

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA MEDIR EL DESGASTE
EN SUPERFICIES LUBRICADAS DE MATERIALES PARA EL LABORATORIO DE
MANTENIMIENTO DE LA EIM-UIS.

SEBASTIAN ARIAS PINEDA

NARLY YADIRA BOHORQUEZ DURAN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2023

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA MEDIR EL DESGASTE
EN SUPERFICIES LUBRICADAS DE MATERIALES PARA EL LABORATORIO DE
MANTENIMIENTO DE LA EIM-UIS.

SEBASTIAN ARIAS PINEDA

NARLY YADIRA BOHORQUEZ DURAN

DIRECTOR

ING. FRANCISCO SALDIVIA

Magister en mantenimiento industrial

CODIRECTOR

ALBERTO PERTUZ

Ingeniero mecánico PhD. M. Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2023

PLAN DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA MEDIR DESGASTE
EN SUPERFICIES LUBRICADAS DE MATERIALES PARA EL LABORATORIO DE
MANTENIMIENTO DE LA EIM-UIS.

PRESENTADO A: COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

ESCUELA: INGENIERIA MECANICA

FACULTAD: INGENIERÍAS FÍSICOMECAÑICAS

ELABORADO POR: SEBASTIAN ARIAS PINEDA

NARLY YADIRA BOHORQUEZ DURAN

BUCARAMANGA

2023

DEDICATORIA

Quiero expresar mi gratitud a Dios por bendecirme día a día y llenarme de fortaleza para
continuar con mi vida profesional.

A mi madre Omaira Duran por ser esa persona maravillosa que con su cariño y amor
siempre me alentó a perseverar y nunca desfallecer en mis metas.

A mi padre Jesús Bohorquez que desde el cielo siempre ha estado acompañándome y
cuidándome en cada uno de mis proyectos.

A mis hermanos Jessica y Fredy por confiar en mis capacidades y animarme a seguir
avanzando en mis sueños.

A mi sobrino Juan que con su inocencia y sencillez me ha motivado a seguir adelante.

A mis tías Amanda, Consuelo, a mi papá adoptivo Luis Felipe, mis abuelos, mi tío Luis y
en general a toda mi familia por acompañarme en mi formación personal.

A mi compañero de trabajo de grado Sebastián Arias por el buen equipo de trabajo que
formamos y por el excelente ser humano que es.

Gracias por creer en mí.

Narly Yadira Bohorquez Duran.

DEDICATORIA

Dedicado con profunda gratitud a las personas que han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la culminación de este proyecto.

A mi papá, Rafael Arias, y a mi mamá, Nidia Pineda, cuyo amor y aliento constante han sido mi inspiración y motor para superar desafíos. Momento de mucha felicidad cuando les conté que había sido aceptado por la universidad sus caras y abrazos lo dijeron todo.

A mi hermano, Iván Arias, cuya presencia, apoyo y aliento siempre oportunos, han hecho que fuese un camino más agradable.

A mi compañera de tesis, Yadira Bohorquez, familia, especialmente al tío Luis cuya colaboración y apoyo incondicional han hecho posible entender y culminar con éxito este recorrido.

A los profesores Francisco Saldivia y Alberto Pertuz, por su guía experta, paciencia y sabiduría compartida. Siendo excelentes seres humanos y grandes orientadores académicos.

Y finalmente, a Dios, fuente de fortaleza y esperanza, por guiar mis pasos y brindarme la valentía para enfrentar cada reto. Bienvenido ¡nuevo capítulo lleno de éxitos y aprendizajes!"

Sebastián Arias Pineda

AGRADECIMIENTOS

A el ingeniero jefe I&D de la compañía Lubrisol de Colombia Ltda. Marco A. Rodríguez por su aporte en el proyecto de grado al suministrarnos los aceites lubricantes de engranajes para el desarrollo de las pruebas necesarias.

Al director de proyecto Ing. Francisco Saldivia que con sus conocimientos, experiencias y motivación nos orientó con paciencia y dedicación a terminar satisfactoriamente nuestra formación profesional.

Al codirector de proyecto Ing. Alberto Pertuz que con su visión crítica nos apoyó y direcciono nuestros conocimientos en base a su experiencia y sabiduría.

A Luis Duran por su ayuda y compromiso para con la fabricación de la máquina, su mano de obra fue implementada para dar por finalizado el proyecto.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en diseñar y construir una máquina alternativa de la norma ASTM 2782-20 de manera que se pueda apreciar el cálculo y selección de algunos elementos de la máquina, garantizando un correcto funcionamiento y prevención de fallas.

Al mismo tiempo se toma como referencia la norma para realizar las pruebas teniendo en cuenta las dimensiones y especificaciones estándar de los materiales sometidos a estudio en este caso un acero 4340. Esta prueba consiste en el análisis de desgaste entre dos superficies de las mismas características por medio de un contacto entre ellas y un tiempo determinado, gracias a esto se analiza el nivel de protección que ofrecen diferentes lubricantes.

El método es comúnmente conocido como prueba TIMKEN, dichas pruebas ayudaran a los estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica a la investigación del rendimiento de los aceites lubricantes y análisis de comportamiento de diferentes materiales en contacto.

Se llevaron a cabo seis ensayos; cuatro con los siguientes lubricantes ISO 100, ISO 100 EP y las dos últimas en seco. Por consiguiente, se evaluó el comportamiento en cada uno de estos componentes sometiéndolos a dos pruebas distintas por cada lubricante para inspeccionar su rendimiento.

Los resultados obtenidos de esta investigación demuestran que utilizar aceites lubricantes mejoran el rendimiento del par tribológico en comparación con los ensayos en seco, además de confirmar que el aceite con aditivo EP proporciona un nivel de protección mayor por sus propiedades al soportar altas cargas, reduce el desgaste y la corrosión.

Palabras claves: tribología, aceite lubricante, TIMKEN, desgaste.

ABSTRACT

The present research work involves designing and constructing an alternative machine to ASTM 2782-20 standard in a way that allows for the calculation and selection of certain machine components, ensuring proper functioning and prevention of failures. Simultaneously, the standard is used as a reference for conducting tests, considering the standard dimensions and specifications of the materials under study, in this case, AISI 4340 steel. This test involves the analysis of wear between two surfaces with similar characteristics through contact over a specified time period. This analysis helps determine the level of protection offered by different lubricants.

The method is commonly known as the TIMKEN test, and these tests will aid mechanical engineering students in researching the performance of lubricating oils and analyzing the behavior of different materials in contact.

Six tests were conducted: four with the lubricants ISO 100, ISO 100 EP, and the last two in dry conditions. Consequently, the behavior of each component was evaluated in each of these tests, subjecting them to two different trials for each lubricant to inspect their performance.


The results obtained from this research demonstrate that using lubricating oils enhances the performance of the tribological pair in comparison to dry tests. Furthermore, it confirms that oil with EP additives provides a higher level of protection due to its properties, which can withstand high loads, reduce wear, and prevent corrosion.

Keywords: tribology, lubricating oil, TIMKEN, wear.

TABLA DE CONTENIDO

1.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA	14
2.	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo general	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	17
4.	MARCO TEORICO	18
4.1.	Referencias bibliográficas	18
4.1.1.	Tribología	19
4.1.2.	Lubricantes	20
4.1.3.	Aditivos	21
4.1.4.	Fricción.....	24
4.1.4.	Desgaste	25
4.1.5.	Tipos de desgaste.....	26
4.2.	Antecedentes teóricos	30
4.2.1	Antecedente 1	30
4.2.2.	Antecedente 2	31
4.2.3.	Antecedente 3	32
4.2.4.	Antecedente 4	32
5.	GESTION DEL TRABAJO DE GRADO.....	33
5.1.	Enfoque y estudio.....	33
5.2.	Población.....	34
5.3.	Identificación de tareas y subtareas.....	35
5.3.1.	Etapa de aspectos generales	35
5.3.2.	Etapa de identificación	35
5.3.3.	Etapa de diseño.....	36
5.3.4.	Etapa de diagnóstico.....	36

5.3.5. Etapa de fabricación	36
5.3.6. Etapa de elaboración de memorias	36
5.4. Diagrama de Gantt	37
5.5. Identificación de recursos necesarios	39
6. PROCESO DE DISEÑO	39
6.1. Generalidades	41
6.2. Diseño conceptual	43
6.2.1. Requerimientos del consumidor	43
6.2.2. Requerimientos del diseñador	43
6.2.3. Consolidación de los requerimientos	44
6.2.4. Matriz de calidad	44
6.2.5. Resultado de la matriz de calidad	45
6.3. Diseño en desarrollo	46
6.3.1. Elementos condicionados por la norma	46
6.3.2. Planteamiento de alternativas	48
6.3.3. Evaluación de alternativas	55
6.3.4. Selección de la alternativa	57
6.4. Diseño en detalle	58
6.4.1. Tipos de subsistema	58
6.4.2. Subsistemas	58
6.4.3. Selección de elementos	62
6.5. Construcción	67
6.5.1. Subsistema transmisión de potencia	68
6.5.2. Subsistema eje	69
6.5.3. Subsistemas materiales de estudio	69
6.5.4. Subsistema soportes	70
7. PRUEBAS	71
7.1 Parámetros	71
7.2 Tipos de pruebas	72

7.2.1. Prueba 1, carga máxima.	72
7.2.2. Prueba 2, Carga constante	72
7.3. Ensayos.....	73
7.3.1. Sin aceite lubricante	73
7.3.2. Con aceite lubricante tipo ISO 100 (sin aditivo).....	74
7.3.3. Con aceite lubricante tipo ISO 100 EP (con Aditivo de Extrema Presión).....	74
7.3. Lubricantes para las pruebas.	74
7.4 Hoja de Ruta.....	75
8. ANALISIS DE DATOS.....	76
8.1. Toma de datos.....	76
8.2. Discusión.....	77
8.2.1. Desgaste vs tiempo. (carga máxima).....	78
8.2.2. Desgaste vs carga (carga constante).....	80
8.2.3. Amperaje vs tiempo.....	82
9. COSTOS.....	85
10. MANUAL DE OPERACIONES.....	90
10.1. Parámetros de operación	92
10.2. Elementos de la máquina.....	93
10.3. Procedimientos para realizar la prueba	94
10.4. Advertencias 	95
11. CONCLUSIONES.	95
12. RECOMENDACIONES.	98
Referencias	99

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 TIPOS DE ADICTIVOS	23
TABLA 2. DIAGRAMA DE GANTT	38
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS PARTES DE LA MÁQUINA.	41
TABLA 4. <i>PONDERACIÓN MATRIZ DE CALIDAD.</i>	44
TABLA 5. <i>MATRIZ DE CALIDAD O QFD.</i>	45
TABLA 6 <i>RESULTADO DE LA MATRIZ DE CALIDAD</i>	45
TABLA 7. <i>PROBETA NORMA ASTM 2782</i>	47
TABLA 8. <i>RODILLO NORMA ASTM 2782</i>	47
TABLA 9. <i>CRITERIOS DE EVALUACIÓN MÉTODO PUGH</i>	57
TABLA 10. <i>CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR</i>	62
TABLA 11. <i>PARÁMETROS DE LA PRUEBA 2</i>	73
TABLA 12. HOJA DE RUTA	75
TABLA 13. TOMA DE DATOS.....	76
TABLA 14. <i>TABLA DE PRESUPUESTO</i>	86
TABLA 15. <i>PRESUPUESTO SUBSISTEMA MOTOR.</i>	87
TABLA 16. <i>PRESUPUESTO SUBSISTEMA TRANSMISIÓN</i>	87
TABLA 17. <i>PRESUPUESTO SUBSISTEMA FUERZA</i>	87
TABLA 18. <i>PRESUPUESTO DE MATERIALES DE ESTUDIO</i>	88
TABLA 19. <i>PRESUPUESTO SUBSISTEMA SOPORTE</i>	88
TABLA 20. <i>PRESUPUESTO MANO DE OBRA</i>	89
TABLA 21. <i>PRESUPUESTO DE GASTOS ADICIONALES</i>	89
TABLA 22. <i>PRESUPUESTO DE COSTOS TOTALES</i>	90
TABLA 23 <i>DESCRIPCIÓN DE SUBSISTEMAS</i>	91
TABLA 24. <i>PARÁMETROS DE OPERACIÓN O FICHA TÉCNICA.</i>	92
TABLA 25. <i>COMPONENTES EXTERNOS DE LA MAQUINA.</i>	93

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA TRIBOLÓGICO	19
FIGURA 2 PELÍCULA LUBRICANTE ENTRE DOS SUPERFICIES	20
FIGURA 3 DIAGRAMA DE FUERZAS	24
FIGURA 4 DESGASTE EN SUPERFICIES	25
FIGURA 5 DESGASTE POR FATIGA SUPERFICIAL	26
FIGURA 6 DESGASTE ADHESIVO	27
FIGURA 7 DESGASTE CORROSIVO	28
FIGURA 8 DESGASTE ABRASIVO	28
FIGURA 9 DESGASTE EROSIVO	29
FIGURA 10. DEFINICIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DE LA MÁQUINA.	40
FIGURA 11 ENFOQUE DE DISEÑO DE INGENIERÍA	42
FIGURA 12 SISTEMA DE PROBETA – RODILLO	48
FIGURA 13 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA 1	50
FIGURA 14 ESQUEMA DE ALTERNATIVA 1	50
FIGURA 15 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA 2	52
FIGURA 16 ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 2	52
FIGURA 17 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA 3	53
FIGURA 18 ESQUEMA DE ALTERNATIVA 3	54
FIGURA 19 ESQUEMA DE LA ALTERNATIVA 4	55
FIGURA 20 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.	59
FIGURA 21 SUBSISTEMA SOPORTE DE LA MÁQUINA	60
FIGURA 22 SUBSISTEMA EJE DE LA MÁQUINA	61
FIGURA 23 SUBSISTEMA "MATERIAL DE ESTUDIO" DE LA MÁQUINA.	61
FIGURA 24 DIÁMETRO MÍNIMO DE POLEA MOTRIZ	63

FIGURA 25 <i>DISTANCIA ENTRE CENTROS</i>	64
FIGURA 26. <i>LONGITUD DE LA CORREA</i>	65
FIGURA 27 <i>TIPOS DE MAQUINARIA</i>	65
FIGURA 28 <i>CLASIFICACIÓN DE CORREAS CLÁSICAS</i>	66
FIGURA 29 <i>NUMERO DE CANALES - PERFIL DE LA CORREA</i>	66
FIGURA 30 VISTA ISOMÉTRICA DE LA MÁQUINA.	68
FIGURA 31 VISTA REAL DEL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	68
FIGURA 32 VISTA REAL DEL SUBSISTEMA EJE DE LA MÁQUINA	69
FIGURA 33 VISTA REAL DEL SUBSISTEMA DE MATERIAL DE ESTUDIO DE LA MÁQUINA	69
FIGURA 34 VISTA REAL DEL SUBSISTEMA SOPORTE DE LA MÁQUINA	70
FIGURA 35 VISTA REAL DE LA MÁQUINA DISEÑADA	70
FIGURA 36 <i>MUESTRAS DE LUBRICANTES LUBRISOL COLOMBIA</i>	74
FIGURA 37 DESGASTE VS TIEMPO PROBETA	79
FIGURA 38 <i>DESGASTE VS TIEMPO RODILLO</i>	80
FIGURA 39 DESGASTE VS CARGA DE LA PROBETA	81
FIGURA 40 DESGASTE VS CARGA RODILLO	82
FIGURA 41 AMPERAJE VS TIEMPO (CARGA CONSTANTE)	83
FIGURA 42 AMPERAJE VS TIEMPO (CARGA MÁXIMA)	83

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Desde comienzos de la historia el hombre ha experimentado fenómenos de desgaste, fricción y lubricación, el primer contacto fue el uso de la fricción para obtener calor, otra de las aplicaciones utilizadas era la rueda para reducir la fricción en movimientos de traslación, también para el transporte de grandes monumentos o pirámides hacían uso de agua o grasa como lubricante. En la práctica de ingeniería estos principios eran estudiados por separado hasta que se unió estas ramas en una sola disciplina llamada tribología con el fin de contribuir al desarrollo de nuevos sistemas mecánicos.

El termino tribología proviene de las palabras griegas “tribos”, que significa fricción, y “logos”, que significa estudio (Castillo y Toapanta, 2019, p.11). Esta ciencia es el arte de analizar problemas operacionales desde el punto de vista del mantenimiento, la confiabilidad y desgaste del equipo o máquina, además es necesario de varias asignaturas como la física, química, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de los materiales, mecánica de fluidos entre otras.

Actualmente el mundo y sus avances tecnológicos han fomentado el uso de la tribología para prolongar la vida útil de las máquinas, además se derivan extensas ventajas tales como: ahorro de materias prima, conservación de recursos naturales, prevención del medio ambiente, ahorro económico entre un intervalo de 1,3% y 1,6% del PIB de las naciones lo que equivale a miles de millones de dólares (REDISYT, 2021). Países europeos y Estados Unidos han formado grupos gubernamentales con el fin de investigar más a fondo esta disciplina y así aprovechar los beneficios que se obtienen con el correcto funcionamiento de la tribología.

En Colombia el panorama es muy similar a los países de gran potencial industrial, debido a que hace uso de las innumerables ventajas que trae la práctica de esta rama de estudio. Diversas Universidades del país han enfocado sus investigaciones al tema en cuestión por la importancia en la prolongación de la vida útil de las máquinas, así mismo por el impacto en la cadena productiva, que en países como este basan su economía en la minería y agricultura.

Por consiguiente, la Universidad Industrial de Santander ha realizado ciertas investigaciones en el tema respecto a la lubricación de materiales, pero se ha encontrado con algunos inconvenientes al momento de poder brindar un espacio para el análisis e investigación, por lo tanto, es necesario el desarrollo de una maquina la cual permita a los estudiantes de esta universidad apoyar el proceso experimental durante su vida académica.

Por lo tanto, para el diseño y construcción de la maquina es pertinente utilizar la norma ASTM 2782-20¹ con el fin de desarrollar una variante del método Timken, esta es una prueba para determinar el nivel de protección que ofrece el lubricante y poder definir cual se adapta mejor al par de materiales a utilizar.

Pregunta De investigación

¿Qué características tiene el diseño y construcción de una máquina para medir el desgaste en superficies lubricadas de materiales para el laboratorio de mantenimiento de la EIM-UIS?

¹ "American Society for Testing Materials": Una asociación que desarrolla los estándares para materiales y métodos de prueba

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander de formar profesionales capaces de dar respuesta a las necesidades de la sociedad, mediante el diseño y construcción de una máquina para medir el desgaste en superficies de materiales, para el laboratorio de mantenimiento de la EIM.

2.2 Objetivos específicos

Diseñar la máquina para ensayos de desgaste por medio del software SolidWorks para medir el nivel de protección que ofrece un lubricante entre dos superficies en movimiento relativo.

Construir la máquina alternativa capaz de evaluar el nivel de protección de lubricantes, entre dos superficies de acero SAE 4340.

Realizar pruebas de desgaste en la probeta de dimensiones de diámetro 0.485 in y una longitud de 0.75 in, para verificar el comportamiento del nivel de protección en las superficies a través de la variación de la película lubricante.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El diseño de una máquina para medir el desgaste entre dos superficies por contacto directo utilizando diferentes tipos de películas lubricantes genera un impacto a la escuela de ingeniería mecánica, por su contribución en el desarrollo tecnológico al aportar a la enseñanza y aprendizaje de los estudiantes mientras interactúan en el laboratorio de esta disciplina.

Así mismo en lo económico y ambiental implica una menor inversión por parte de la universidad debido a que la máquina será uso exclusivo de la comunidad universitaria, reduciendo en gastos de investigación a la hora de necesitar recursos externos de planta física para el análisis de los lubricantes. Además, se consigue utilizar materiales amigables con el medio ambiente impactando positivamente las medidas de prevención y mitigación de los efectos contaminantes.

De este modo también tiene un impacto social al fomentar el uso de la máquina en un espacio educativo, debido a que contribuye a la enseñanza y así los estudiantes pueden lograr una mejor comprensión y análisis de los lubricantes requeridos para reducir el desgaste entre dos superficies.

Este proyecto favorece a la seguridad y salud por su aporte a mejorar la calidad de vida de la comunidad académica, además con esta máquina dentro de las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander el estudiante no requiere desplazarse a otro sitio por lo que se previene cualquier riesgo de accidentalidad.

Hay que tener en cuenta que uno de los objetivos de la ingeniería es permitir dar un paso al progreso mediante el diseño y desarrollo de soluciones tecnológicas a necesidades sociales,

industriales o económicas y por consiguiente generar estrategias y herramientas que atribuyan positivamente al bienestar de esta población utilizando los recursos y conocimientos obtenidos desde la ingeniería.

Se realizarán por medio de la máquina, generar ensayos para medir el nivel de protección de la película lubricante entre dos superficies, estos ensayos fueron desarrollados por la empresa timken, la cual los introdujo de manera interna y sostenida a la norma ASTM 2782 creando así, su propia máquina.

4. MARCO TEORICO

La indagación de nuevas alternativas que aporten calidad de vida para los estudiantes que hacen uso de los laboratorios de ingeniería mecánica, cada vez está siendo de mayor interés, por el aumento representativo de esta población que requiere verificar el modelo, validar y limitar suposiciones y pre- decir rendimientos. Con los últimos avances de la tecnología, estas opciones se han destacado con ideas innovadoras y sostenibles. De igual (Intermec S.A, 2023)manera, se plantean los referentes teóricos los cuales fundamentaran las variables expuestas en los objetivos específicos. Posteriormente en este apartado se especifican diferentes aspectos de proyectos cuyo resultado ayudan a delimitar el desarrollo de este, partiendo de lo general hasta lo particular.

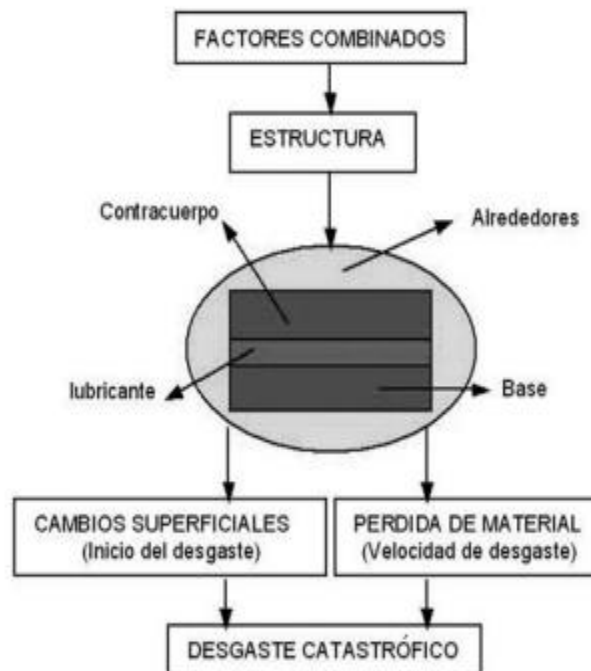
4.1. Referencias bibliográficas

Este apartado contiene los conceptos básicos contemplados en los objetivos específicos necesarios para el entendimiento del desarrollo de este proyecto.

4.1.1. Tribología

La tribología es el estudio de los procesos de fricción, desgaste y lubricación que tienen lugar en las superficies en contacto durante su movimiento relativo. Esta ciencia está presente en los componentes industriales donde se genere un rozamiento entre las superficies, algunos de los elementos tribológicos más comunes son: rodamientos, sellos, frenos y embragues, anillos de pistones, engranajes y levas.

Figura 1. Sistema tribológico



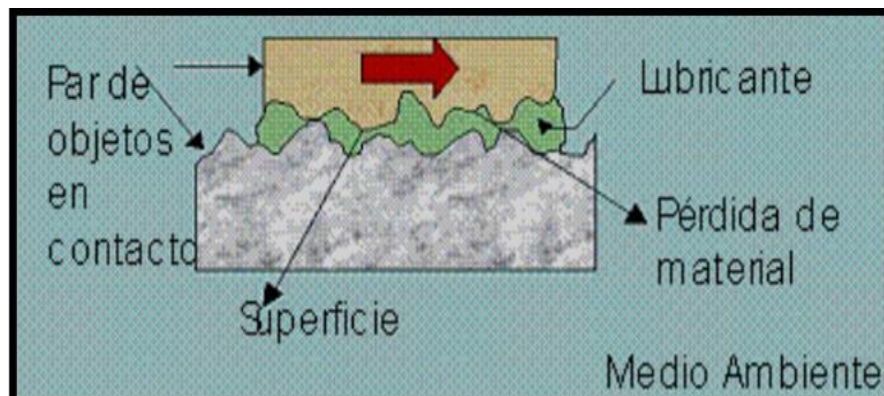
Nota: Sistema tribológico típico de dos superficies. Tomado de (VAN-STRAHLEN, P., & BALLESTEROS, 2009)

4.1.2. Lubricantes

Es la acción para reducir el rozamiento y sus efectos en superficies convexas con movimientos que les puedan ocasionar algún tipo de maquinado, debido a los movimientos sincronizados de una pieza respecto a la otra al interponer entre las superficies una sustancia lubricante, por ello logra formarse una capa de lubricante capaz de soportar la carga, es decir, la presión generada en la superficie por imposibilitar el contacto directo.

La película de lubricante interpuesta puede ser un sólido, un líquido y ocasionalmente un gas.

Figura 2 Película lubricante entre dos superficies



Nota: se intenta que haya una película de lubricante de espesor suficiente para evitar el desgaste. Tomado de (Díaz del Castillo Rodríguez, 2007)

4.1.2.1. Viscosidad. Para los fluidos newtonianos la viscosidad permanece constante a pesar de los cambios en el esfuerzo cortante, es oportuno definir el termino de viscosidad que es la propiedad que tienen los fluidos para indicar su resistencia a fluir, por lo que requieren la aplicación de un esfuerzo o presión.

La viscosidad del lubricante debe ser óptima para proveer películas lubricantes y evitar que las perdidas debidas a la fricción sean excesivas, esta es una de las características más importantes porque permite la formación de la capa de lubricación.

Existen dos casos de viscosidad una dinámica o absoluta que consiste en determinar el espesor de la película lubricante y la cinemática es una combinación de la viscosidad dinámica y la densidad del fluido medidos a la misma temperatura con el fin de estimar el grado de espesor de la capa de aceite que puede generar.²

4.1.2.2. Densidad. Es una magnitud de cantidad de masa por unidad de volumen, esta no está relacionada con el comportamiento del aceite con aditivos. Su variación durante el ensayo es muy baja por lo que no se tiene en cuenta.

4.1.3. Aditivos

Las bases de los aceites no cumplen por si solas las necesidades básicas de operación de los sistemas de lubricación, por lo que es necesario utilizar unos aditivos que son sustancias químicas que mejoran las propiedades o reducen las características perjudiciales.

² (Administrador web , 2023). Explica la diferencia entre la viscosidad dinámica y cinemática, además de cómo se pueden medir esta propiedad.

Los objetivos de los adictivos se pueden resumir en tres grandes aspectos: el primero consiste en proteger al lubricante de agentes oxidantes, otro es proteger la máquina del ataque de los productos de combustión y por último añadir o aportar propiedades físicas al lubricante.

Los aditivos se pueden clasificar de acuerdo con sus funciones: una se define como aditivos que potencian a que la lubricación sea efectiva y posible, aquí se incluyen los antioxidantes; inhibidores de la corrosión y antiherrumbre; antiespumantes y diluyentes. La siguiente clasificación se da a los que aportan nuevas propiedades al aceite, entre ellos se encuentran los anti-desgaste y aditivos de Extrema Presión que consisten en proteger las partes móviles del sistema a una posible soldadura con el paso del tiempo.

En la siguiente tabla se puede observar algunos tipos de aditivos y su naturaleza:

Tabla 1 tipos de adictivos

<u>TIPO</u>	<u>NATURALEZA QUIMICA</u>	<u>FUNCIÓN</u>
Dispersante básico	Calcio, bario o phenato de magnesio o silicato	<ol style="list-style-type: none"> 1. Neutralización de ácidos 2. prevención de lacas y formación de depósitos 3. Dispersión de solubles
Dispersante de cenizas	Poli-isobutenol succimide	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dispersante de hollín 2. Prevención de lacas y formación de barniz.
Antioxidante	Difosfato de zinc, hindered ppherol, olefin fosfosulfurizado, silicato metálico.	Prevención de oxidación y densidad
Aditivo de presión extrema	Ditiofosfato de zinc, fosfato orgánico, sulfuro orgánico y compuesto clorinine.	Prevención del desgaste (camones y metales)
Aditivo anticorrosivo	Calcio, teórico o sulfonato de sodio, amino orgánico.	Prevención de corrosión
Mejorador del índice de viscosidad	Compuesto polimérico, poliéster o hidrocarbones.	Reducción de pérdida de viscosidad por aumento de temperatura.
Rebaja del punto pobre Aditivo anti-espuma	Metacrilato polimérico compuesto de silicona	<p>Mejora las propiedades de flujo a bajas temperaturas.</p> <p>Prevención de espuma bajo condiciones de vigorosa agitación</p>

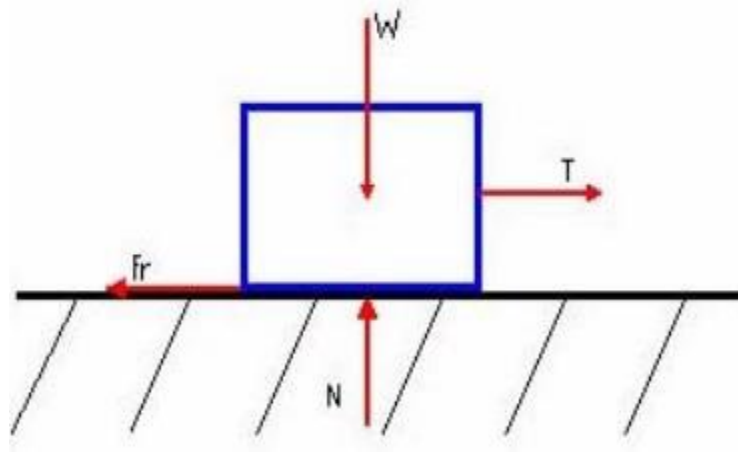
Nota: Principales tipos de aditivos presentes en las industrias, además de su naturaleza y función. Tomado de (Delgado Vergara, 2006)

4.1.4. Fricción

Dos superficies rugosas de dos cuerpos sólidos en contacto cuando se tocan ejercen fuerzas entre ellas, se genera debido a las imperfecciones microscópicas entre las superficies en contacto.

Las imperfecciones hacen que la fuerza que se opone al deslizamiento entre ambas superficies no sea perfectamente perpendicular a estas, sino que forma un ángulo con la normal. Si no existiera la fricción entre el cuerpo y la superficie, la resultante de las fuerzas sería nula y el cuerpo continuaría moviéndose con movimiento rectilíneo uniforme.

Figura 3 Diagrama de Fuerzas



Nota: Diagrama de fuerzas que se ejercen sobre un bloque. Tomado de (Delgado Vergara, 2006)

Donde: W corresponde al peso.

T corresponde a la fuerza aplicada al cuerpo.

f_r corresponde a la fuerza de fricción.

N corresponde a la fuerza normal.

$$\text{Coeficiente de fricción} = \frac{\text{Fuerza de fricción que se opone al movimiento}}{\text{Carga perpendicular a la superficie}} = \frac{fr}{W}$$

El coeficiente de fricción es la cantidad de resistencia al movimiento debido a la fricción, cambia de valor por diferentes factores, uno es si el contacto es dinámico, estático o bajo lubricación, también depende de la superficie si es sólida, rugosa o lisa.

4.1.4. Desgaste

Según la norma UNE-EN 13306 el desgaste es un fenómeno físico que conduce a una pérdida o deformación del material. Para que suceda el desgaste debe haber contacto directo entre en material base y el contra cuerpo, además debe existir un movimiento relativo entre ellos por carga.

Los daños ocasionados por este proceso pueden ser: daños en la superficie sin intercambio de material tiene como característica cambios estructurales, deformación plástica y fractura de superficie. Otro daño es en la superficie con pérdida de material este proceso consiste en el proceso de remoción del material. También se encuentran los daños en la superficie con ganancia de material en este caso se puede observar la corrosión por elementos del ambiente o del sistema y transferencia de material entre superficies.

Figura 4 *Desgaste en superficies*



Nota: *Desgaste de un rodamiento por daño en la superficie con ganancia de material por corrosión. Tomado de (SKF, 2020)*

4.1.5. Tipos de desgaste

Los mecanismos de las maquinas pueden desgatar su superficie por aspectos en consideración, primero basado en como ocurre la perdida de material y segundo por los mecanismos de la acción tribológica.

4.1.5.1. Desgaste por fatiga. Este ocurre cuando las piezas son sometidas a cargas de contacto y con fluctuaciones prolongadas de tiempo. Después de cierto periodo de operación las capas inmediatas a la superficie sufren microgrietas que alteran el comportamiento de la resistencia del material.³

Figura 5 *Desgaste por fatiga superficial*

³ Failure Analysis and Prevention (ASM International).



Nota: *Desgaste por fatiga de los rodamientos. Tomado de (SKF, 2020)*

4.1.5.2. Desgaste adhesivo. Se presenta en dos superficies a alta temperatura que se encuentren en movimiento relativo, provocando partículas o residuos y su posterior rasgado, incluso la transferencia de un material al otro.

Figura 6 *Desgaste adhesivo*



Nota: *Desgaste adhesivo de un motor. Tomado de (GAMBOA, 2014)*

4.1.5.3. Desgaste corrosivo. Se produce por la formación de una película de óxido en la superficie causada por la acción química de ingredientes activos en el aceite lubricante y absorción de materiales extraños desde fuentes externas.

Figura 7 *Desgaste corrosivo*



Nota: *Desgaste corrosivo en las piezas. Tomado de (Noria Latín América, 2016)*

4.1.5.4. Desgaste abrasivo. Se refiere a la pérdida de material causada por partículas o protuberancias, las cuales son forzadas a moverse a lo largo de una superficie sólida provocando daños y pérdidas del material.

Figura 8 *Desgaste abrasivo*



Nota: *Desgaste abrasivo de diferentes superficies. Tomada de (Instituto asteco, 2018)*

4.1.5.5. Desgaste erosivo. Es ocasionado por el impacto repetitivo y continuo de las partículas, causando daño y pérdida del material que conforman la superficie. Los agentes involucrados en este tipo de desgaste son externos, como el viento, la arena o partículas abrasivas que se ponen en contacto con las superficies.

Figura 9 *Desgaste Erosivo*



Nota: *Analizando los fenómenos de desgastes: erosión. Tomado de (Instituto asteco, 2018)*

4.2. Antecedentes teóricos

Para la realización de la máquina para ensayo de desgaste entre dos superficies en contacto directo se encontraron algunas investigaciones dentro del área de estudio que emplean técnicas y recursos similares desde el ámbito internacional, nacional y local si lo amerita. A continuación, se presentan los antecedentes del proyecto:

4.2.1 Antecedente 1

Rivera et al, (2019) en su investigación titulada “Determinación de parámetros tribológicos de un aceite lubricante SAE 20W-50 sobre acero inoxidable 316” de la Universidad Veracruzana, Xalapa, México. tuvo como objetivo principal determinar sus parámetros tribológicos que sirvan de referencia para dar seguimiento a la vida útil del aceite durante su desempeño.

La metodología utilizada fue por medio de dos ensayos, uno ensayo perno sobre disco que consiste en un perno el cual se coloca perpendicularmente al disco circular plano y por medio de

un equipo que permite que gire se obtiene una marca de desgaste del disco. El otro método es el de timken bajo la norma ASTM 2782 el cual permite realizar ensayos para evaluar el desempeño y resistencia de la película.

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación determinaron algunos de los parámetros como: coeficiente de fricción, protección al desgaste, resistencia de película y viscosidad, con el fin de disponer lineamientos durante la vida útil del motor y así inferir su respectivo cambio.

De este modo el artículo tiene como aporte facilitar la metodología a seguir, puesto que permite seguir los pasos en cada uno de los ensayos utilizados para determinar algunos parámetros necesarios requeridos en los objetivos específicos del trabajo de investigación.

4.2.2. Antecedente 2

Ochoa y Valencia, (2017) en su trabajo de investigación titulado “Caracterización del efecto de los aditivos anti-desgaste de varias marcas del mercado nacional en un aceite SAE 20w-40” de la universidad politécnica salesiana sede Quito determino la caracterización de aditivos anti-desgaste para un aceite SAE implementando la norma ASTM 2782-02. Además, se utilizó la prueba Timken bloque sobre anillo para realizar los ensayos y observar las propiedades o cambios de los aditivos en prueba.

Para la metodología se realizó doce ensayos con aceite Kendall más un aditivo anti-desgaste para observar el comportamiento cuando se encontraran sometidos a diferentes cargas durante un tiempo de seis minutos. Los resultados obtenidos en la investigación experimental permiten hacer una comparación desgaste vs. carga y temperatura vs. carga.

Por consiguiente, este análisis experimental ayuda al trabajo en la implementación del método Timken ya que pone a prueba diferentes lubricantes que están sometidos a distintas cargas y así arrojan parámetros de estudio necesarios para la influencia del proyecto.

4.2.3. Antecedente 3

Delgado Jaime, (2006) desarrollo en su tesis para obtener el título de ingeniero naval el trabajo titulado “sistemas de lubricación a bordo” en la universidad Austral de Chile que tiene como objetivo principal desarrollar un análisis de los sistemas de lubricación a bordo con el fin de estudiar el roce por fricción y la lubricación como un método de solución de este problema.

El investigador considero tener unos referentes bibliográficos necesarios para implementar las posibles alternativas de solución tanto de cubierta como de la máquina, donde se describe de forma general los sistemas de lubricación que depende del fabricante y tipo de equipo.

Tras el análisis de los parámetros se concluyó que el uso adecuado del lubricante para cada mecanismo asegura una duración confiable en la vida útil de las piezas y un ahorro de energía, debido a que un menor coeficiente de fricción disminuye la formación de agentes desgastantes. Esta investigación permitirá comparar los resultados obtenidos en la recopilación de información de acuerdo con el objetivo general del estudio.

4.2.4. Antecedente 4

McGraw-Hill. Norton, R. L. (2013) en su libro titulado “Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos (5a. ed.)” desarrollado en la ciudad de México D. F tiene como objetivo principal conjuntar el arte del diseño con el uso de herramientas modernas necesarias para sintetizar y analizar las máquinas y mecanismos, además cuenta con ejemplos de la vida real que son de gran aporte para la realización de trabajos de investigación. Mediante una presentación

amena aclara las definiciones de temas que son un poco complicados de entender, el desarrollo del contenido se encuentra respaldado por más de 40 años de experiencia del autor en el ámbito de diseño de máquinas.

Es de gran importancia apoyarse en el autor porque utiliza innumerables ejemplos reales de ingeniería para conectar al lector con hechos contundentes. De esta manera aporta al trabajo de investigación en todo el tema del diseño de la máquina, en el apartado de gestión de diseño que implementa una selección de alternativas donde es necesario hacer los cálculos de los elementos requeridos para cumplir con los parámetros de construcción de la máquina que tiene como fin medir el desgaste en superficies lubricantes.

5. GESTION DEL TRABAJO DE GRADO

Esta metodología contiene una serie de estrategias que permiten dar respuesta a la pregunta de investigación mediante la sistematización de la información recopilada. Para llevar a cabo dicho proceso se considera conveniente realizar el proyecto con un enfoque mixto para una mejor comprensión del problema puntualizado, además el tipo de investigación que se utiliza es descriptivo con el fin de analizar las características de los subsistemas: sistema de transmisión de potencia, sistema del eje, materiales de estudio y los soporte.

5.1. Enfoque y estudio

El proyecto se realizará con un enfoque mixto que consiste en recopilar, analizar e integrar datos cuantitativos y cualitativos, ya que se necesita identificar las distintas maquinas existentes

en el mercado que tengan como función principal analizar los ensayos de desgaste entre dos superficies por contacto directo utilizando diferentes tipos de lubricantes para medir el nivel de protección, teniendo en cuenta los antecedentes en el contexto internacional, nacional y local, con el fin de llegar a un resultado útil para el desarrollo del mismo y así mejorar la calidad de vida de la comunidad universitaria en general.

Este enfoque suele ser muy utilizado en los proyectos ingenieriles debido a que a través del procesamiento de la información se validan o corroboran los resultados obtenidos mediante instrumentos de recopilación de datos.

Los diferentes métodos empleados para abordar la investigación son empleados para conocer la problemática a profundidad, además comprobar las diferentes hipótesis que se van generando en el trascurso del trabajo y buscan describir, explorar, explicar y/o correlacionar las diferentes variables que se plantean en el estudio del problema.

La investigación propuesta abordara un estudio descriptivo para puntualizar las características físicas y mecánicas necesarias para proyectar el diseño y construcción más acorde de la maquina en cuestión según las necesidades que se obtengan mediante las técnicas implementadas para la recopilación de datos.

5.2. Población

La máquina se realizará en la Universidad Industrial de Santander que se encuentra ubicada en Bucaramanga, Santander. Para escoger el lugar se tiene en cuenta que la universidad requiere dicho proyecto para la implementación del componente práctico del laboratorio de mantenimiento. La población para considerar en la investigación se reduce a los estudiantes de sexto semestre en

adelante de la escuela de ingeniería mecánica de la UIS que necesitan enfrentarse a un escenario más cercano a la realidad industrial y puedan aplicar lo aprendido a lo largo de la carrera.

Teniendo en cuenta que la máquina estará en un ambiente universitario y que será manipulada por estudiantes y profesores, se recopilieron datos de la media de la población en cuanto altura de los usuarios, humedad del ambiente y entorno de ubicación. Dichos aspectos sirven para facilitar el uso del proyecto y aumentar así su vida útil.

5.3. Identificación de tareas y subtareas

En este apartado se detalla las actividades necesarias y el tiempo requerido en semanas para perseguir cada uno de los objetivos específicos y lograr el propósito final. A continuación, se mencionan las etapas utilizadas para desarrollar el proyecto.

5.3.1. Etapa de aspectos generales

- Identificación del problema
- Recopilación de antecedentes y referentes teóricos
- Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas

Tiempo requerido: 4 semanas

5.3.2. Etapa de identificación

- Definición de los objetivos
- Planteamiento de la justificación
- Elaboración del cronograma de actividades
- Proponer alternativas de solución

Tiempo requerido: 4 semanas

5.3.3. Etapa de diseño

- Estudio del software de diseño SolidWorks
- Realización de las alternativas propuestas
- Elaboración de planos de diseño

Tiempo requerido: 8 semanas

5.3.4. Etapa de diagnóstico

- Selección de la alternativa de diseño final
- Análisis de los materiales y procesos de manufactura
- Impacto ambiental

Tiempo requerido: 5 semanas.

5.3.5. Etapa de fabricación

- Compra de los materiales e insumos
- Construcción de la maquina
- Evaluación de funcionalidad

Tiempo requerido: 6 semanas.

5.3.6. Etapa de elaboración de memorias

- Realizar el manual operacional de la maquina
- Desarrollar hoja de ruta para la ejecución de la práctica

Tiempo requerido: 6 semanas

5.4. Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta que proporciona una vista general de las actividades programadas y el tiempo necesario para realizarlas. Teniendo en cuenta la importancia de este instrumento gráfico a continuación, se presenta el cronograma para esta propuesta de investigación que se realizó en el programa Excel y sigue la metodología para desarrollar las fases de los objetivos específicos con su respectivo tiempo medido en semanas, iniciando desde el mes de octubre de 2022 y terminando en el mes de junio de 2023.

5.5. Identificación de recursos necesarios

Para el proyecto se requieren ciertos recursos que aporten al desarrollo de las actividades, por eso es importante garantizar el rendimiento de los recursos con el fin de asegurar calidad y funcionalidad de la máquina.

- Computador
- Impresora
- Licencia SolidWorks
- Licencia office 360°
- Catálogos y recursos bibliográficos
- Materiales e insumos
- Mano de obra (ensamble)
- Director de proyecto
- Estudiantes
- Otros (póliza, internet, electricidad, viáticos)

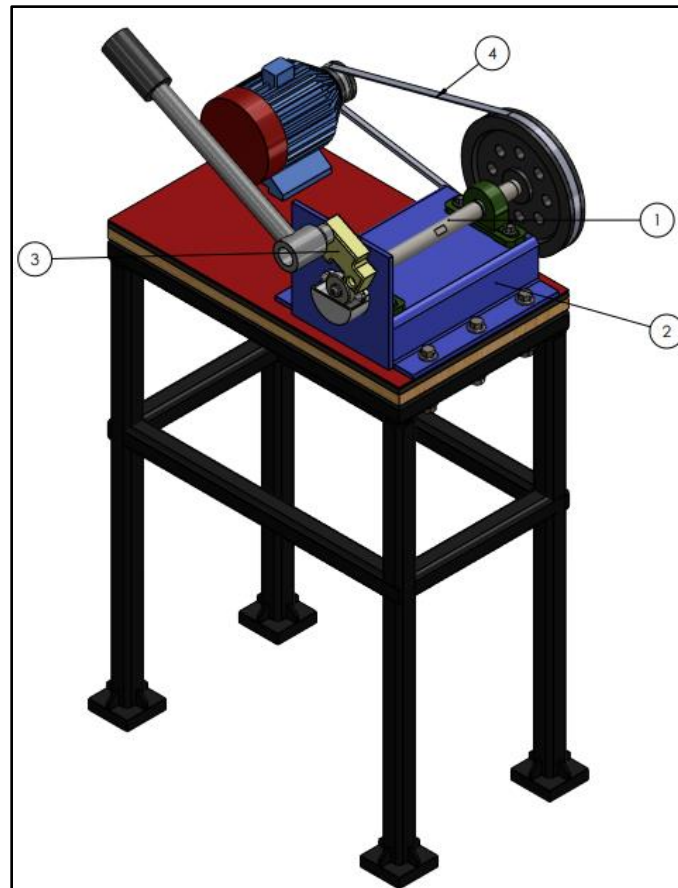
6. PROCESO DE DISEÑO

En este apartado se visualiza todo el proceso que conlleva el diseño y construcción de la máquina que analiza el nivel de protección que ofrece un lubricante.

En primer lugar, se habla del diseño conceptual en donde se puede observar los requerimientos del consumidor y diseñador, evaluación y selección de los parámetros más significativos que se tiene para desarrollar el siguiente ítem.

Luego de concluir la selección de requerimientos se evalúan opciones con un método llamado matriz de calidad con el fin de seleccionar la alternativa que cumple con las especificaciones antes evaluadas, posterior a esto se describe algunos elementos que se encuentran descritos por la norma, llamando a todo este proceso diseño en desarrollo.

Figura 10. definición de los subsistemas de la máquina.



Además, se tiene en cuenta el diseño en detalle que consiste en el análisis de elementos por subsistemas de operación y posicionamiento que integran la máquina, es de resaltar que se cuenta con cuatro subsistemas, el primero el subsistema de transmisión de potencia, el subsistema de eje, los soportes y por último el de materiales de estudio que lo conforma la probeta y el rodillo.

Finalmente, la construcción de la máquina que primero se realiza en el programa CAD llamado SolidWorks, con el fin de garantizar una fácil comprensión de elementos además que para tener los parámetros de salida claros y poder construir lo que realmente se diseñó. Asimismo, se puede utilizar para hacer énfasis a los explosionados en cada subsistema y saber que elementos van en cada sitio, asegurando así su correcto funcionamiento.

Tabla 3. Descripción de la clasificación de las partes de la máquina.

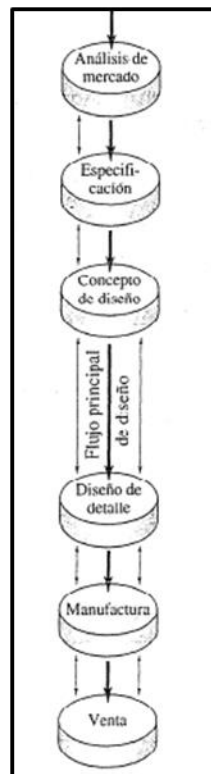
1	Subsistema de eje.
2	Subsistema de soporte
3	Subsistema de estudio
4	Subsistema de transmisión.

6.1. Generalidades

En primer lugar, esta máquina TIMKEN consta de cuatro subsistemas: el sistema de transmisión de potencia el cual reduce la velocidad, el subconjunto de materiales de estudio que lo conforma el rodillo y la probeta, además el torquímetro que es el encargado de ejercer presión para que entren en contacto las superficies a estudiar, el subsistema del eje debe girar a 800 rpm y como es evidente siempre estará en el mismo lugar, debajo de este se encuentra un pequeño depósito en el cual habrá aceite lubricante sometido a estudio. Por último, se encuentra el subsistema de soportes donde se encuentran la estructura base y las láminas de la mesa.

En segundo lugar, la prueba no puede realizarse en forma inmediata ya que el aceite debe llegar a una temperatura deseada entre 32°C a 40°C de manera que primero se prende la maquina y se deja funcionar entre 4 a 8 minutos dependiendo el tipo de lubricante que se vaya a utilizar, seguido a esto la prueba puede comenzar, de este modo se debe tener en cuenta el tipo de prueba que se va a realizar para la toma de datos.

Figura 11 *Enfoque de diseño de ingeniería*



Nota: *Proceso de diseño, en el cual se extrae el diseño conceptual y el diseño en detalle.*

(HAMROCK & JACOBSON, 2000)

De la ilustración 7. podemos definir los temas que se van a tratar en este ítem sobre el proceso de diseño en el cual, entrará en detalle sobre el diseño conceptual y en detalle.

6.2. Diseño conceptual

En este apartado se refleja la investigación realizada para la creación de las alternativas y poder seleccionar la que más se ajuste a los requerimientos del consumidor y del diseñador basados en la matriz de calidad.

En los siguientes requerimientos se expresan los del consumidor y los del diseñador y se evalúa según la importancia que cada uno tiene para poder resaltar los factores más importantes y medirlos en la evaluación de alternativas.

6.2.1. Requerimientos del consumidor

Por parte del consumidor es necesario que en lo posible la maquina cuente con el mayor número de requerimientos mencionados a continuación.

- Bajo costo.
- Comodidad del operario.
- Facilidad en mantenimientos
- Seguridad
- Facilidad en la operación.
- Tamaño.
- Funcionalidad
- Calidad.

6.2.2. Requerimientos del diseñador




El diseñador se guía por la investigación detallada y obtiene los criterios que son más relevantes para llevar a cabo el proyecto con satisfacción.

- Material.
- Guía de uso.
- Estética.
- Confiabilidad.
- Capacidad.
- Precio.
- Transmisión de potencia.

6.2.3. Consolidación de los requerimientos

Para la consolidación de los requerimientos se debe hacer una ponderación siendo nueve la calificación más alta, seis una calificación media y por uno que representa una calificación baja. Esto se hace con el fin de escalar los requerimientos de una forma cuantitativa.

Tabla 4. Ponderación matriz de calidad.

Ponderacion del QFD		
Alta	9	
media	3	
Baja	1	

Nota: Esta ponderación se realiza con el fin de hacer los parámetros cuantitativos y dar una respuesta matemática. Existen diferentes formas de hacer esta evaluación.

6.2.4. Matriz de calidad

Existen varios modelos de la matriz de calidad o QFD, muchos de ellos se pueden encontrar por internet y básicamente la finalidad de este método es organizar y evaluar parámetros que arrojan como resultado datos relevantes para facilitar la comprensión y saber a dónde debe ir el foco del diseño.

Como conclusión de la tabla matriz de calidad cinco resultados son extraídos según la puntuación por encima de ciento treinta, esto muestra que la selección de alternativas debe garantizar estos ítems como los son el precio, material, guía de uso, confiabilidad y por último la transmisión de potencia.

Tabla 5. Matriz de calidad o QFD

MATRIZ DE CALIDAD		Requerimientos internos									
		importancia	Precio	Material	Guia de uso	Estetica	Confiabilidad	Trans.	Potencia	capacidad	
Requisitos externos	Bajo costo	8	● 72	● 72	✗ 8	● 72	● 72	▲ 24	24	▲ 24	
	Calidad	7	● 63	● 63	▲ 21	✗ 7	✗ 7	▲ 21	✗ 7		
	Funcionabilidad	6	▲ 18	✗ 6	● 54	✗ 6	● 54	● 54	▲ 18		
	Seguridad	5	✗ 5	✗ 5	● 45	▲ 15	● 45	▲ 15	✗ 5		
	Comodidad operario	4	✗ 4	▲ 12	✗ 4	✗ 4	▲ 12	✗ 4	✗ 4		
	Facilidad	3	▲ 9	▲ 9	▲ 9	✗ 3	✗ 3	▲ 9	▲ 9		
	Facilidad operación	2	✗ 2	✗ 2	▲ 6	✗ 2	✗ 2	✗ 2	✗ 2		
	tamaño	1	● 9	✗ 1	✗ 1	▲ 3	▲ 3	✗ 1	● 9		
	total		182	170	148	112	198	130	78		

6.2.5. Resultado de la matriz de calidad

Después de seleccionar los cinco ítems a una tabla aparte, se denominan esas características a un 100% con el fin de saber la importancia puntual de cada una de ellas. Como se dijo anteriormente, el enfoque del consumidor y diseñador se direcciona a partes puntuales.

Tabla 6 Resultado de la matriz de calidad

Criterio	Valor	Porcentaje
Precio	182	21,98%
Material	170	20,53%
Guia de uso	148	17,87%
Confiabilidad	198	23,91%
trans. Potencia	130	15,70%
total	828	100,00%

Nota: Los cinco criterios se convierten en el 100%. La evaluación se hace con el fin de enfocarse en cada uno de ellos según su importancia.

6.3. Diseño en desarrollo

En esta parte del trabajo se mostrarán parámetros constantes basado en la norma, además se plantean cuatro alternativas de las cuales se evalúan los requerimientos se obtuvieron anteriormente, con el fin de seleccionar la opción que se acople o esté más cerca a las necesidades solicitadas. Cada alternativa maneja el mismo contacto, pero cambian la forma en la que se aplica la fuerza así mismo cambian ciertos mecanismos y por último algunos tipos de lubricación.

6.3.1. Elementos condicionados por la norma

Algunos elementos están parametrizados y estandarizados por la norma ASTM 2782, con el fin de tener una variación de esta. A continuación, se mencionan los elementos que se utilizan para el estudio y análisis del nivel de protección del lubricante sin someterse a modificaciones, ya que, se trabaja con lo planteado en dicho documento, con el objetivo de garantizar unos resultados lo más preciso posible. Los elementos son los siguientes:

6.3.1.1. Probeta. Este elemento se encuentra ubicado en el soporte del torquímetro y fijo gracias a la sujeción del tornillo que aplica una fuerza de presión. Dicho elemento es cambiado cada vez que se realice una prueba con la finalidad de garantizar la homogeneidad en la toma de datos.

Tabla 7. *Probeta norma ASTM 2782*

PROBETA (block)		
Material	Acero 4340, es altamente resistente al desgaste, tiene gran tenacidad y excelente ductilidad.	
Dimensiones	Diametro	12,3 mm
	Largo	19,05 mm
Dureza	Rockwell C de 32	

Nota: las dimensiones de esta tabla son estandarizadas por la norma ASTM 2782. el material es de selección propia ya que la norma habla de un rango en dureza y ciertas especificaciones.

6.3.1.2. Rodillo. Este es un elemento quien está girando a 800 rpm junto al eje que está transmitiendo dicha velocidad. Tiene una mayor dimensión que la probeta, se debe cambiar cada vez que se realice la prueba y deben ser del mismo material, en este caso.

Tabla 8. *Rodillo norma ASTM 2782*

RODILLO (ring)		
Material	Acero 4340, es altamente resistente al desgaste, tiene gran tenacidad y excelente ductilidad.	
Dimensiones	Anchura	13 mm
	perimetro	154,5 mm
	Diametro_ext	49 mm
	Diametro_int	19,05 a 21 mm
Dureza	Rockwell C de 58 a 62	

Nota: dimensiones extraídas de la norma ASTM 2782. (ASTM 2782-20, 2020)

6.3.1.3. Fuerza aplicada en un punto específico. Se habla de la fuerza aplicada en un punto en concreto gracias al cual la norma hace mención en su artículo.

$$C, psi = \frac{[L(X + G)]}{YZ}$$

O

$$C, psi = \frac{[20(X + G)]}{Z}$$

En el caso que se necesite la norma ofrece el cálculo en MPa

$$C, MPa = 9.81[L(X + 0.454G)]/YZ$$

Figura 12 Sistema de Probeta – Rodillo



Nota: posición en la que se presentaría el contacto entre los dos elementos, dimensiones extraídas de la norma (ASTM 2782-20, 2020)

6.3.2. Planteamiento de alternativas

Para el diseño y construcción de la máquina con el fin de medir el desgaste entre dos superficies lubricadas, se tiene como referente el ensayo TIMKEN que hace alusión a los parámetros exigidos para realizar el dispositivo basados en la norma ASTM 2782-20, que brindan

las características principales como lo son: dimensiones de la probeta, del rodillo y la temperatura del lubricante.

En este apartado se visualiza 4 alternativas que cumplen con el resultado final de la matriz de calidad, es decir, de los requerimientos del consumidor final y del diseñador. De la misma manera que se evaluaron esos parámetros del QFD⁴ (ver tabla) se evaluará la alternativa, con el objetivo de escoger la que más cerca este de las características solicitadas.

Para la implementación de las alternativas se tendrá en cuenta; el método de lubricación que estará presente en el dispositivo giratorio, la configuración de los mecanismos que aplican la fuerza, la manera de sujetar la probeta, material de estudio. A demás de lo anterior se tendrá en cuenta el fácil uso y mantenimiento junto con la ergonomía de la máquina.

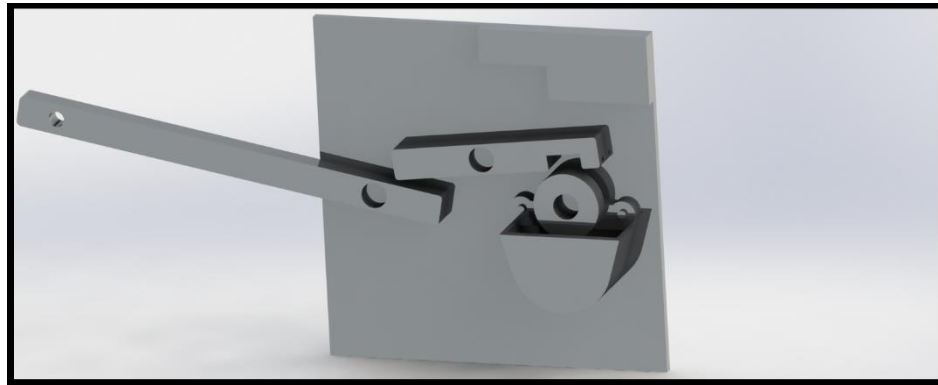
Como se dijo anteriormente la norma ofrece elementos constantes, por lo tanto, se menciona a continuación.

- Probeta de prueba
- Rodillo para el desgaste
- Tanque (donde se deposita el lubricante)
- Las revoluciones requeridas
- Motor seleccionado
- Poleas seleccionadas

⁴ “Análisis sistemático de las necesidades del cliente para mejorar la calidad de los productos. llamado despliegue de la matriz de calidad” (Digital guide IONOS, 2021)

6.3.2.1. Alternativa 1. Esta alternativa consta de dos palancas macizas. Cada una con un punto pivote situados en diferentes lugares con tal de garantizar la transmisión de una fuerza adecuada como se observa en la figura. Este sistema realiza su operación con una carga que se aplica en el extremo izquierdo hasta el extremo derecho donde se encuentra la probeta. Según los cálculos estáticos, la fuerza transmitida final (extremo derecho) es de ocho veces más que la fuerza que se aplica el extremo izquierdo. Para generar la fuerza es utilizado un mecanismo de pesas.

Figura 13 *Diseño de la alternativa 1*

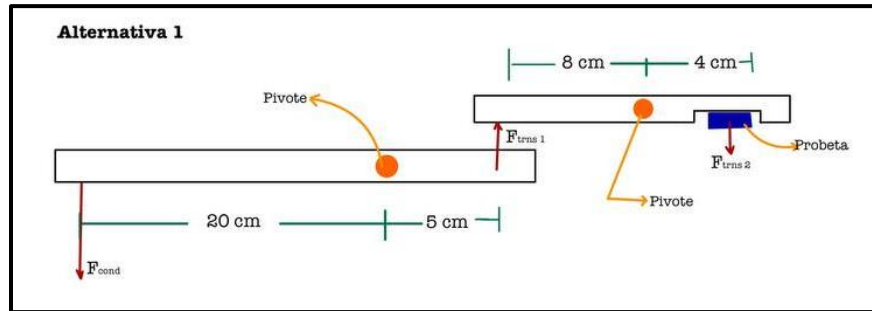


Nota: *Es diseño es realizado en el programa SolidWorks, de manera que se expresa lo que se dijo en la introducción anteriormente.*

Se observa la presencia de los brazos del mecanismo, el tanque en acrílico⁵, rodillo y probeta.

Figura 14 *Esquema de alternativa 1*

⁵ “Polímero de metil metacrilato, PMMA. Es un termoplástico excepcionalmente transparente. En su estado natural es incoloro” (Carbone, 2023)



Según las dimensiones de los elementos en estudio se puede afirmar lo siguiente:

Para el primer elemento palanca, se obtiene la siguiente ecuación: con la sumatoria de momento igual a cero.

$$\sum Mo = 0$$

$$F_{conducida} * distancia1 = F_{1transmitida} * distancia2$$

$$\frac{F_{conducida} * 20}{5} = F_{transmitida 1}$$

Para el siguiente elemento palanca, maneja diferentes dimensiones por ende la multiplicación de la fuerza será menor a la anterior.

$$\sum Mo = 0$$

$$\left(\frac{F_{conducida} * 20}{5} \right) * \left(\frac{8}{4} \right) = F_{transmitida final}$$

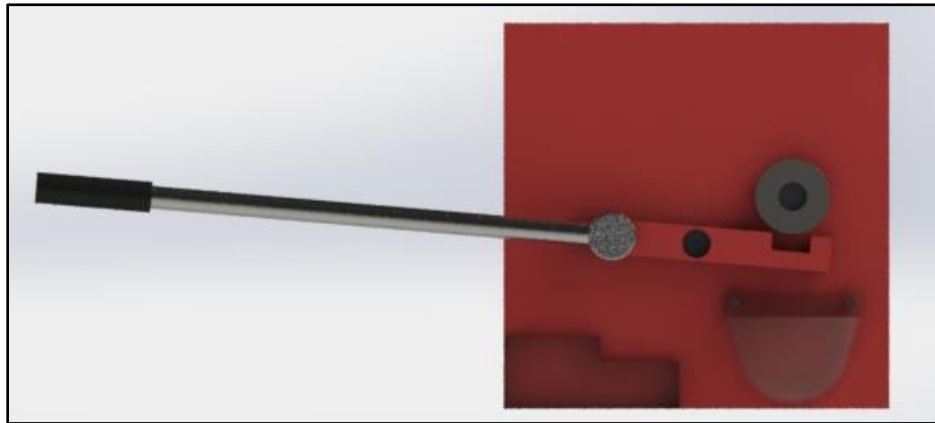
$$F_{transmitida final} = 8 F_{conducida}$$

6.3.2.2. Alternativa 2. En este caso se tiene la ayuda de un elemento llamado torquímetro⁶, este elemento permite que la transmisión de fuerza aplicada en un extremo se dirija a la probeta de

⁶ “Herramienta de precisión, la cual es empleada para aplicar una tensión determinada Son útiles en aplicaciones donde los accesorios de sujeción” (Herramienta de medición y control., 2011)

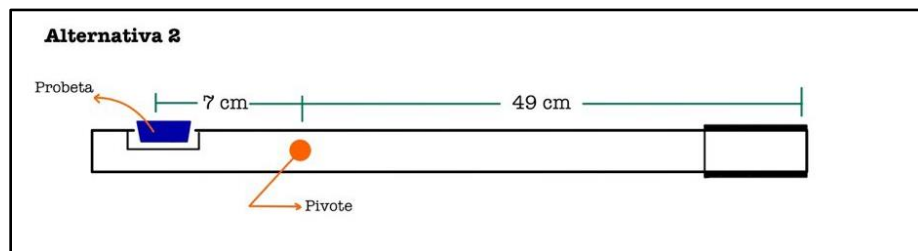
ensayo y al mismo tiempo brinda la lectura del torque aplicado. Este sistema consiste en el torquímetro y un dispositivo el cual contiene la probeta, la conexión para el torquímetro y el punto pivote.

Figura 15 *Diseño de la alternativa 2*



Según los cálculos de la sumatoria de momento en el punto pivote del mecanismo se puede concluir que la fuerza transmitida es la siguiente:

Figura 16 *Esquema de la alternativa 2*



$$\sum M_o = 0$$

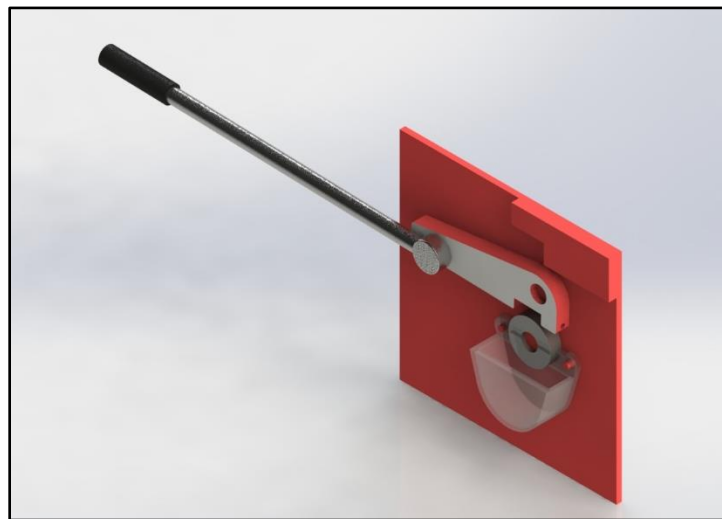
$$F_{conducida} = F_{transmitida} * \left(\frac{49}{7}\right)$$

$$F_{conducida} = 7 * F_{transmitida}$$

El punto pivote situado en este dispositivo que contiene el elemento de ensayo hace que varie el sistema de lubricación, es decir en esta alternativa el punto pivote se encuentra entre la probeta y el torquímetro lo cual hace que cuando se aplique la fuerza en la parte derecha el elemento de ensayo quede expuesto en la parte superior. Por ende, se debe insertar un sistema de lubricación por goteo.

6.3.2.3. Alternativa 3. Esta alternativa es muy similar a la anterior, lo que cambia es el posicionamiento del punto pivote, el cual hace que aumente su fuerza transmitida al hacer referencia también hace uso del torquímetro. El sistema de goteo no se hace por goteo, sino que se tiene la presencia de un tanque quien lleva el depósito de aceite.

Figura 17 *Diseño de la alternativa 3*



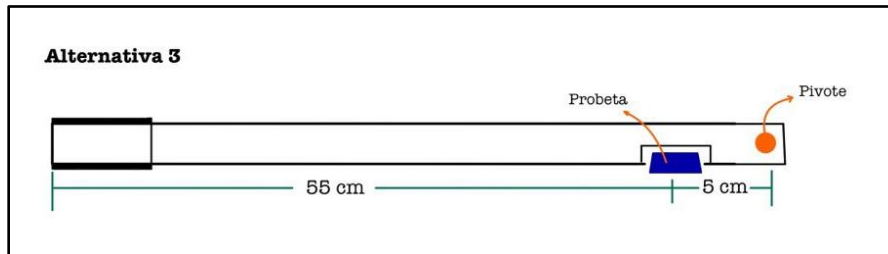
La fuerza que se aplica en el torquímetro es aplicada de forma vertical dirigida hacia el piso.

$$\sum M_o = 0$$

$$F_{conducida} = F_{transmitida} * \left(\frac{60}{5}\right)$$

$$F_{conducida} = 12 * F_{transmitida}$$

Figura 18 Esquema de alternativa 3

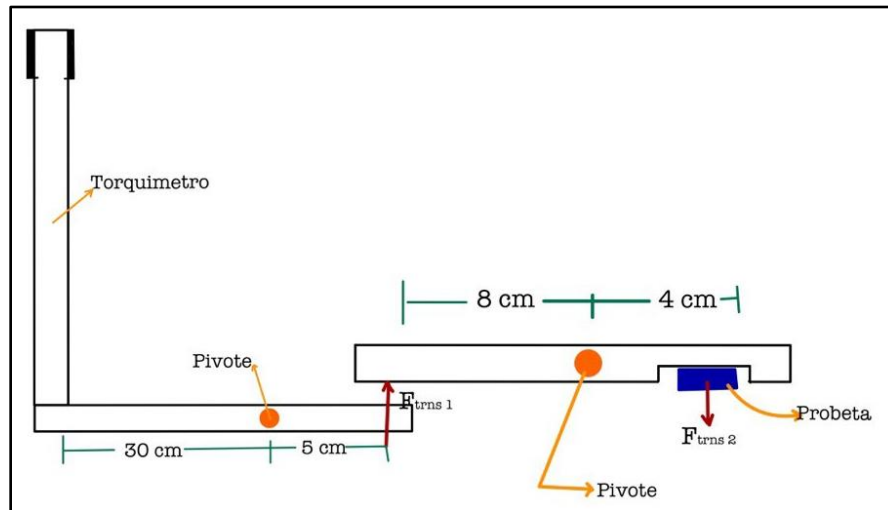


6.3.2.4. Alternativa 4. Emplea los sistemas de las alternativas 1 y 3, ya que cuenta con el mismo sistema de la alternativa uno, pero con la variante del torquímetro en la parte inicial del mecanismo. se tiene en cuenta un sistema completo que pueda realizar varias funciones y pueda servir para diferentes análisis en laboratorio, contando con cargan variable y carga constante.

Además, debe ser un sistema en el cual asegure la versatilidad, la facilidad del mantenimiento y sobre todo un simple manejo en cuando al cambio de sus brazos para cambiar el tipo de carga que se desee utilizar, es decir, se podría utilizar carga variable y la carga constante.

El análisis de fuerzas es el mismo que en la alternativa 1, por lo que se manejan las mismas dimensiones lo único que cambia es cómo se aplicar la fuerza dependiendo del elemento que se vaya a utilizar.

Figura 19 Esquema de la alternativa 4



Nota: Se observa el contenido del mecanismo, donde este sujeto con la finalidad de transmitir la fuerza aplicar en el extremo izquierdo.

6.3.3. Evaluación de alternativas

Se evalúan las alternativas planteadas anteriormente, basados en los criterios del consumidor y los criterios del diseñador. El método de la evaluación será uno de los más conocidos como la evaluación PUGH⁷, la cual tiene como principal objetivo ayudar a tomar una decisión utilizando un método cuantitativo para seleccionar la alternativa. Los criterios de evaluación son los siguientes:

- [1] Criterio cumple en su totalidad.
- [0] Criterio es aceptable.
- [-1] Criterio no cumple

⁷ “Herramienta de tipo cuantitativo que utiliza un entorno multidimensional para escoger la mejor de una serie de opciones.” (Arias, 2022)

Los factores para tener en cuenta para la evaluación de las alternativas están en función de las siguientes reglas:

- **Costo de construcción:** Representa todas las variables necesarias para llevar a cabo el producto final requerido, incluye las materias primas, maquinarias, herramientas, materiales y mano de obra. Todo esto con el fin de optimizar los recursos.
- **Funcionalidad:** Se refiere a la capacidad que tiene la máquina para cumplir con la función principal que se le ha otorgado, además debe ser práctico y utilitario.
- **Soporte técnico:** Se refiere a la facilidad de realizar el mantenimiento técnico planificado mediante intervalos de tiempo para garantizar su correcto funcionamiento.
- **Seguridad y medio ambiente:** Representa la posibilidad de que suceda eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones en los cuales una persona pueda o no resultar lesionada, se produzca violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.
- **Tiempo de construcción:** Es el tiempo empleado para realizar a finalidad la máquina, teniendo en cuenta que cumpla con los requerimientos del consumidor y del diseñador.
- **Costo de mantenimiento:** Se refiere al costo promedio de falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento.

Tabla 9. *Criterios de evaluación método PUGH*

Criterio	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
Bajo costo de construcción	1	-1	1	1
Funcionabilidad	1	0	1	-1
Soporte tecnico	0	1	1	1
seguriad	-1	1	1	0
tiempo de construcción	0	1	1	1
materiales de construcción	1	0	0	1
total	2	2	5	3

6.3.4. Selección de la alternativa

Como se observa en la tabla anterior, la alternativa 3 es la que tiene mayor puntaje lo cual cumple con los requerimientos más importantes y necesarios para llevar a cabo la construcción de la máquina. Esta alternativa está cumpliendo con los requerimientos de consumidor y los requerimientos del diseñador.

Por consiguiente, cumple con el objetivo de ser la más económica de las alternativas, funcional y sencilla de usar, cuenta con un elemento llamado torquímetro, por lo que se concluye que será una carga variable, el tiempo que dure la prueba, aunque si se ajusta el tiempo de la prueba a momentos cortos se puede aplicar la prueba con cargas constante. Teniendo eso en mente, la fuerza que se le debe aplicar al torquímetro debe ser la que rompa la película lubricante o por lo menos la fuerza que más se acerque a romper dicha película, esto va a depender de las especificaciones de los lubricantes.

En esta prueba se analizan factores como lo es el tiempo de prueba, el gasto energético según el esfuerzo que hace el motor en hacer girar la pieza rodillo, la carga aplicada y otras variables que se verán más adelante.

6.4. Diseño en detalle

Con el fin de organizar y facilitar la comprensión al lector, sobre el funcionamiento y el diseño de la máquina, se dividieron los elementos de la máquina en cuatro grupos según su funcionamiento y posicionamiento en subsistemas.

6.4.1. Tipos de subsistema

Algunos de los elementos seleccionados en cada subsistema con lleva un análisis previo para su selección por lo tanto se hablará se hablará de cómo se llegó a la conclusión de su selección y en cuento a los otros elementos son criterios del diseñador basados en economía, calidad y funcionabilidad.

- Subsistemas de transmisión de potencia.
- Subsistema de soporte.
- Subsistema del eje.
- Subsistemas de materiales de estudio.

6.4.2. Subsistemas

A continuación, se mostrará los subsistemas que se pueden encontrar en la máquina. Se organizó de esa manera para su fácil comprensión y poder explicar de manera más organizada el diseño de esta, aportando así una manera de enfocarse en los objetos que se relacionan entre sí.

6.4.2.1. Subsistema de transmisión de potencia. El subsistema de transmisión consta de 2 poleas, una motriz y una conducida unidas por una correa. Se cumple con lo que se pide en la norma por lo cual el eje, es decir, la polea conducida debe tener una velocidad de 800 revoluciones por minuto, dado que el motor tiene una velocidad de salida de 1750 se tiene la siguiente relación de velocidades:

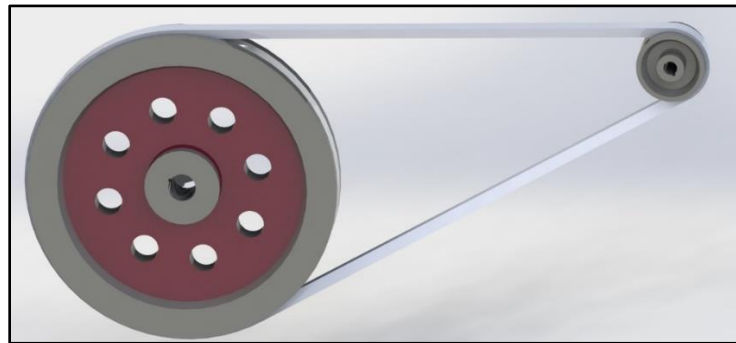
$$i = \frac{\text{Revoluciones del eje motriz}}{\text{Revoluciones del eje conducido}}$$

$$i = \frac{1750 \text{ rpm}}{800 \text{ rpm}}$$

$$i = 35/16$$

Así mismo, más adelante se explica y se calcula los valores de la correa y de las poleas con la finalidad de hacer cumplir estos criterios.

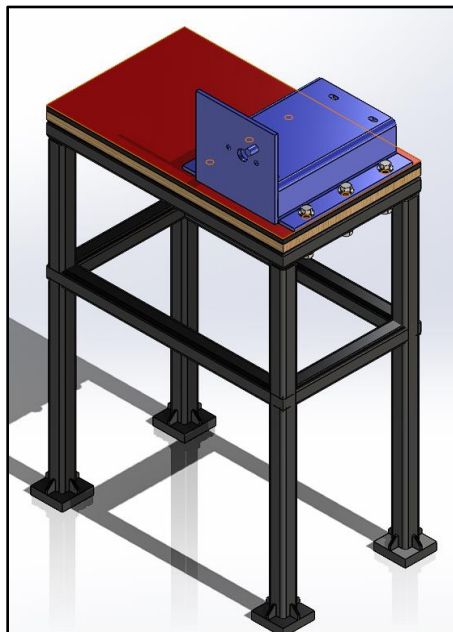
Figura 20 Sistema de transmisión de potencia.



Nota: Las dimensiones de las poleas y análisis de la correa está sujeta a los criterios del diseñador.

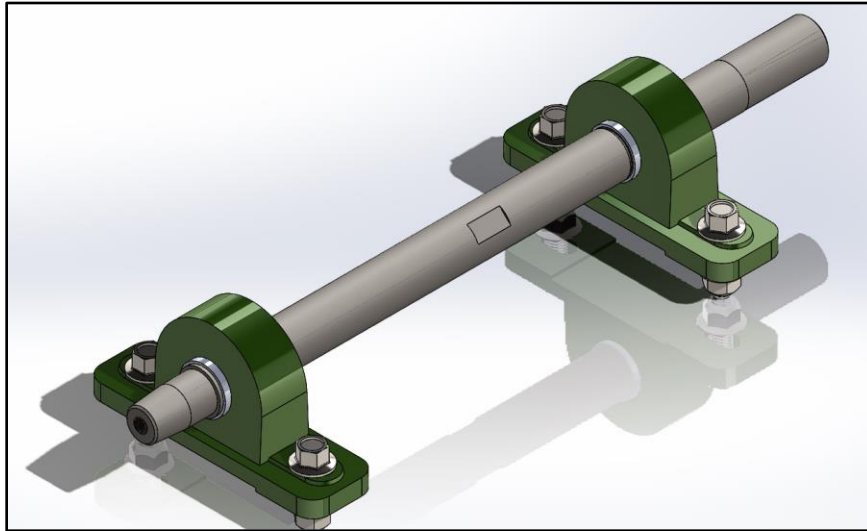
6.4.2.2. Subsistema de soporte. Este subsistema consta de todos los elementos que brinde a la maquina soporte, el análisis de este apartado y selección de componentes se hizo con el objetivo de que el soporte tenga buena resistencia al desgaste, estabilidad en cuanto a posibles vibraciones y la pintura que se utilice proporcione un buen acabado estético de la misma manera garantice la durabilidad de los componentes.

Figura 21 *Subsistema soporte de la máquina*



6.4.2.3. Subsistema del eje. Este subsistema es de gran importancia debido a que el eje debe cumplir con ciertas condiciones para poder transmitir la velocidad requerida, evitar la falla por fatiga y que garantice el mantenimiento del rodillo sostenido en dicho eje. Adicional a esto como se puede ver en la imagen a la mitad del eje, contiene un revestimiento con el propósito de dar mayor ajuste al momento de ajustar o desajustar el tornillo prisionero.

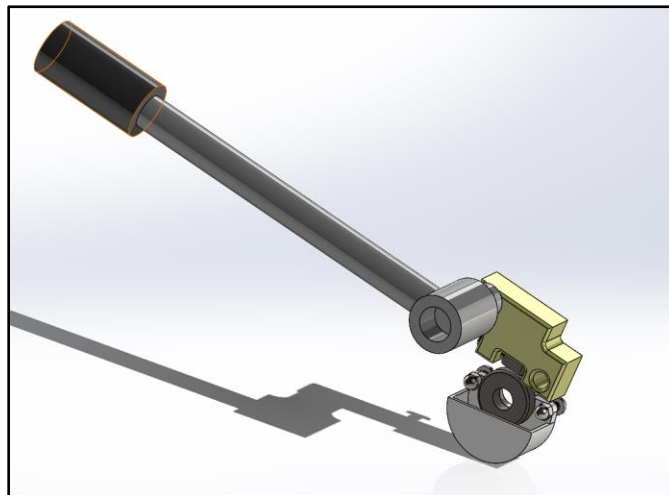
Figura 22 *Subsistema eje de la máquina*



Nota: *El diseño fue realizado en el programa de SolidWorks 2022*

6.4.2.4. Subsistema del material de estudio. En este subsistema consta de los elementos llamados; Soporte torquímetro, probeta, rodillo, torquímetro y tanque en acrílico.

Figura 23 *Subsistema "material de estudio" de la máquina.*



Nota: Este subsistema contiene los elementos rodillo y probeta por lo cual las dimensiones extraídas de (ASTM 2782-20, 2020) y los demás elementos criterios del diseñador.

6.4.3. Selección de elementos

En este apartado se calculan los elementos que se utilizarán en la máquina como lo son las poleas y la correa. Para el cálculo y selección se utilizó el catálogo de la compañía intermec.

6.4.3.1. Poleas. Es un sistema de transmisión de potencia o velocidad por ende se tiene en cuenta que se espera reducir la velocidad de salida del motor, el cálculo de la relación de velocidades se hizo anteriormente $i = 35/16$. Para el primer análisis se deben tener los datos del motor, por lo cual se menciona continuación.

Tabla 10. Características del motor

Características motor	
Potencia	1 hp
Velocidad	1750 rpm
Tipo	monofasico
hz	60 hz
Voltaje	110 v

Para el cálculo de la polea motriz se utiliza la tabla del catálogo intermec, que da como resultado dependiendo las características del motor una medida mínima, se dirige a catálogos que proporcione piezas comerciales para su fácil obtención.

Figura 24 Diámetro mínimo de polea motriz

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-

Nota: Selección de la polea motriz según los caballos de fuerza y los rpm del motor.

Tomado de (Intermec S.A, 2023)

Por lo visto en la tabla anterior y medias comercial se toma el valor de:

$$\Phi_{\text{motriz}} = 64 \text{ mm}$$

$$\Phi_{\text{conducida}} = \frac{35}{16} * 64 \text{ mm}$$

$$\Phi_{\text{conducida}} = 140 \text{ mm}$$

En conclusión, se tiene una polea motriz con diámetro de 64 mm y una polea conducida de 140 mm.

6.4.3.2. Correa. Para el cálculo de la correa se deben hacer números cálculos para determinar el valor final. A partir de las fórmulas encontradas en el catálogo de intermec se llega a la selección de elementos con mayor facilidad. A continuación, se presentan algunas especificaciones las cuales debe cumplir la correa con el fin de asegurar su correcto funcionamiento. La correa debe presentar una leve vibración en su funcionamiento, debe estar alineada y lo ideal sería que tuviese tolerancia para poderla ajustar.

Figura 25 *Distancia entre centros*

<p>Dist. "Recomendada": $C = 1,5 (D + d)$ Dist. "Máxima" : $C = 2 (D + d)$ Dist. "Mínima": $C = 0,7 (D + d)$ C= Distancia entre centros. D= Diámetro polea mayor. d= Diámetro polea menor.</p>

Nota: Tomado del catalogo (Intermec S.A, 2023)

$$C = 1.47 (140 \text{ mm} + 64 \text{ mm})$$

$$C = 299.9 \cong 300 \text{ mm}$$

Después de concluir la distancia entre centros, se puede hallar la longitud de la correa.

Figura 26. Longitud de la correa

$$L_p = 2C + 1.57(D+d) + \frac{(D+d)^2}{4C}$$

Donde:
L_p: Largo de la correa.
D: Diámetro de la polea mayor.
d: Diámetro de la polea menor.
C: Distancia entre centros.

Nota: Tomado del catalogo (Intermec S.A, 2023)

$$L_p = 2 \times (300) + 1.57(140 + 64) + \frac{(140 + 64)^2}{4 \times 300}$$

$$L_p = 889 \text{ mm} \cong 35 \text{ in}$$

Por otra parte, se determina la potencia de diseño para evaluar el número de correa que corresponde al diseño y la clase o tipo de perfil que se utilizara.

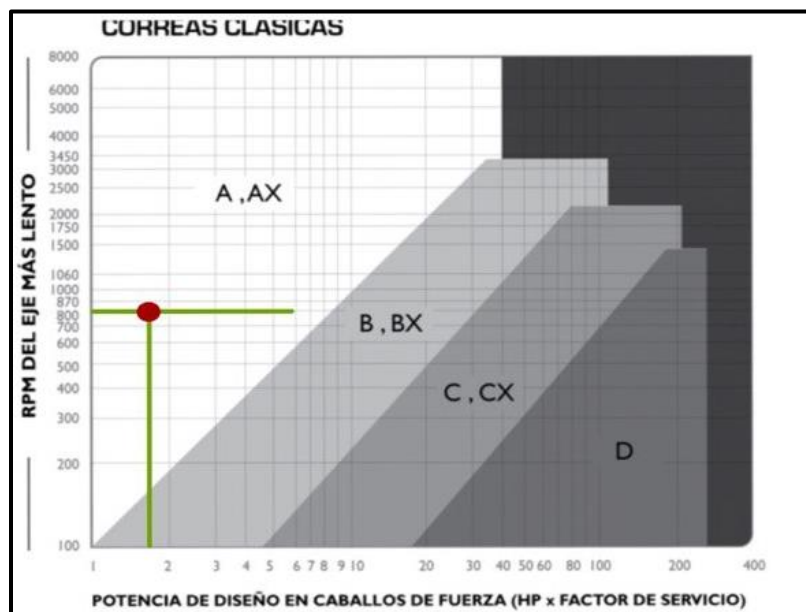
Figura 27 Tipos de maquinaria

TIPOS DE MAQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradoras Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de más de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para aserrios y trabajos en madera Transportadores (arrastré o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores cangilones Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias-mandibula-rodillo) Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Molacates	1.5	1.6	1.8

Nota: Tomado del catalogo (Intermec S.A, 2023)

De los anterior, se concluye el factor de seguridad para determinar la potencia de diseño, gracias a esto se halla el tipo de correa que se necesita.

Figura 28 Clasificación de correas clásicas



Nota: Tomado del catalogo (Intermec S.A, 2023)

$$Pot_{Dis} = 1.1 \times 1 \text{ hp}$$

$$Pot_{Dis} = 1.1 \text{ hp}$$

Se identifica que la clase de la correa que necesita la maquina es de clase A, debido a que la potencia de diseño es 1.1 hp, se debe identificar cuantos canales se requiere para el sistema.

Figura 29 Numero de canales - perfil de la correa

		Número de Canales								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Perfil de la correa	A	190	349	508	667	825	984	1143	1302	1460
	B	254	444	635	825	1016	1206	1397	1587	1778
	C	349	603	857	1111	1365	1619	1873	2127	2381
	D	444	809	1175	1540	1905	2270	2635	3000	3365
	3V	175	278	381	484	587	690	794	897	1000

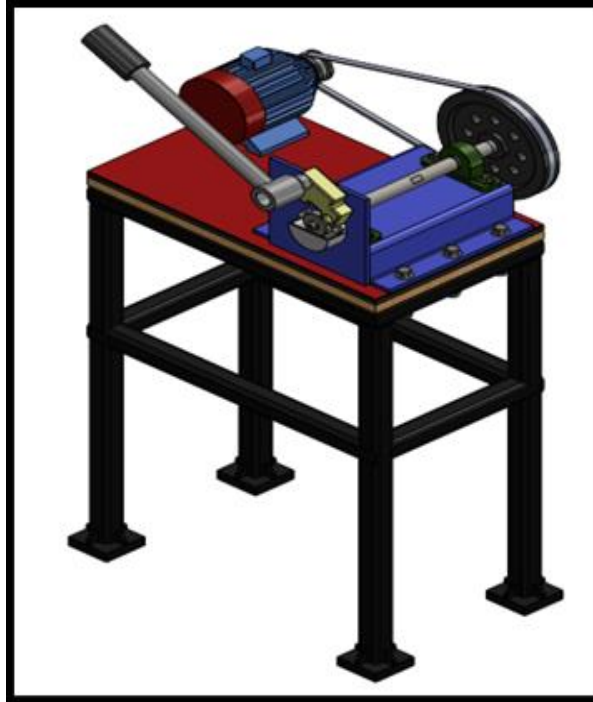
Nota: Tomado del catalogo (Intermec S.A, 2023)

Para determinar el número de canales se requiere la potencia de diseño puesto que se debe saber el perfil de la correa para identificar los canales necesarios. De lo anterior se puede concluir que se necesita una correa A37 y poleas de solo un canal.

6.5. Construcción

Para la construcción de la máquina se tomará evidencia de los montajes realizados, que se hacen de acuerdo con los subsistemas dichos anteriormente, en la siguiente imagen se observa el plano de la máquina con todos los componentes necesarios para la construcción.

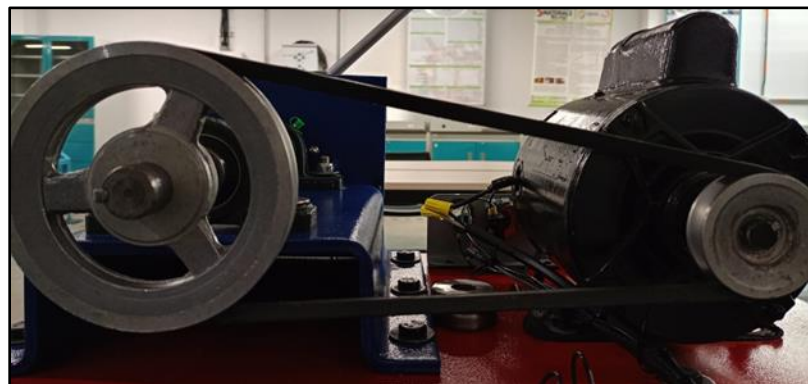
Figura 30 *Vista isométrica de la máquina.*



6.5.1. Subsistema transmisión de potencia

El subsistema transmisión de potencia está conformado por el motor, polea motriz, polea conducida y la correa, a continuación, se observa el montaje real del sistema de transmisión de potencia.

Figura 31 *Vista real del subsistema de transmisión de potencia*



6.5.2. Subsistema eje

El subsistema de eje está constituido por dos chumaceras y el eje, para una mejor visualización se presenta la construcción concreta de dicho montaje.

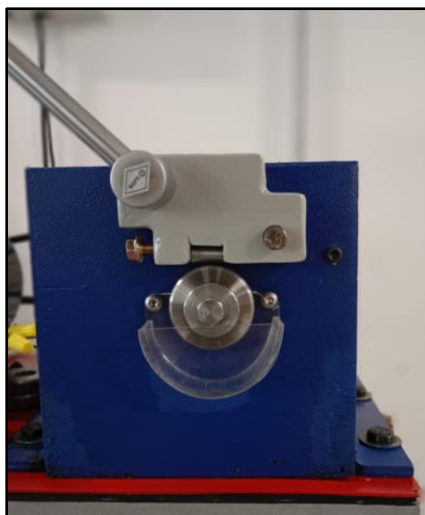
Figura 32 Vista real del subsistema eje de la máquina



6.5.3. Subsistemas materiales de estudio

La probeta, el rodillo, el tanque, el torquímetro y el soporte de torquímetro conforman este subsistema que es uno de los más importantes de la máquina porque permite determinar el nivel de protección y el desgaste. Seguidamente se expone los componentes reales.

Figura 33 Vista real del subsistema de material de estudio de la máquina



6.5.4. Subsistema soportes

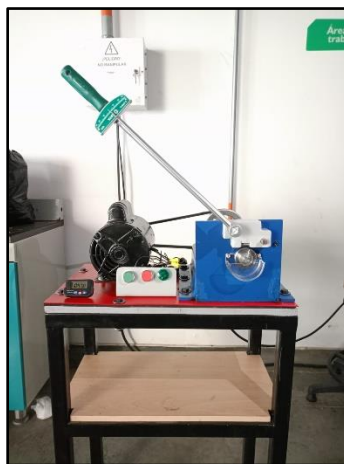
En el subsistema de soportes se encuentra la estructura base y las láminas, para visualizar más detallado el montaje se muestra el plano explosionado y posteriormente la instalación real.

Figura 34 Vista real del subsistema soporte de la máquina



Terminado el proceso de construcción y el respectivo montaje de los subsistemas, se tiene como resultado la máquina final, como se puede observar en la siguiente imagen.

Figura 35 Vista real de la máquina diseñada



7. PRUEBAS

Este apartado describe la norma ASTM – 2782 que define los requerimientos para tener en cuenta en la realización de los ensayos, además con estas condiciones se define los dos tipos de pruebas que se van a desarrollar con el fin de comparar el comportamiento de los aceites lubricantes, estos datos se recopilan en la hoja de ruta en la que se incluyen los parámetros de la prueba y las características de los aceites.

7.1 Parámetros

El método empleado para la determinación del nivel de protección está guiado por la norma ASTM 2782, que consiste en una prueba llamada TIMKEN, la cual establece parámetros para llegar a la conclusión de la carga o presión máxima (mediante el torquímetro) que puede ser sostenida con o sin lubricante en el sistema.

La máquina de ensayo trae unas especificaciones iniciales para iniciar cada prueba, es importante tener en cuenta el material que en este caso es acero 4340 y las dimensiones de la probeta y del rodillo. La velocidad que debe tener el eje conducido y por ende el rodillo de prueba es de 800 rpm.

Para analizar las diferentes características del lubricante se cuenta con unos parámetros iniciales para esta máquina los cuales son la temperatura inicial, la cantidad del aceite y elementos para el control y la toma de datos.

Se toma la medición de la temperatura inicial y la temperatura final en punto de contacto de interés. La temperatura inicial se logra dejando encendida la maquina por un tiempo (que normalmente va entre 4 a 8 minutos) hasta que el aceite se precaliente o utilizar un elemento

externo el cual ayude a precalentar el lubricante y llegue a una temperatura deseada de 34°C, temperatura que está dentro del intervalo de generalidades de la norma. Para la medición mediante el uso de un termómetro digital de rango [-20°C a 300°C].

Tener en cuenta que para el suministro de aceite lubricante se debe utilizar un tanque con el fin de contener el aceite y mantener la pieza de estudio (rodillo) y sistema lubricado. Es importante verificar la temperatura que puede soportar este elemento, ya que en algunos casos puede alcanzar temperaturas muy altas dependiendo del tiempo y carga de la prueba. La cantidad de aceite con la que trabaja el tanque es de 12 ml, lo que asegura que el rodillo este sumergido lo necesario y cumpla con su correcto funcionamiento.

7.2 Tipos de pruebas

Para este caso se van a utilizar dos diferentes pruebas en las que se analizan los parámetros de tiempo, carga, pesos y lubricación del sistema para determinar el nivel de protección que ofrecen los aceites lubricantes utilizados en cada ensayo, a continuación, se explican cada una de las pruebas:

7.2.1. Prueba 1, carga máxima.

Consiste en conocer la carga máxima que puede soportar los materiales de estudio bajo ciertas condiciones, con el fin de garantizar la homogeneidad de cada ensayo. Esta prueba se logra aumentando la carga que se aplica en el torquímetro progresivamente hasta que el sistema se detenga por completo.

7.2.2. Prueba 2, Carga constante

Esta prueba se basa en conocer el comportamiento que sufren los materiales con unos parámetros que se plantean a continuación:

Tabla 11. *Parámetros de la prueba 2*

Prueba 2	
Tiempo de prueba	2 minutos
Carga aplicada	30 N.m

Con estos parámetros se espera obtener el desgaste en condiciones controladas y comparar los resultados.

Asimismo, si en la prueba se cuenta con la presencia de un lubricante puede relevar datos importantes según su análisis como el rendimiento de este, evaluando diferentes condiciones obtenidas en pro del alargamiento de la vida útil del material. Estos hallazgos son fundamentales ya que respaldan la toma de decisiones por parte de los expertos.

7.3. Ensayos

Los ensayos son una herramienta valiosa que permite profundizar y explorar temas diversos desde diferentes perspectivas. Estos ensayos son elaborados y estructurados para presentar argumentos sólidos, análisis detallados y conclusiones fundamentadas sobre temas específicos.

A continuación, se describen 3 ensayos a los que se aplican las dos pruebas mencionadas anteriormente.

7.3.1. Sin aceite lubricante

Para la realización de este ensayo no se utiliza aceite lubricante, se realiza en seco con el fin de determinar parámetros base y verificar el comportamiento de protección para las siguientes pruebas.

7.3.2. Con aceite lubricante tipo ISO 100 (sin aditivo)

Este ensayo consiste en evaluar el nivel de protección que genera el aceite lubricante tipo ISO 100 cuando produce la capa protectora del rodillo y entra en contacto con la probeta por medio de la carga aplicada.

7.3.3. Con aceite lubricante tipo ISO 100 EP (con Aditivo de Extrema Presión)

Se utiliza un aceite lubricante ISO 100 con aditivo de extrema presión, como ya se sabe este previene el desgaste a altas temperaturas y cargas, por lo que resulta una buena opción para comparar el comportamiento de los aceites utilizados en el transcurso de las pruebas.

7.3. Lubricantes para las pruebas.

Para el desarrollo de las pruebas se utiliza aceite lubricante ISO, con la finalidad de poder analizar fluidos que soporten carga quienes manejan ciertas características positivas para trabajos pesado. En este caso se analiza ISO 100 e ISO 100EP, de marca Lubrisol S.A de Colombia.

Figura 36 Muestras de lubricantes Lubrisol Colombia



Nota: Aceites lubricantes de dotación suministrados por Lubrisol S.A Colombia

7.4 Hoja de Ruta

A continuación, se recopila las hojas de ruta con los datos obtenidos durante todo el ensayo:

Tabla 12. Hoja de ruta

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE FISICO-MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA PRUEBA TIMKEN PARA ACEITES			
ENSAYO #		LABORATORIO	mantenimiento EIM	FECHA	
CONDICIONES INICIALES					
CARACTERISTICAS DEL ACEITE		PARAMETROS DE LA PRUEBA		INICIALES	FINALES
Tipo		Carga			
Marca		Rpm			
Viscosidad cSt @ 40° C		Tiempo			
Cantidad		Temperatura			
CARACTERISTICAS DE LA PROBETA		CARACTERISTICAS DEL RODILLO			
Material		Material			
Dureza		Dureza			
Peso inicial		Peso inicial			
Densidad (g/cc)		Densidad (g/cc)			
Dimensiones		Dimensiones			
RESULTADOS OBTENIDOS					
		DATOS FINALES DEL RODILLO			
		Peso final			
		Desgaste			
DATOS FINALES DE LA PROBETA		Intensidad de desgaste			
		Peso final			
		Desgaste			
Intensidad de desgaste					
ELABORADO	SEBASTIAN ARIAS NARLY BOHORQUEZ		APROBADO	FRANCISCO SALDIVIA	
FECHA		FECHA			
OBSERVACIONES					

La información obtenida durante las muestras es recolectada en hojas de ensayo previamente diseñados, donde incluye las condiciones iniciales, las características del lubricante, de la probeta móvil y fija, así como también aporta información de los resultados obtenidos mediante las especificaciones como una imagen para determinar visualmente la marca provocada durante el contacto entre las dos superficies.

8. ANALISIS DE DATOS

En el desarrollo de este capítulo se realiza una toma de datos de las tres pruebas anteriormente mencionadas, con el propósito de analizar el nivel de protección que ofrece el aceite lubricante ISO 100 Y ISO 100EP y en base a estos priorizar los requerimientos del diseño, así como también al momento de tomar decisiones o designar posibles alternativas de aplicación.

8.1. Toma de datos

Los resultados obtenidos durante los ensayos se recopilan en la siguiente tabla con el fin de comparar los datos obtenidos de acuerdo con cada tipo de prueba aplicada.

Tabla 13. Toma de datos.

Tipo lubricante	NO LUB.		LUB. ISO 100		LUB. ISO 100 EP	
condición	SL - Cc	SI - CM	CL - Cc	CL - CM	CL - Cc	CL - CM
Ensayo	1	2	3	4	5	6

Tiempo s	120	8	120	16	120	26
Carga N.m	30	40	30	50	30	80
Temp. °C	-	-	98.6	52	128	67
Amperaje A	14.1	25	16	25	14	26

En la anterior tabla se visualiza la toma de datos que se hizo en cada una de las pruebas, para la compresión de los elementos de la tabla se debe tener en cuenta el significado de algunas siglas como: “SL” significa prueba sin lubricante, “CL” con lubricante, “CC” carga constante y por último “CM” carga máxima.

8.2. Discusión

De los datos obtenidos de la tabla anterior se analizó e interpretó los resultados por medio de graficas para cada prueba. Con el fin de evaluar el comportamiento de desgaste del acero 4340 cuando entra en contacto el rodillo y la probeta, además se observa la conducta de protección de los aceites lubricantes.

Por lo tanto, para hallar el desgaste abrasivo ocasionado en los ensayos se pueden utilizar dos métodos, el primero es utilizando la siguiente formula en condiciones de operación.

$$K = \frac{K_a}{H} = \frac{V_d}{SW}$$

$$S = N_t \delta$$

Donde, K el coeficiente de desgaste [m^2/N], K_a la constante de Archard [adim.], H la dureza del material [N/m^2], V_d el volumen de desgaste [m^3], W la carga normal aplicada [N], S el desplazamiento total acumulado [m], δ la amplitud del desplazamiento [m], N_t el número total de ciclos de operación.

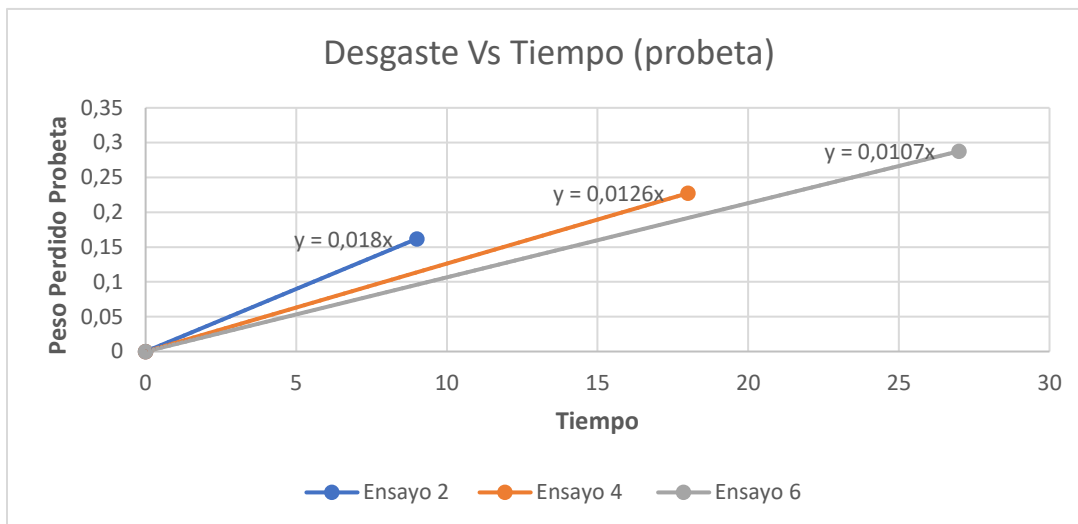
De igual forma este desgaste se puede medir con otro método el cual es más sencillo en el que se tiene en cuenta la pérdida de peso (Desgaste = peso inicial – peso final), este procedimiento fue el utilizado para hallar el desgaste.

Tabla 14. Resultado de operaciones de desgaste.

VARIABLES		1	2	3	4	5	6
probeta	Peso inicial	16,9573	17,7346	18,4807	17,6419	17,7778	17,806
	Peso final	16,3466	17,5728	18,3744	17,4145	17,7038	17,5183
rodillo	Peso Inicial	157,6038	157,0667	159,6449	160,1671	159,0908	159,7555
	Peso final	157,7862	157,2061	159,6983	160,3289	159,1097	159,8263

8.2.1. Desgaste vs tiempo. (carga máxima)

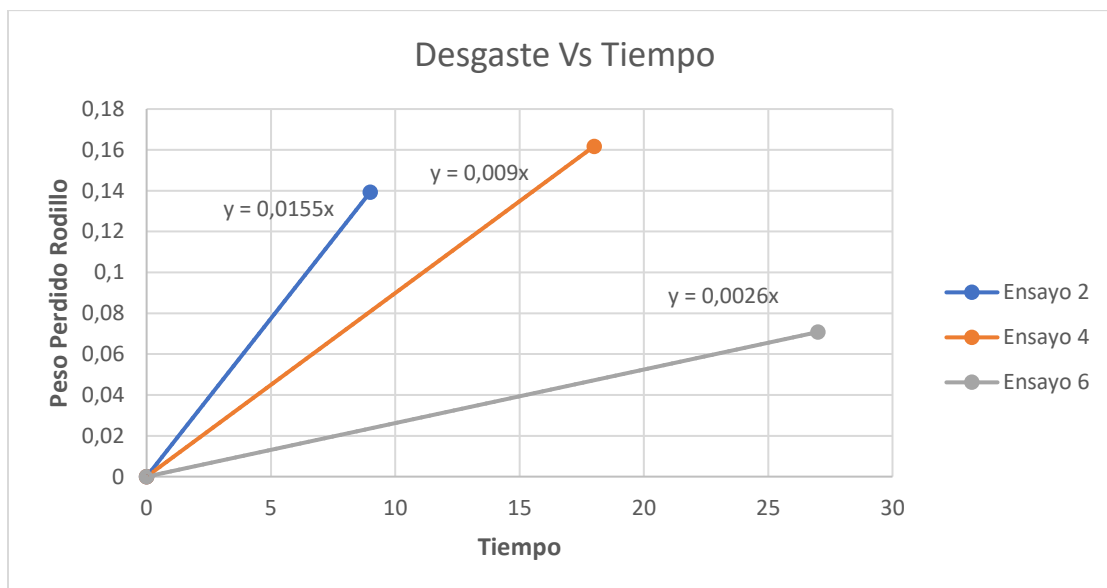
Una vez desarrollada las pruebas experimentales de carga máxima sobre el desempeño de la película lubricante, los resultados fueron utilizados para analizar el comportamiento del acero en la probeta y el rodillo cada uno, con una observación diferente ya que poseen parámetros distintos, como por ejemplo la posición, el movimiento y la lubricación.

Figura 37 *Desgaste vs tiempo probeta*

Nota: Se halla la pendiente de la recta con la cual se estima la intensidad de desgaste

De la anterior grafica se puede deducir que en el ensayo sin lubricante la pendiente es más inclinada con respecto a los ensayos con aceite, se estima que falla primero por el tiempo de prueba que es menor. Así mismo se observa que al usar aceites lubricantes la pendiente de intensidad de desgaste se hace menor.

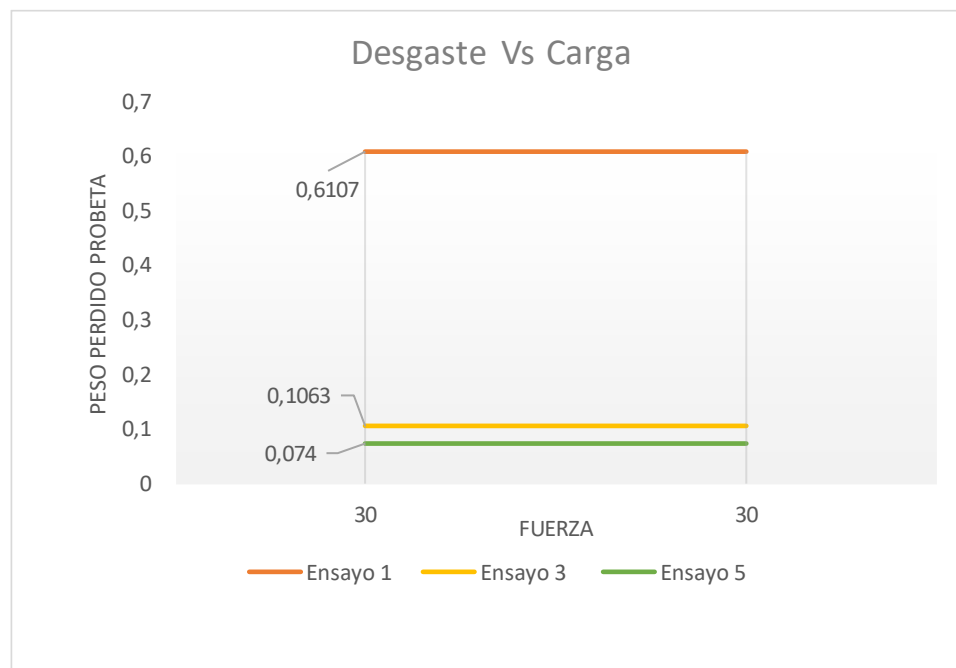
Figura 38 *Desgaste vs tiempo rodillo*



En el caso del rodillo también se observa la intensidad del desgaste por medio de la pendiente. Al analizar los resultados se aprecia que efectivamente la intensidad de desgaste es mayor en el ensayo 2 pero el desgaste generado por el ensayo 4 es mayor que los demás esto se puede justificar por el mayor tiempo que duro el ensayo y la carga soportada.

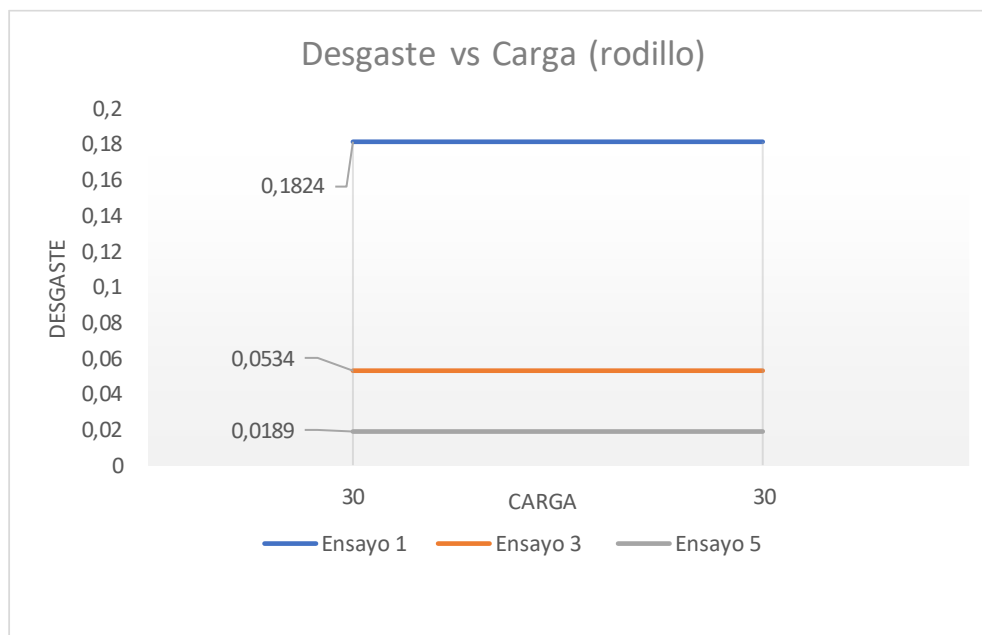
8.2.2. Desgaste vs carga (carga constante)

Los resultados de los dos ensayos que analiza el desempeño del lubricante es comparado con el ensayo sin lubricante esto demuestra que claramente se disminuye el desgaste de los elementos en contacto con el aceite lubricante.

Figura 39 *Desgaste vs carga de la probeta*

Como se observa en la gráfica al aplicarse la misma fuerza y el mismo tiempo en los tres ensayos se puede decir que el ensayo 1, que se hizo sin lubricante tiene mayor desgaste.

De la tabla 14 se puede observar que la temperatura a la cual llegó el ensayo 3 con el ISO 100 sin el aditivo de extrema presión es menor a la del ensayo 5. Aunque el lubricante ISO 100EP disminuye el consumo de energía según el promedio de amperaje obtenido. Otra de las variables que se puede apreciar entre los ensayos 3 y 5 comparado con el ensayo 1, que las piezas involucradas no sufren quemaduras, ni cambios de color como se presentó en el ensayo 1.

Figura 40 *Desgaste vs carga Rodillo*

Adicionalmente, los resultados que se obtuvieron a partir de los ensayos demuestran la efectividad del aditivo de extrema presión, teniendo en cuenta ciertas variables como lo son; desgaste y gasto energético. Así mismo, al culminar el tiempo de la prueba según los resultados los cuales muestran que el lubricante ISO 100 EP alarga la vida útil de los elementos en contacto debido a que presenta una disminución del desgaste 3 veces por debajo del otro tipo de lubricante y 10 veces menor a la que se presentó sin lubricante.

8.2.3. Amperaje vs tiempo

Los resultados de amperaje vs tiempo corresponden al consumo de energía en el conjunto del sistema tribológico que genera fricción. Entre más reduzca esta fricción, mayor será el ahorro del consumo de energía.

Figura 41 Amperaje vs tiempo (carga constante)

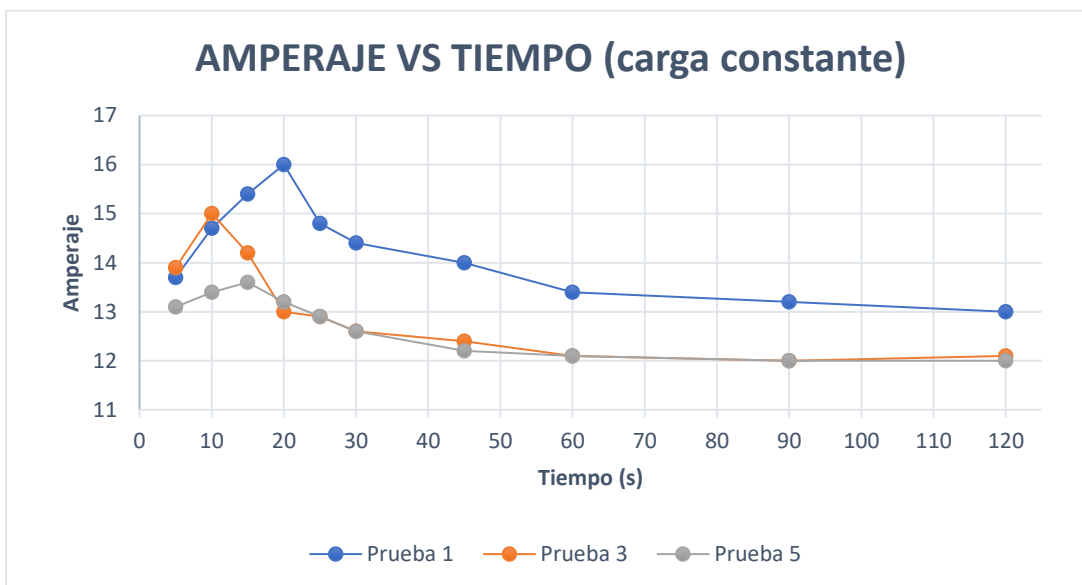
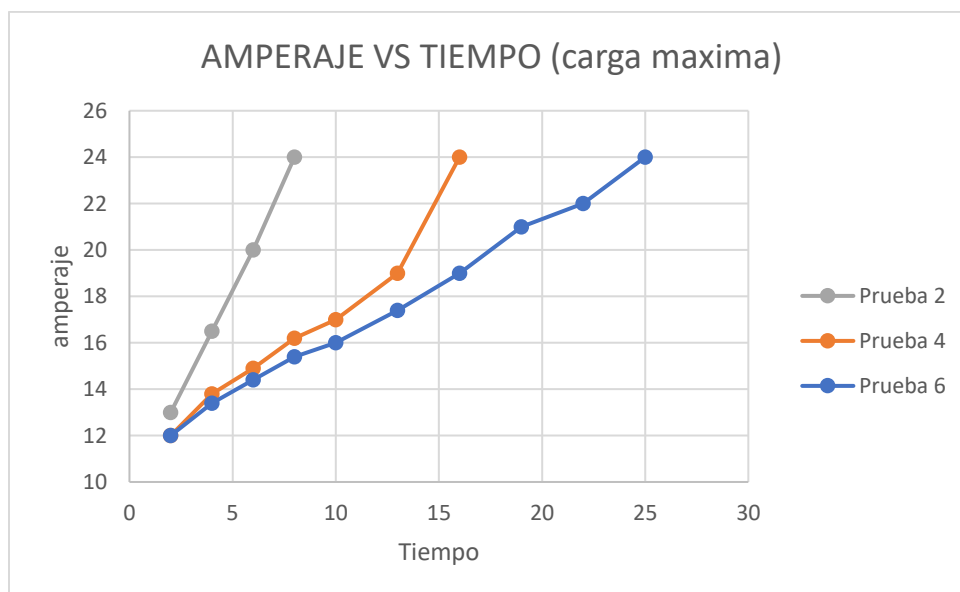


Figura 42 Amperaje vs tiempo (carga máxima)



La comparación de esos resultados y según la gráfica demuestra que el consumo de energía es mucho mayor los primeros segundos del inicio de cada prueba. Según lo que se puede apreciar y el porqué de esta situación se llegan a unas hipótesis probables, de las cuales son:

1. La rugosidad de los materiales de contacto que son del mismo acabado, pero de la forma en que se consiguió ese acabado puede tener alguna repercusión en estas pruebas, el sentido en el cual tuvo acción el lijado de la probeta es de sentido horizontal y por el contrario el del rodillo tuvo la acción de lijado sentido vertical. Por ende, el contacto entre los dos materiales se hace de forma perpendicular, por consiguiente, se puede obtener una mayor resistencia al movimiento, es decir, un coeficiente de fricción mayor.
2. En segundo lugar, el comportamiento es normal como pasan con la mayoría de los pares de metales en contacto, que después de un tiempo crea un comportamiento estable al pasar el tiempo.

8.3. Conclusión de las pruebas.

Para el ensayo 1 se presentó quemaduras y cambios en el color del sistema tribológico, esto ocasionado por el tiempo en que los dos aceros entraron en contacto sin ningún tipo de capa protectora que redujera el rozamiento y la temperatura de los elementos presentes.

Por otra parte, se comprobó que el uso de los aceites lubricantes disminuye el nivel de desgaste de la probeta y el rodillo por las propiedades de protección que generan estos aceites, impidiendo así el contacto entre las superficies, porque ayuda a reducir la fricción creando una película entre la superficie.

Así mismo se observó que este lubricante de extrema presión mejora el rendimiento a la resistencia de desgaste, además disminuye el consumo de energía al utilizar este tipo de aditivo porque al generar una delgada capa de fluido permite que deslice con mayor facilidad, aunque en la gráfica los ensayos se comporten similares esto debido a que en los primeros segundos se

requiere mayor energía para superar la fricción estática, pero con el tiempo se estabiliza este consumo.

Finalmente, al comparar los dos tipos de lubricantes se observó una menor temperatura con el lubricante sin aditivo al finalizar la prueba, pero al utilizar el lubricante con aditivo de extrema presión se observa mejor rendimiento a la carga máxima alcanzada y mayor tiempo de duración del ensayo.

9. COSTOS

La suma de los costos de las actividades del proyecto implica disponer de la información financiera de la investigación en conjunto y de las fases necesarias para desarrollar los objetivos específicos expuestos con anterioridad. De este modo la estructura de costos del proyecto se compone por los siguientes rubros: recursos humanos, equipos, software, materiales y otros que ayudan a tener en cuenta las variables que pueden alterar el presupuesto.

Tabla 15. Tabla de presupuesto

#	ELEMENTO	FUENTE DE FINANCIACION	UNIDAD	CANT	V. UNITARIO	V. CANTIDAD
1. RECURSOS HUMANOS						
1.1	DIRECTOR DE GRADO	UNIVERSIDAD	HORA	100	\$ 40.000	\$ 4.000.000
1.2	ESTUDIANTE 1	ESTUDIANTE	HORA	600	\$ 8.300	\$ 4.980.000
1.3	ESTUDIANTE 2	ESTUDIANTE	HORA	600	\$ 8.300	\$ 4.980.000
1.4	INGENIERO MECÁNICO	UNIVERSIDAD	HORA			\$ -
					SUBTOTAL 1	\$ 13.960.000
2. EQUIPOS						
2.1	COMPUTADOR	ESTUDIANTE	UNIDAD	2	\$ 3.250.000	\$ 6.500.000
2.2	IMPRESORA	UNIVERSIDAD	UNIDAD	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
					SUBTOTAL 2	\$ 8.500.000
3. SOFTWARE						
3.1	LICENCIA SOLIDWORKS	UNIVERSIDAD	ANUAL	2	\$ 6.500.000	\$ 13.000.000
3.2	LICENCIA OFFICE 365°	UNIVERSIDAD	ANUAL	2	\$ 120.000	\$ 240.000
					SUBTOTAL 3	\$ 13.240.000
4. MATERIALES						
4.1	PAPELERIA	UNIVERSIDAD	UNIDAD	1	\$ 120.000	\$ 120.000
4.2	CATALOGOS	ESTUDIANTE	UNIDAD	1	\$ 500.000	\$ 500.000
4.3	RECURSOS BIBLIOGRAFICOS	ESTUDIANTE	UNIDAD	1	\$ 500.000	\$ 500.000
4.4	MATERIA PRIMA (MAQUINA)	UNIVERSIDAD	UNIDAD	1	\$ 2.700.000	\$ 2.700.000
4.5	MEMBRESIA SCIENCE@DIRET	UNIVERSIDAD	UNIDAD	2	\$ 300.000	\$ 600.000
					SUBTOTAL 4	\$ 4.420.000
5. OTROS						
5.1	POLIZA UIS	UNIVERSIDAD	UNIDAD	2	\$ 18.500	\$ 37.000
5.2	ELECTRICIDAD	ESTUDIANTE	\$/Kw/h	1800	\$ 480	\$ 864.000
5.3	INTERNET	ESTUDIANTE	SEMESTRAL	2	\$ 180.000	\$ 360.000
5.4	VIATICOS	ESTUDIANTE	UNIDAD	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000
5.6	MANO DE OBRA	UNIVERSIDAD	UNIDAD	1	\$ 500.000	\$ 500.000
5.7	TRANSPORTE	ESTUDIANTE	UNIDAD	2	\$ 300.000	\$ 600.000
					SUBTOTAL 5	\$ 3.361.000
SUBTOTAL						\$ 43.481.000
IMPREVISTOS 10%						\$ 4.348.100
TOTAL						\$ 47.829.100

En las siguientes tablas se detallan los precios de los materiales requeridos por subsistemas, además la mano de obra y los acabados necesarios para la elaboración de la máquina.

Tabla 16. *Presupuesto subsistema motor*

SUBSISTEMA MOTOR				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
MOTOR	1 Hp motor de Baja velocidad 1800 rpm monofasico	1	\$ 700.000	\$ 700.000
SUBTOTAL				\$ 700.000

Tabla 17. *Presupuesto subsistema transmisión*

SUBSISTEMA TRANSMISION				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
POLEA	conductora	1	\$ 100.000	\$ 100.000
	conducida	1	\$ 50.000	\$ 50.000
CORREA	trapezoidal	1	\$ 35.000	\$ 35.000
CHUMACERA	SKF	2	\$ 40.000	\$ 80.000
EJE	acero 1045 ø 1 in	1	\$ 30.000	\$ 30.000
SUBTOTAL				\$ 295.000

Tabla 18. *Presupuesto subsistema fuerza*

SUBSISTEMA FUERZA				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
TORQUIMETRO	cuadrante de 1/2	1	\$ 200.000	\$ 200.000
SOPORTE	hierro 1 in	1	\$ 100.000	\$ 100.000
SUBTOTAL				\$ 300.000

Tabla 19. *Presupuesto de materiales de estudio*

SUBSISTEMA MATERIALES DE ESTUDIO				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
PROBETA	acero 4340 ø 0,485 in	1	\$ 26.000	\$ 26.000
RODILLO	acero 4340 ø 1,938 in	1	\$ 174.000	\$ 174.000
LUBRICANTES	ISO 68		\$ 100.000	\$ 100.000
	ISO 68 EP		\$ 100.000	\$ 100.000
	ISO 100	1	\$ 100.000	\$ 100.000
	ISO 100 EP		\$ 100.000	\$ 100.000
	ISO 150 EP		\$ 100.000	\$ 100.000
SUBTOTAL				\$ 700.000

Tabla 20. *Presupuesto subsistema soporte*

SUBSISTEMA SOPORTE				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
LAMINA 35 x 60	ACERO 3mm	1	\$ 35.000	\$ 35.000
LAMINA 20 x 30	ACERO 6mm	1	\$ 85.000	\$ 85.000
LAMINA 35 x 40	ACERO 8mm	1	\$ 115.000	\$ 115.000
LAMINA 35 x 60	CAUCHO 1cm	1	\$ 90.000	\$ 90.000
LAMINA 35 x 60	MADERA 2cm	1	\$ 20.000	\$ 20.000
TUBO RECTANGULAR	1 1/2 x 1 1/2 C18	1	\$ 76.000	\$ 76.000
SUBTOTAL				\$ 421.000

Tabla 21. *Presupuesto mano de obra*

SUBSISTEMA MANO DE OBRA				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
MANO DE OBRA	ensamble y soldadura	1	\$ 500.000	\$ 500.000
MECANIZADO	probetas y el eje	1	\$ 100.000	\$ 100.000
PINTURA	electrostatica	1	\$ 100.000	\$ 100.000
SUBTOTAL				\$ 700.000

Tabla 22. *Presupuesto de gastos adicionales*

ADICIONALES				
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	cant.	V. unitario	V. cantidad
MEDIDOR DE AMPERAJE	Ac 80-260 v	1	\$ 60.000	\$ 60.000
CRONOMETRO	MM	1	\$ 50.000	\$ 50.000
TERMOMETRO	DIGITAL	1	\$ 50.000	\$ 50.000
TANQUE	acrilico	1	\$ 55.000	\$ 55.000
SUBTOTAL				\$ 215.000

A continuación, se observa tabla que resume el costo total necesario para la construcción de la máquina para ensayos timken.

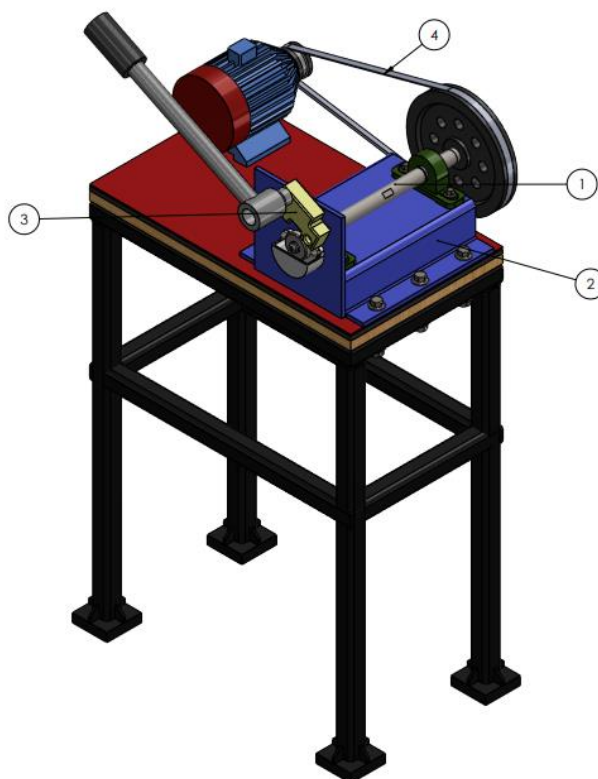
Tabla 23. *Presupuesto de costos totales*

COSTOS TOTALES	
CONCEPTO	PRECIO
<i>SUBSISTEMA MOTOR</i>	\$ 700.000
<i>SUBSISTEMA TRANSMISION</i>	\$ 295.000
<i>SUBSISTEMA FUERZA</i>	\$ 300.000
<i>SUBSISTEMA MATERIALES DE ESTUDIO</i>	\$ 700.000
<i>SUBSISTEMA SOPORTE</i>	\$ 421.000
<i>SUBSISTEMA MANO DE OBRA</i>	\$ 700.000
<i>ADICIONALES</i>	\$ 215.000
SUBTOTAL	\$ 3.331.000
IMPREVISTOS 10%	\$ 333.100
TOTAL	\$ 3.664.100

10. MANUAL DE OPERACIONES

Este manual está diseñado para proporcionar a los usuarios una guía completa sobre la operación, los parámetros, los procedimientos de prueba y las precauciones de seguridad al utilizar la máquina, Esta ha sido desarrollada para medir y analizar el nivel de protección de diferentes lubricantes. La comprensión y el seguimiento de las instrucciones aquí presentadas son esenciales para garantizar una operación segura y eficiente.

Figura 1. Vista explosionada detallada por subsistemas.



En la figura se muestra la maquina TIMKEN, utilizada para determinar el nivel de protección de los aceites lubricantes cuando se encuentran en un par de fricción en contacto.

Tabla 24 Descripción de subsistemas

Numero	Especificacion
1	Eje
2	Soporte
3	Material de estudio
4	Transmision de potencia

10.1. Parámetros de operación

Antes de realizar pruebas de evaluación de nivel de protección, es esencial comprender y configurar correctamente los parámetros de operación de la máquina TIMKEN. Estos parámetros determinarán la precisión y la eficacia de las mediciones realizadas. A continuación, se describen los parámetros claves que deben ajustarse de manera adecuada

Tabla 25. *parámetros de operación o ficha técnica.*

FICHA TECNICA			
Máquina para medir desgaste en superficies lubricadas			
Máquina	Altura max	157 cm	
	Ancho max	60 cm	
	Profundidad	35 cm	
Motor	Potencia	1 hp - 110v - 60 Hz	
	Rpm	1750 Rpm	
	Diametro del eje	16 mm	
	Longitud del eje	50 mm	
Transmisión	Polea - Correa		
	Correa	tipo A 35	
	Relacion velocidad	2,1875	
Elemento de estudio	Probeta	Diametro	12,3 mm
		Largo	19 mm
	Rodillo	anchura	13 mm
		Diametro externo	49 mm
		Diametro interno	19 mm a 21 mm
Torquímetro	Marca SATA - 1/2 in - 300 N.m		

10.2. Elementos de la máquina

Para el adecuado uso de la maquina es necesario implementar unas directrices con el fin de garantizar el adecuado uso y limpieza por parte del operario. A continuación, se describen los componentes de mayor visibilidad y con los que el operario va a manipular.

Tabla 26. *Componentes externos de la maquina*

Componente	Descripción	Imagen
Probeta	La probeta es de acero 4340 con medidas según la norma ASTM D2782 de diametro de 0.485 in y de longitud 0.750 in.	
Rodillo	El rodillo es de acero 4340 con medidas según la norma ASTM D2782 de diametro de 1.938 in y de longitud 0.514 in con un agujero de 0.82 in con un angulo de 4.3 grados.	
Botón de encender/apagar	El botón de encendido es redondo de color verde, capaz de encender la maquina al oprimirlo una vez. Por otra parte el botón de apagado es redondo de color rojo.	
Amperimetro/voltimetro	Indicador de amperimetro y voltimetro de 22 mm, que incluye piloto y transformador de corriente de hasta 100 amperios. Luz LED rojo.	
Cronometro	Instrumento digital que permite medir el tiempo durante la prueba con una precisión de centésimas de segundos, debe ser activado y desactivado manualmente.	
Termómetro	Es un aparato que permite monitorear y dar seguimiento a las temperaturas de los aceites utilizados para las pruebas.	

10.3. Procedimientos para realizar la prueba

A continuación, se enumeran unas especificaciones para tener en cuenta al momento de poner en funcionamiento la maquina:

- 1) Limpie el tanque, la probeta y el rodillo con un solvente y séquelos con un paño limpio y suave o con papel. Para cada prueba se debe hacer el mismo procedimiento.
- 2) Montar el rodillo con cuidado, coloque el rodillo en el eje asegurándose que quede ajustada por parte del tornillo y la arandela de sujeción.
- 3) Ubique el tanque en la posición debajo del rodillo y ajústelo con los tornillos de tuerca ciega.
- 4) En el soporte sujete la probeta de estudio y ajuste el torquímetro en la alineación adecuada.
- 5) Coloque el soporte en la lámina vertical y asegúrelo con la arandela y el pin de seguridad.
- 6) Llene el tanque de lubricante a una altura de $\frac{3}{4}$, las especificaciones del lubricante dependen del estudio que se va a realizar.
- 7) Para corroborar que los componentes de la maquina se encuentran correctamente alineados. y asentados es necesario girar el eje manualmente durante unas cuantas revoluciones.
- 8) Encienda la maquina y deje unos minutos para precalentar el aceite.
- 9) Tenga en cuenta el tipo de prueba que se va a realizar y aplique la fuerza mediante el torquímetro.

10.4. Advertencias

- 1) Cuando se encienda la maquina ubíquese en la parte delantera de la misma. En el caso del laboratorio delante de la línea amarilla con negro.
- 2) No apoyarse en el motor y menos cuando este aplicando la fuerza.
- 3) No manipule el sistema eléctrico o cables de este cuando este conectada la maquina a la corriente.
- 4) Verificar que la correa este correctamente alineada y siendo así, no manipularla cuando esté en funcionamiento.

CONCLUSIONES.

El diseño de la máquina proporciona una plataforma efectiva para llevar a cabo pruebas de desgaste, permitiendo así evaluar la eficacia de diferentes lubricantes en la protección de superficies en contacto.

El uso de SolidWorks como herramienta de diseño ha facilitado la creación de un sistema robusto y preciso, lo que garantiza resultados confiables en las pruebas de desgaste. La capacidad de modelar y simular la máquina en SolidWorks ha permitido realizar ajustes y optimizaciones antes de la construcción física, lo que ahorra tiempo y recursos.

La modelación del diseño final nos ayudo a modificar la estructura base, ya que se implemento un refuerzo para darle estabilidad a la mesa de soporte, así mismo se logro hacer cambios y ajustes al tanque debido a que el diseño inicial presentaba salpicaduras de lubricante y también ocupada más volumen de aceite.

La construcción de esta máquina alternativa demuestra el compromiso con la mejora continua de los procesos de evaluación de lubricantes y su impacto en la industria. La capacidad de realizar pruebas específicas en condiciones controladas contribuye al desarrollo de lubricantes de alta calidad y al diseño de sistemas más eficientes en diversas aplicaciones mecánicas.

Durante las pruebas, se observó que la variación en la película lubricante tiene un impacto significativo en la reducción del desgaste en las superficies de la probeta. Este hallazgo es fundamental para comprender cómo los lubricantes pueden proteger y prolongar la vida útil de las piezas sometidas a fricción y desgaste en aplicaciones reales.

Además, las pruebas han proporcionado datos cuantitativos que pueden ser utilizados para comparar y evaluar diferentes lubricantes, lo que es esencial en la selección de lubricantes adecuados para aplicaciones específicas. Aunque por los recursos limitados que se tenían no se pudo realizar una cantidad de pruebas significativas que nos ayudaran a determinar por método gráfico datos más precisos para determinar la protección de los aceites lubricantes.

Por último, de las pocas pruebas realizadas se presenció que al utilizar aceites lubricantes la resistencia al desgaste de materiales era mayor y el lubricante que tuvo mejor rendimiento al momento de referirse al nivel de protección fue el ISO 100 con aditivo de extrema presión EP.

RECOMENDACIONES.

En este apartado sugerimos a los futuros estudiantes que trabajen sobre la máquina de este proyecto poder aplicar los siguientes cambios y nuevos proyectos con el fin de seguir aportando con la investigación, avance y mejorar el alcance de dicha máquina.

- Diseñar e implementar un brazo con el cual se pueda aplicar una carga constante con el de la alternativa 1.
- Aplicar la norma ASTM 2509 la cual habla sobre las grasas lubricantes ya que de igual forma se tiene presente la ciencia de la tribología.
- Analizar la película con los lubricantes de la empresa Lubrisol de Colombia, elementos restantes dejados con la máquina.
- Analizar la película lubricante con diferentes acabados superficiales y con los mismos materiales.
- Analizar los mismos materiales con los mismos tipos de lubricantes, pero con diferentes tratamientos térmicos.
- Diseñar y adaptar una variante a la norma G-65 la cual habla de desgaste abrasivo.

REFERENCIAS

- Administrador web . (7 de marzo de 2023). *Noria*. Obtenido de <https://noria.mx/uncategorized/la-viscosidad-cinematica-explicada>
- Arias, E. R. (1 de agosto de 2022). *Economipedia* . Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/matriz-de-pugh.html>
- ASM international. (1992). *Friction, lubrication. and wear tecnology* (18 ed.). oak ridge: ASM international handbook committe.
- ASTM 2782-20. (2020). *Standard test method for measurement of extreme-pressure properties od lubricating fluids*. Estados unidos: ASTM.
- Carbone. (15 de febrero de 2023). *Láminas de acrílico*. Obtenido de <https://acortar.link/6rFTsb>
- Catro , J., & Villamizar , J. (2021). *diseño y contruccion de un robot para desinfeccion de superficies con luz ultravioleta* . bucaramanga: Universidad industrial de santander .
- Delgado Vergara, J. (2006). *Sistema de lubricción abordo*. Valdivia Chile: Universidad Austral de chile.
- Díaz del Castillo Rodríguez, F. (2007). *TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN*. CUAUTITLÁN, IZCALLI: UNAM CUAUTITLÁN .
- Digital guide IONOS. (16 de 09 de 2021). *QFD: ¿qué significa Quality Function Deployment?* Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/qfd-quality-function-deployment/>

GAMBOA, L. (24 de Octubre de 2014). *Motores y mas* . Obtenido de <https://motoresymas.com/cont-tecnico/desgaste-adhesivo-en-un-motor/>

Hamrock , B., Jacobson , B., & Schmid, S. (2003). *ELEMENTO DE MAQUINAS*. Mexico D.F: Mc GRAW-HILL .

Herramienta de medicion y control. (18 de octubre de 2011). *De maquina & Herramientas* . Obtenido de Demaquinasyherramientas.com

Instituto asteco. (2018). *Instituto asteco*. Obtenido de <https://institutoasteco.com/asteco/desgaste-por-abrasion/>

Intermec S.A. (15 de enero de 2023). Transmision de potencia, poleas en V. Bogota, Cundinamarca, Colombia : Intermec.

Noria Latín América. (4 de mayo de 2016). *Noria*. Obtenido de <https://noria.mx/lublearn/por-que-ocurre-el-desgaste-corrosivo/>

Ochoa, D., & Valencia , H. (2017). *caracterisiticas del efecto de los aditivos antidesgaste de vasrias marcas del mercado nacional en un aceite SAE 20w-40*. Quito: Universidad politecnica salesina .

SKF. (2020). *Svenska Kullager Fabriken*. Obtenido de <https://skf-la.com/desgaste-y-fatiga-superficial-en-los-rodamientos/>

Vanegas Useche, L. V. (2018). *Diseño de Elemento de Maquinas*. Pereira: UTP.

VAN-STRAHLEN, J. D., P., S. B., & BALLESTEROS, D. Y. (2009). *EVALUACIÓN DEL DESGASTE ADHESIVO DE RECUBRIMIENTOS*. Bucaramanga, Colombia: Revista ION.

Zambonino Hernandez, N. L. (2013). *Analisis de los factores de desgaste adhesivo en diferentes materiales antifriccion sobre el acero AISI 4340 bajo norma ASTM G83 y su efecto en la proepiedades tribologicas*. Ambato-Ecuador: Universidad tecnica de ambato.