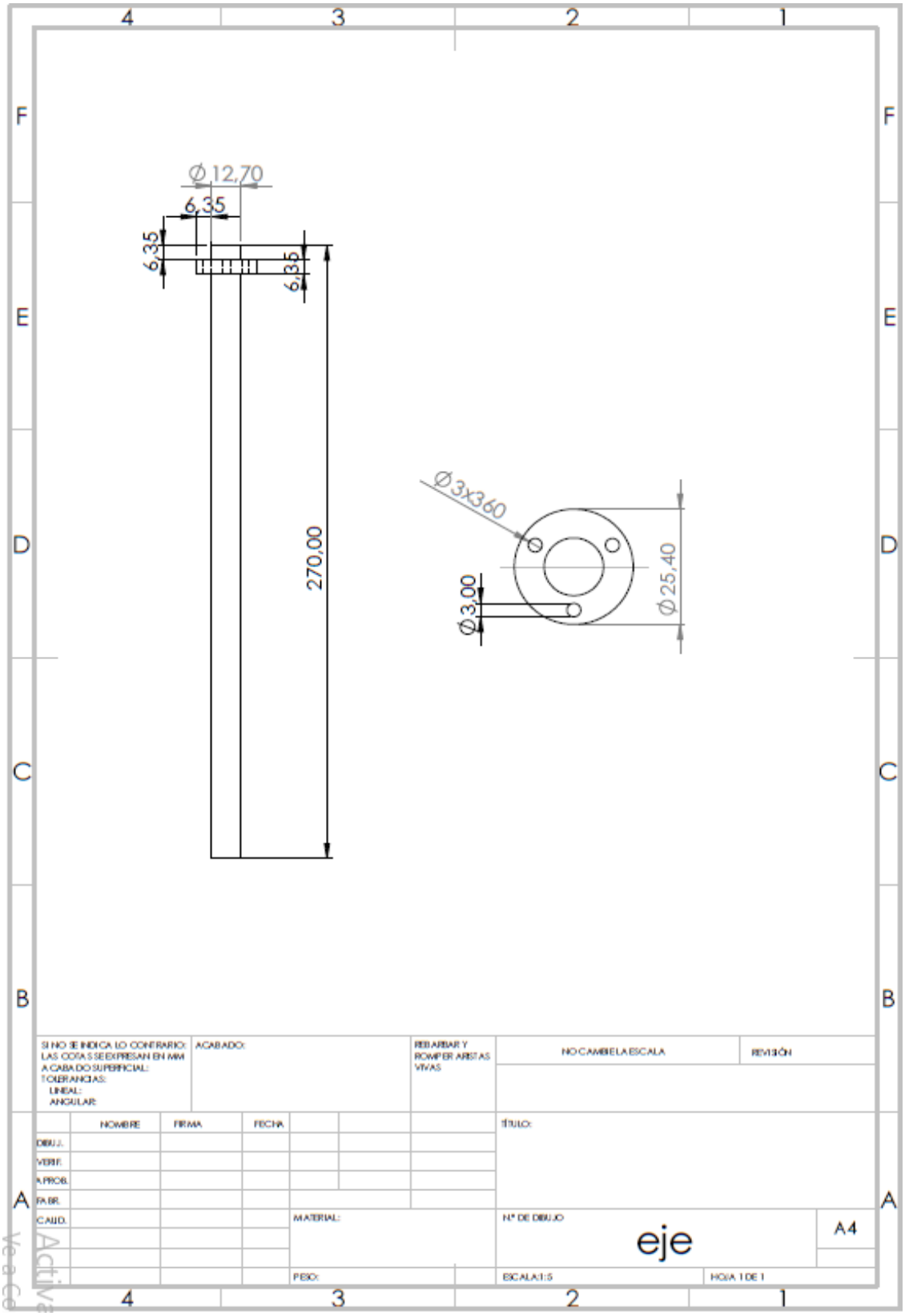
Se coloca la probeta sobre el paño o lija localizados en los discos de pulidos, ejerciendo una leve presión sobre ellas, por cortos periodos de tiempo.

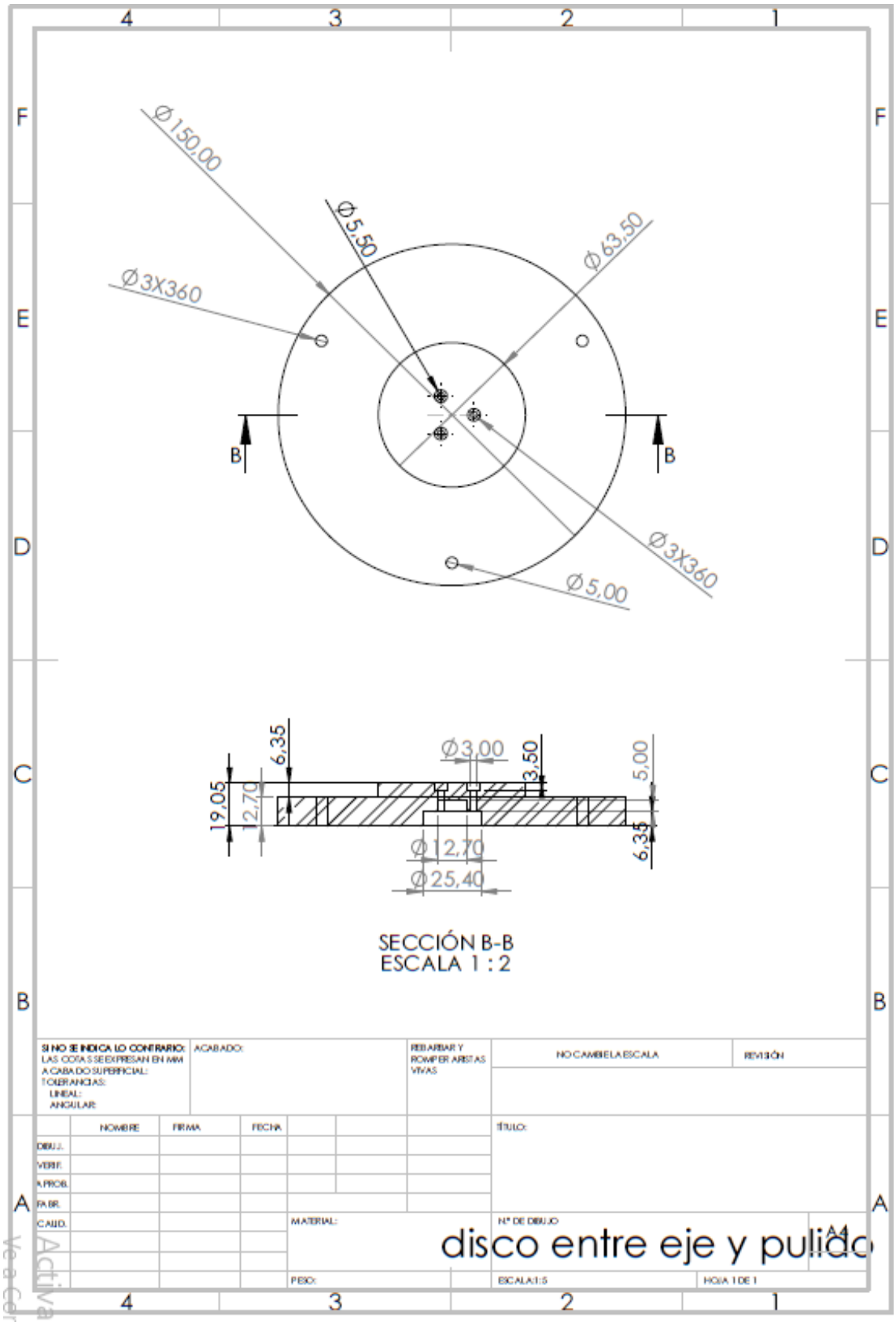
VENTAJAS

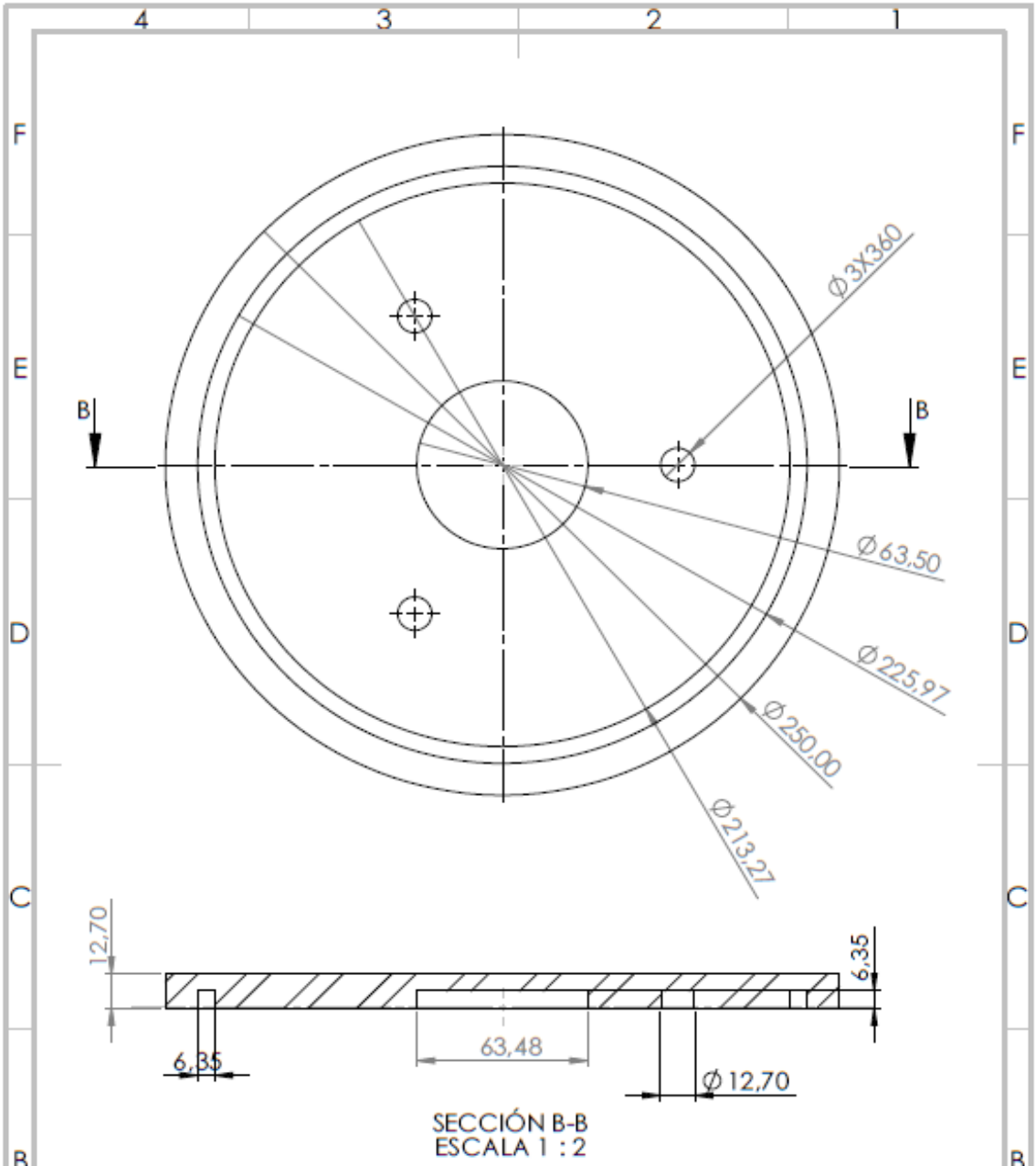
- Fácil manejo y operación
- Hasta 3 operarios por maquina
- Fácil arme y desarme
- Fácil mantenimiento
- Diferentes tipos de pulido

Anexo 11: Planos de las partes principales del equipo.




Ø12,70
6,35
6,35
6,35
270,00
Ø3x360
Ø3,00
Ø25,40
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
ACABADO:
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
MATERIAL:
PESO:
Nº DE DIBUJO
eje
A4
ESCALA:1:5
HOJA 1 DE 1


Ø150,00
Ø5,50
Ø63,50
Ø3X360
Ø3X360
Ø5,00
B
B
6,35
19,05
12,70
Ø3,00
3,50
5,00
6,35
Ø12,70
Ø25,40
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
ACABADO:
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ.
VERIF.
APROB.
FABR.
CALID.
MATERIAL:
PESO:
TÍTULO:
Nº DE DIBUJO
A4
disco entre eje y pulido
ESCALA:1:5
HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA / REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:

MATERIAL:

Nº DE DIBUJO

disco pulido

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

Activa
Ve a Co

Anexo 12: Manual de usuario App Vibrometro

MANUAL DE USUARIO

App Vibrometro

Manual de Usuario

APP VIBROMETRO

Este manual describe al usuario la instalación, configuración y uso de la aplicación APP VIBROMETRO.

Tabla de contenido

Acerca de Aplicación 4

Requisitos de Hardware y Software 4

Primeros Pasos 5

Instalación 5

Inicio del programa 10

Interfaz APP VIBROMETRO 10

Tabla de Figuras

Figura 1: Explorador de archivos - Seleccionando instalador 123
Figura 2: Asistente de instalación PYTHON 123
Figura 3: Instalación PYTHON 124
Figura 4: Confirmación de instalación de programa.....124
Figura 5: arduino-1.8.19-windows.exe.....125
Figura 6: instalación Arduino 125
Figura 7: Componentes de Arduino 126
Figura 8: Carpeta destino de instalación 126
Figura 9: Instalación finalizada.....127
Figura 10: Driver de Arduino.....127
Figura 11: instalación Driver de Arduino .....¡Error! Marcador no definido.
Figura 12: Instalación Finalizada.....128
Figura 13: Icono – Escritorio.....129
Figura 14: Interfaz de la aplicación.....129
Figura 15: Norma ISO 10816 132

Manual de Usuario **APP VIBROMETRO**

1. Acerca de Aplicación

Es una aplicación basada en la norma ISO 10816-3, la cual establece condiciones y procedimientos para la evaluación de las vibraciones mecánicas, utilizando mediciones realizadas sobre partes no rotativas de las máquinas, con objeto de garantizar un funcionamiento fiable del equipo a largo plazo.

APP VIBROMETRO es una aplicación desarrollada en Python el cual es un lenguaje de programación que nos permite trabajar rápidamente e integrar los sistemas de manera más eficaz. Además, puede traducirse a lenguaje processing para ser interpretado por un dispositivo ARDUINO.

1.1 Requisitos de Hardware y Software

A continuación, se listan los requisitos fundamentales para la ejecución de la aplicación APP VIBROMETRO.

Tabla 1: Requisitos Principales para instalación.

Requisitos Principales		
Pantalla	**Mínimo:**	960 X 600
	Recomendado:	1280 X 1024
	ARDUINO	

Complementos	**CH341SER DRI**	**ER ARDUINO**
Espacio disponible en Disco	**Mínimo:**	500 MB
	Recomendado:	1 GB
Sistema operativo	Windows 10	Windows 11

2. Primeros Pasos

La sección de 'Primeros pasos' describe los aspectos básicos para manejo de la aplicación como lo son la instalación de los programas, el Inicio del Sistema, las funciones básicas del Menú y las pantallas de Información.

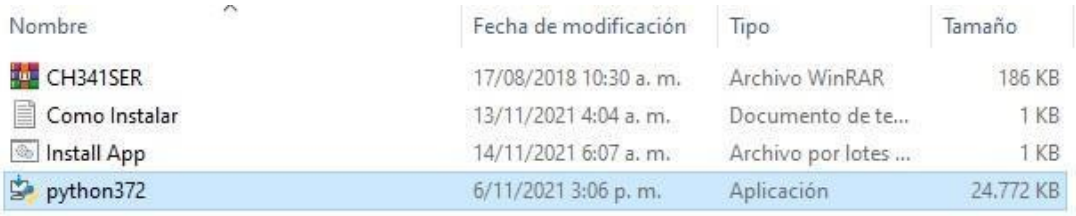
2.1. Instalación

Verificados los requisitos de software y hardware siga las siguientes instrucciones para instalar APP VIBROMETRO:

2.1.1. Instalación Python

a) Haga clic sobre el archivo python372 mostrado en la Figura 1.

Figura 1: Explorador de archivos - Seleccionando instalador.

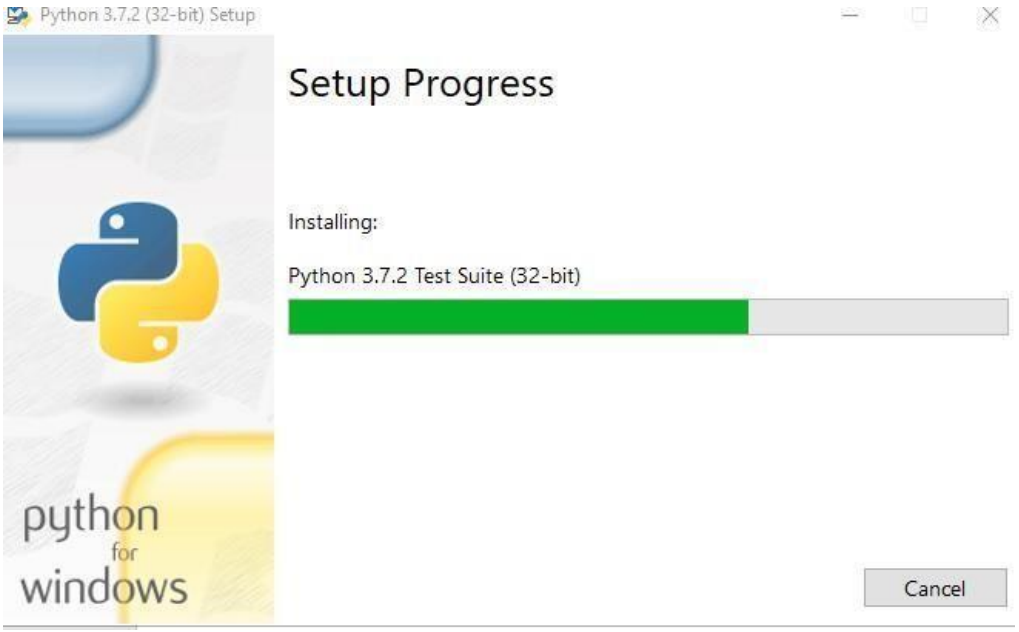


Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
CH341SER	17/08/2018 10:30 a. m.	Archivo WinRAR	186 KB
Como Instalar	13/11/2021 4:04 a. m.	Documento de te...	1 KB
Install App	14/11/2021 6:07 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
python372	6/11/2021 3:06 p. m.	Aplicación	24.772 KB

b) El instalador deberá ejecutarse. Una vez el instalador se ponga en marcha como se muestra en la Figura 2, aparecerá el asistente para instalación de PYTHON; luego haga clic en “Install Now” y siga las instrucciones que aparecerán en pantalla. **Figura 2:** Asistente de instalación PYTHON.

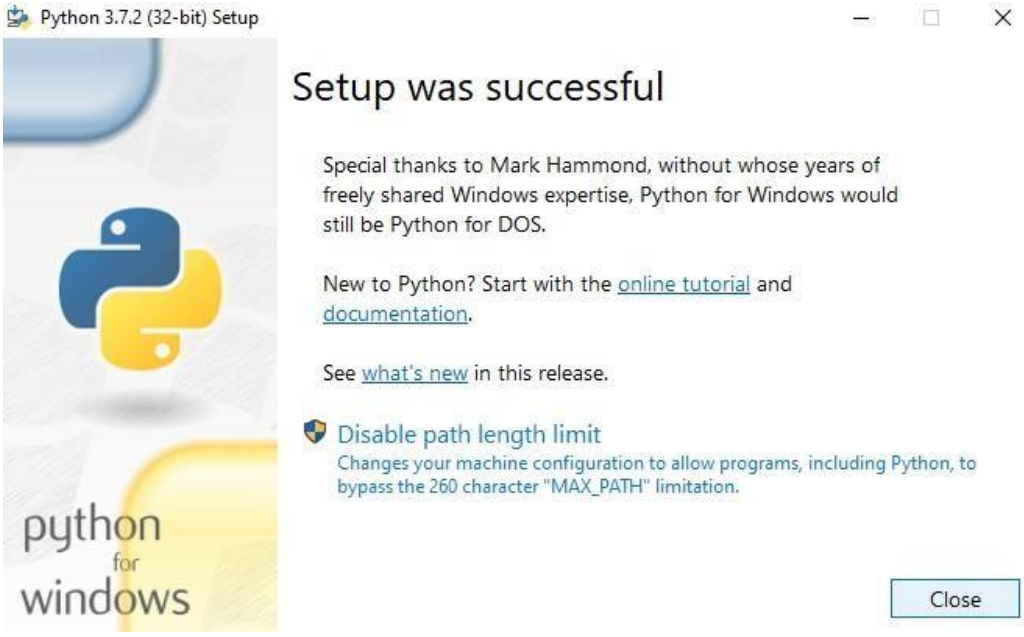
c) En la Figura 3, se muestra la ventana de “instalación del programa”.

Figura 3: Instalación PYTHON.



d) Una vez instalado haga clic en “Close”, como se muestra en Figura 4.

Figura 4: Confirmación de instalación de programa.



2.1.2. Instalación Arduino.

Luego de la instalación de Python, procedemos con la instalación del software Arduino, el cual es de licencia gratuita y se puede descargar en la página de Arduino con el siguiente enlace: *https://www.arduino.cc/en/software.*

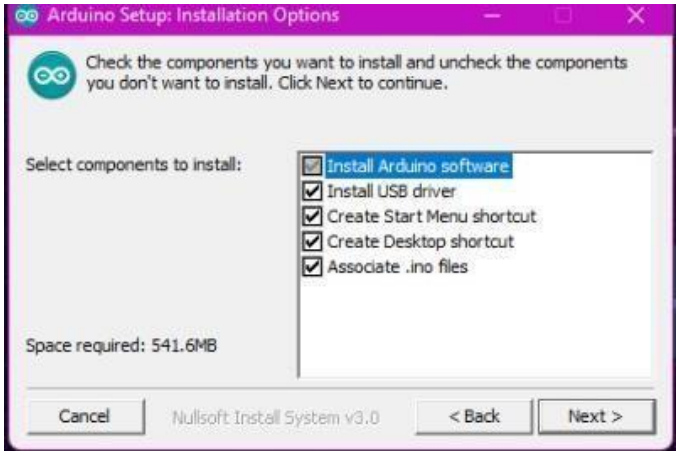
a) Luego de la descarga, haga clic en el archivo como se muestra en la figura 5, e inician la instalación.}

Figura 5: arduino-1.8.19-windows.exe

b) Luego haga clic en “I Agree” como se muestra en la figura 6. **6*:*** instalación Arduino.

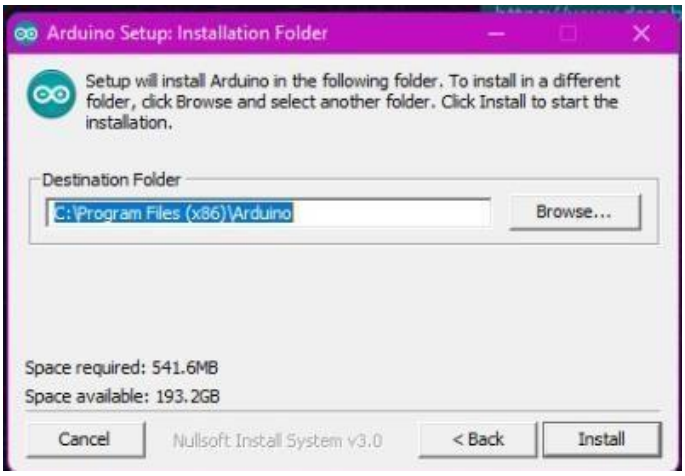
b) El siguiente paso es hacer clic en “Next” como se muestra en la figura 7.

Figura 7: Componentes de Arduino.



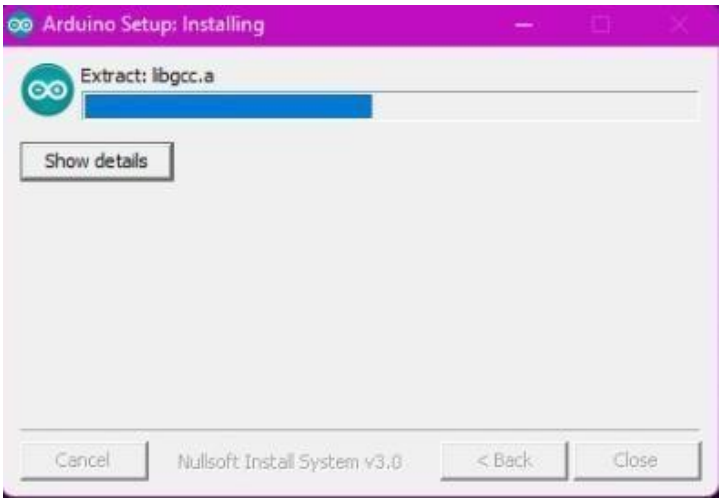
c) Elegimos la ubicación destino donde instalaremos Arduino y damos clic en “Install” como se muestra en la figura 8.

8: Carpeta destino de instalación.



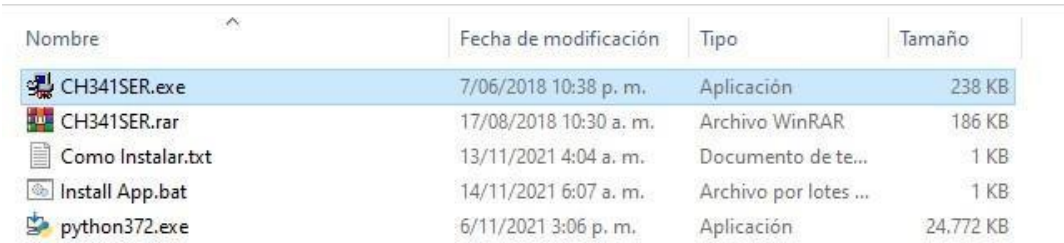
d) Una vez instalado haga clic en “close”, como se muestra en Figura 9

Figura 9: Instalación finalizada.



e) Procedemos a descomprimir el driver de Arduino “CH341SER.exe”, y hacemos clic en la aplicación para su instalación como se muestra en la figura 10.

Figura 10: Driver de Arduino.



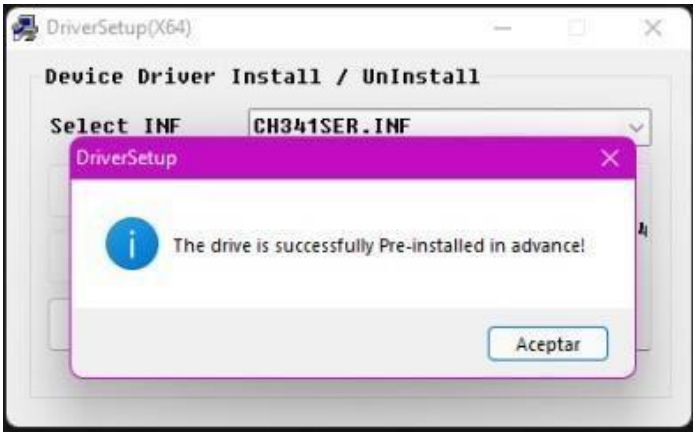
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
CH341SER.exe	7/06/2018 10:38 p. m.	Aplicación	238 KB
CH341SER.rar	17/08/2018 10:30 a. m.	Archivo WinRAR	186 KB
Como Instalar.txt	13/11/2021 4:04 a. m.	Documento de te...	1 KB
Install App.bat	14/11/2021 6:07 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
python372.exe	6/11/2021 3:06 p. m.	Aplicación	24.772 KB

f) Hacemos clic en “INSTALL” para iniciar su instalación como se muestra en la figura 11

Figura 11: instalación Driver de Arduino.

a) Una vez instalado haga clic en “Aceptar”, como se muestra en Figura 12.

Figura 12: Instalación Finalizada.



2.2. Inicio del programa

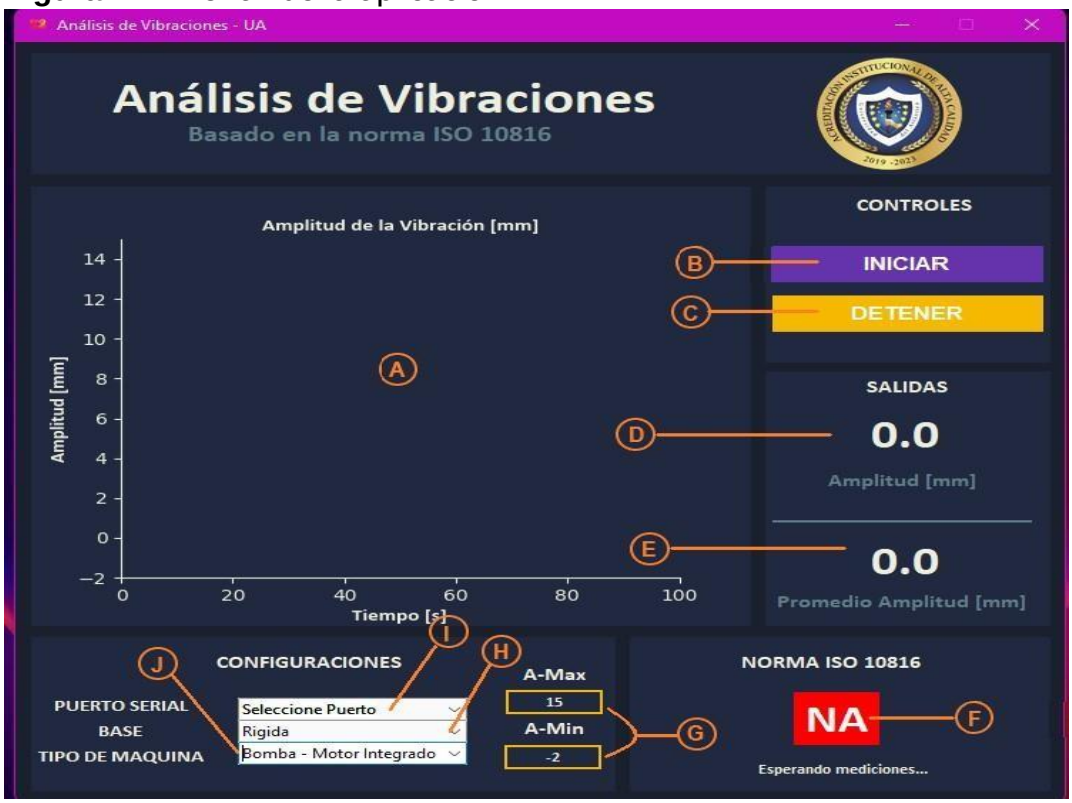
El inicio del aplicativo APP VIBROMETRO podrá realizarse haciendo clic sobre el icono mostrado en la Figura 5, ubicado en el escritorio de su computador.

Figura 13: Icono - Escritorio.

2.3. Interfaz APP VIBROMETRO

Luego de haber realizado el inicio de la aplicación, se desplegará la interfaz mostrada en la Figura 6 por medio de la cual se controlará el análisis de vibración.

Figura 14: Interfaz de la aplicación.



A. Grafica de amplitud en tiempo real de la prueba.

Espacio de la interfaz donde se visualizan los valores de la amplitud suministrada por el sensor en tiempo real. En el eje de las abscisas tenemos los valores del tiempo en S y en el eje de las ordenadas tenemos los valores de la amplitud en mm. B. Botón inicio análisis.

Botón ubicado en la parte superior derecha de la interfaz cuya función es dar inicio a la recopilación de datos.

C. Botón detener el análisis.

Botón cuya función es detener la recopilación de datos ya sea porque se ha terminado de analizar la muestra o porque es necesario detener el corte. D. Valores de amplitudes en tiempo real.

En este espacio se visualiza el valor de la amplitud en tiempo real, en las unidades de mm/s que nos permite verificar con la norma ISO 10816-3 (ver figura 15) en que zona de la gráfica se encuentra la máquina. E. Promedio Amplitud.

Es el valor promedio de las primeras 100 mediciones de la amplitud representativas del momento en que el disco de corte hace contacto con el material a cortar, su unidad es mm/s.

F. Evaluación según la norma ISO 10816-3 (ver figura 15).

En este espacio ubicado en la parte inferior derecha se puede visualizar en que zona de la gráfica se encuentra la máquina según la norma ISO 10816-3, la cual describe 4 zonas: A (buena), B (satisfactoria), C (insatisfactoria) y D (inaceptable), Indicando de esta forma si la máquina puede operar correctamente o no.

G. Rango máximo y mínimo de la amplitud en la gráfica (ver figura 15).

En este espacio encontramos los valores máximos y mínimos que puede tomar la gráfica, estos valores fueron establecidos con base a la norma ISO 10816-3.

H. Tipo de base (ver figura 15).

En este espacio encontramos dos grupos de máquinas, máquina con base rígida y máquina con base flexible; esto hace referencia al tipo de anclaje que tiene de la máquina a la cual se le realizará el análisis de vibración. I. Selección de puerto para Arduino.

En este espacio encontraremos los dispositivos seriales conectados a la computadora, se debe seleccionar el que hace referencia al sensor. J. Tipo maquina (ver figura 15).

En este lugar encontramos 4 grupos: las bombas con motor integrado, bombas con motor separado, motores tamaño medio ó motores con potencia entre 15KW<P>300KW y los grandes motores ó motores con potencia entre 300K<P>50MW. Se debe seleccionar en que grupo se encuentra la máquina a la cual se le realizará el análisis de vibración.

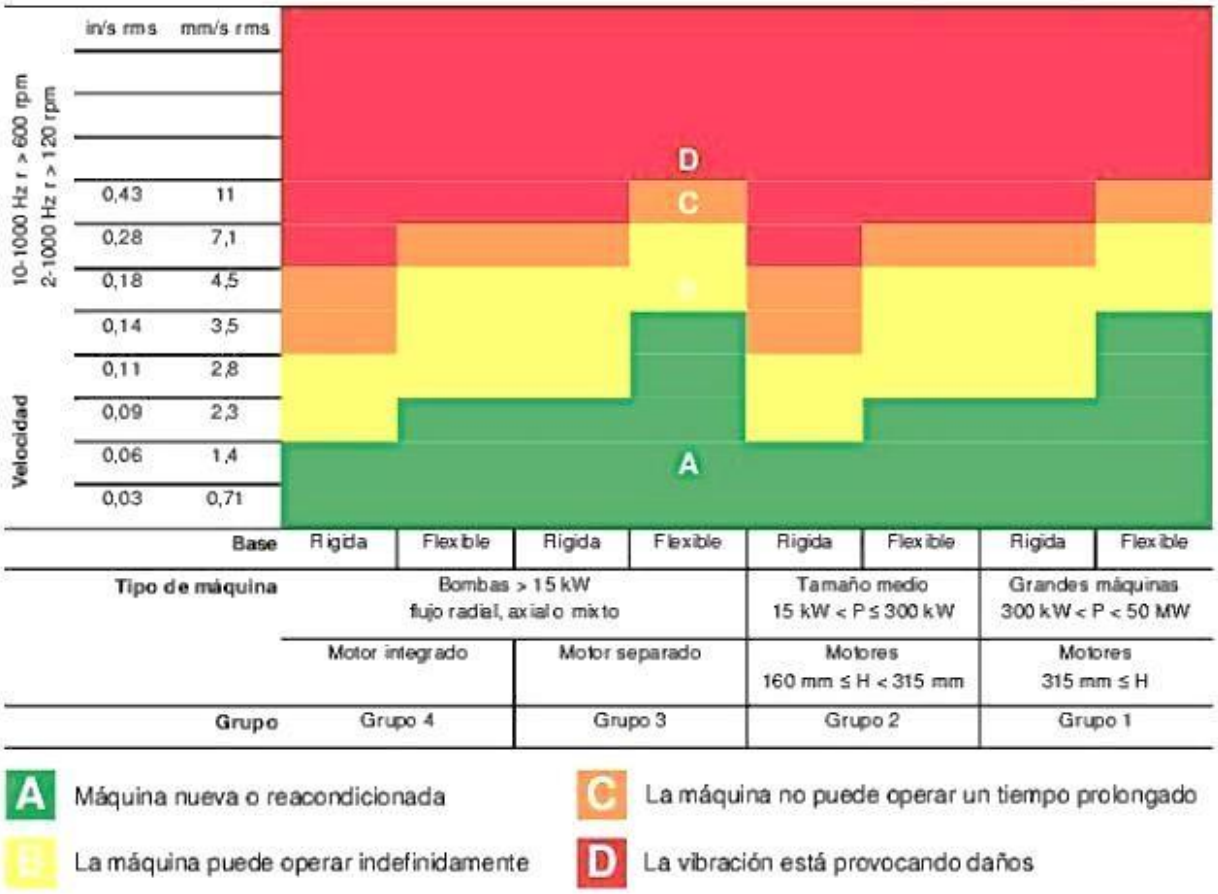



Figura 15: Norma ISO 10816.