



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECANICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO ABRASIVO PIN ON
DISK POR LA NORMA ASTM G99**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniería en Electromecánica.

AUTORES:

Coque Toapanta Alex Javier

Sarango Flores John Davis

TUTOR:

M.Sc. Joao Lázaro Bárzaga Quesada

**LA MANÁ-ECUADOR
AGOSTO-2021**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Coque Toapanta Alex Javier y Sarango Flores John Davis, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO ABRASIVO PIN ON DISK POR LA NORMA ASTM G99, siendo el M.Sc. Joao Lázaro Bárzaga Quesada, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados obtenidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Coque Toapanta Alex Javier
C.I: 0202545273



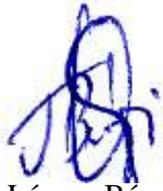
Sarango Flores John Davis
C.I: 075060046-2

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO ABRASIVO PIN ON DISK POR LA NORMA ASTM G99”, de Coque Toapanta Alex Javier y Sarango Flores John Davis de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, Agosto 2021



M.Sc. Joao Lázaro Bárzaga Quesada
C.I: 1757025406
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad Académica de Ciencia de la Ingeniería y Aplicada; por cuanto, los postulantes: Coque Toapanta Alex Javier con cedula de ciudadanía 020254527-3 y Sarango Flores John Davis con cédula de ciudadanía 075060046-2 con el título de Proyecto de Investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO ABRASIVO PIN ON DISK POR LA NORMA ASTM G99”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

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

La Maná, Agosto del 2021

Para constancia firman:



PhD. Yoandrys Morales Tamayo
C.I: 175695879-7
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



firmado electrónicamente por:
**PACO JOVANNI
VASQUEZ
CARRERA**

Ing. Paco Jovanni Vásquez Carrera M.Sc
C.I: 050175876-7
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. William Hidalgo Osorio M.Sc
C.I:050265788-5
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Joao Lázaro Barzaga Quesada, nuestro docente tutor, por habernos guiado, compartiendo conocimiento y por su excelente orientación en la realización de nuestra investigación.

Nuestro reconocimiento y gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la mana, por abrirnos las puertas de la Institución, para podernos formar como profesionales, a los docentes que nos impartieron conocimientos de vital importancia para nuestro desempeño en el campo profesional.

Alex & John

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy. A mis padres Luis Coque y Rosa Toapanta quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mis hermanos Ana, Angélica, Erika y Luis por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Alex

Dedico de manera especial este trabajo a mis padres y mis hermanos por todo su sacrificio y esfuerzo, ya que ellos son el principal motivo de inspiración para el cumplimiento de mis logros.

John

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO ABRASIVO PIN ON DISK POR LA NORMA ASTM G99A.”

Autores:

Coque Toapanta Alex Javier

Sarango Flores John Davis

RESUMEN

Para el presente proyecto, se plantea diseñar e implementar una máquina que permitirá exponer los estudios que se ha realizados en los factores de un sistema mecánico Pin on Disk aplicando la norma ASTM G99, relacionándolo en el campo de la tribología. Esto para que sirva como punto de partida para evaluar la influencia del desgaste, coeficiente de fricción y el volumen de lubricación ocasionados por los movimientos en las superficies sólidas cuando se encuentra en contacto continuo, aportando así los conocimientos prácticos y/o técnicos en esta área de la Mecánica.

Para el cumplimiento del propósito, se tomó en cuenta las características de los diversos componentes que serán indispensables para la elaboración e implementación del diseño, por lo que se debe considerar algunos parámetros tales como: dimensionamiento del disco y espiga, procesos del sistema de diseño mecánico, selección de materiales, control de velocidad y sistema eléctrico.

Según en la norma ASTM G99 – 95a, la cual esta adjunta al final de este escrito como anexo, menciona que para los ensayos de desgaste en máquinas de tipo Pin-on-Disk, se encuentran las condiciones en las cuales se han realizado los ensayos en laboratorios y resultados obtenidos.

Al realizar la implementación de esta máquina de ensayo abrasivo tipo Pin-on-Disk, se logró obtener un diseño satisfactorio, optimizando recursos, tanto en el aprovechamiento de materiales y en lo referente a lo económicos.

Así mismo, al observar el rendimiento del producto obtenido se pudo apreciar que se encuentra en concordancia con los objetivos planteados, al demostrar coeficientes de fricción, y demás funciones en la simulación de las actividades correspondientes al equipo.

Palabras claves: coeficiente de fricción, desgaste, norma ASTM G99a, Pin on Disk, tribología.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: IMPLEMENTATION OF A PIN ON DISK ABRASIVE TESTING MACHINE BY ASTM G99A STANDARD. "

AUTHORS:

Coque Toapanta Alex Javier
Sarango Flores John Davis

ABSTRACT

For this project, it is proposed to design and implement a machine that will enable exposing the studies that have been carried out on the factors of a Pin on Disk mechanical system, applying the ASTM G99a standard, linking it in tribology's field. Everything to act as a starting point to evaluate the influence of wearing, friction coefficient and lubrication volume caused by movements on solid surfaces when it is in continuous contact, accordingly providing practical and/or technical knowledge in this area of Mechanics.

To fulfil this objective, the characteristics of the various components that will be essential for the elaboration and implementation of the design were considered. Therefore some parameters should be considered such as disk and spigot sizing, mechanical design system processes, selection of materials, speed control and electrical system.

According to the ASTM G99 – 95A standard, (attached at the end of this document as an annex) for wear tests on pin – on – disk type machines, the conditions in which the test have been done are found in laboratories and obtained results.

By implementing this pin-on-disk type abrasive testing machine, it has been possible to obtain a satisfactory design, optimizing resources, both in the use of materials and in terms of economics.

Similarly, when observing the performance of the product obtained, it could be seen that it is in accordance with the objectives set, by demonstrating coefficients of friction, and other functions in the simulation of the activities corresponding to the equipment.

Keywords: coefficient of friction, wear, ASTM G99a, Pin on Disk, tribology



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma Inglés presentado por el estudiante Egresado de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Coque Toapanta Alex Javier y Sarango Flores John Davis, cuyo título versa “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO ABRASIVO PIN ON DISK POR LA NORMA ASTM G99”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma..

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

La Maná, Agosto del 2021

Atentamente,



Mg. Sebastián Fernando Ramón Amores
C.I: 050301668-5
COORDINADOR CENTRO DE IDIOMAS

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN.....	VII
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES.....	VIII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICES DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
1. INFORMACIÓN GENERAL	18
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	19
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	20
4.1. Beneficiarios Indirectos.....	20
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
5.1. Planteamiento del Problema	20
5.2. Formulación del Problema.....	21
5.3. Delimitación del Objeto de Investigación	21
6. OBJETIVOS.....	21
6.1. Objetivo General.....	21
6.2. Objetivos Específicos	21
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	22
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	23
8.1. <i>Diseño Mecánico</i>	23
8.1.1. Diseño de un sistema mecánico Pin on Disk.....	23
8.2. <i>Sistemas Mecánicos</i>	23
8.2.1. Tribómetros	23
8.2.2. Parámetros operacionales de un tribosistema.....	24

8.3. Sistema de Proceso Pin on Disk	24
8.4. Máquina de Perno contra Disco ASTM G-99	25
8.5. Tribología	25
8.5.1. La fricción.....	25
8.5.2. El desgaste	25
8.5.3. Lubricación.....	27
8.5.4. Tipos de lubricación	27
8.6. Importancia de la Tribología	27
8.7. Normas para medir fricción y desgaste	28
8.7.1. Norma ASTM G115-10.....	28
8.7.2. Norma ASTM G181-64.....	28
8.7.3. Norma ASTM G99	28
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS	28
10. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	29
10.1. Metodología.....	29
10.1.1. Metodología Documental	29
10.1.2. Metodología Experimental	29
10.1.3. Metodología Explicativa.....	29
10.2. Métodos de Investigación.....	29
10.2.1. Método Analítico – Sintético.....	29
10.3. Tipos de Investigación.....	30
10.3.1. Investigación de Campo	30
10.3.2. Parámetros de prueba	30
10.3.3. Datos recomendados según la norma ASTMG99 – 95a	30
10.3.4. Dimensiones del pin	30

10.3.5. Dimensiones del Porta Disco	32
10.3.6. Diseño del eje	33
10.3.7. Cálculo de la fuerza aplicada	34
10.3.8. Cálculo del torque	34
10.3.9. Cálculo de la fuerza tangencial ejercida por la polea trapezoidal tipo V	34
10.3.10. Cálculo de la fuerza de flexión ejercida por la correa trapezoidal tipo V	35
10.3.11. Diseño estático para el eje	36
10.3.12. Diseño a fatiga para el eje	38
10.3.13. Diseño de chaveta.	41
10.3.15. Diseño a aplastamiento de la chaveta:	43
10.3.17. ANALISIS DEL EJE A COMPRESIÓN	45
10.3.19. Ecuación de Euler	46
10.3.20. Coeficiente de seguridad	46
10.4. Técnicas de Investigación.....	47
10.4.1. Análisis Documental	47
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	47
11.1 Diseño de la máquina	47
12. IMPACTO SOCIAL, TÉCNICO Y ECONÓMICO	51
12.1. Impacto Social	51
12.2. Impacto Técnico	51
12.3. Impacto Económico.....	51
13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	51
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
14.1. Conclusiones.....	54
14.2. Recomendaciones	54

15. Bibliografía.....	55
Anexo 1.Datos del estudiante Alex Javier Coque Toapanta	57
Anexo 2.Datos del estudiante John Davis Sarango Flores	58
Anexo 3: Datos del tutor del proyecto.....	59
TÍTULOS	59
ANEXO A	60
ANEXO B	60
PROPIEDADES DEL ACERO.....	60
ANEXO C	61
PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS MATERIALES	61
ANEXO D 61	
LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA EN VIGA GIRATORIA	61
ANEXO E.....	62
FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA.....	62
ANEXO F.....	62
ANEXO G	62
ANEXO H	66
Planos de la maquina	66
Anexo 4: Certificación del antiplagio del URKUND.....	69

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1: Explicación acerca de las actividades de los Objetivos específicos anteriormente planteados.....	2
Tabla 2: Valores obtenidos al realizar un ensayo 1 de desgaste abrasivo sobre una superficie “suave”.....	48
Tabla 3: Valores obtenidos al realizar un ensayo 2 de desgaste abrasivo sobre una superficie “dura”.....	49
Tabla 4: Valores obtenidos al realizar un ensayo 3 de desgaste abrasivo sobre una superficie “suave”.....	49
Tabla 5: Valores obtenidos al realizar un ensayo de desgaste abrasivo sobre una superficie “dura”.....	50
Tabla 6: Valores obtenidos al realizar los ensayos.....	50
Tabla 4: Presupuesto para la elaboración del proyecto.....	51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Pin	31
Gráfico 2: Fuerzas sobre el Pin	31
Gráfico 3: Porta Disco	32
Ilustración 4: Propiedades del Porta Disco.....	33
Gráfico 5: Propiedades del Porta Disco.....	33
Gráfico 6: Diagrama de fuerza cortante y momentos.....	36
Gráfico 7: Radio de la Muesca	39
Gráfico 8: Chaveta.....	41
Gráfico 9: Geometría de la Chaveta	43
Gráfico 10: Corte en la chaveta	44
Gráfico 11: Eje.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos del estudiante Alex Javier Coque Toapanta	57
Anexo 2. Datos del estudiante John Davis Sarango Flores	58
Anexo 3 Datos del tutor del proyecto	59
Anexo 4. Certificado de antiplagio del urkund.....	69

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto

“Implementación de una máquina de ensayo abrasivo Pin on Disk por la norma ASTM G99.

Tiempo de Ejecución

Fecha de inicio: Abril 2021

Fecha finalización: Agosto 2021

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad académica que auspician: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: La transferencia tecnológica sustentable como es fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social.

Equipo de Trabajo:

Tutor del Proyecto:

- M.Sc. Joao Lázaro Bárzaga Quesada.

Postulantes:

- Coque Toapanta Alex Javier
- Sarango Flores John Davis

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Procesos Industriales

Sub líneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La abrasión es la forma más común que existe de desgaste ya que se encuentra en todos los sistemas, las causas son muchas y se debe al contacto que tienen los materiales con diferentes elementos. Surge por ello la necesidad de realizar ensayo y estudios sobre estos materiales para poder determinar la dureza de los mismos y así poder proveer de algún tipo de protección por ejemplo colocando un revestimiento duro sobre la superficie de estos elementos, es por ello que la utilización de máquinas de ensayo abrasivo son un requerimiento para esta necesidad.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el transcurso de la carrera se vio la necesidad de poder aplicar el conocimiento adquirido sobre aplicaciones prácticas, es por ello que se propone el diseño e implementación del presente proyecto con lo cual se logrará mejorar el sistema de enseñanza mediante el empleo de ejemplos prácticos para realizar evaluaciones de las características de desgaste abrasivo que sufren los materiales.

No obstante, la finalidad de este proyecto es presentar a la sociedad la elaboración de este equipo, con todos sus implementos, herramientas y normas que demande, demostrando lo esencial de este mecanismo, tomando en cuenta su aplicabilidad en el perno sobre un disco, que técnicamente es conocido como la máquina de ensayo abrasivo Pin-on-Disk, aplicando la norma ASTM G99a, ofreciendo un diseño de quipo flexible, con factor de desgaste y lubricación, para probar metales, verificar el tiempo de duración de su desgaste, como las modificaciones en la presión, pesas, velocidades, la variación de movimientos, entre otras variables además optimizando recursos en materiales como económicos.

Cabe señalar, que al implementar este tipo de equipo se está solventando una necesidad localizada en la institución universitaria, ya que por el momento y las indagaciones que se han realizado, no cuenta con esta herramienta que es importante para la carrera de ingeniería electromecánica, dando la facilidad que los estudiantes o docentes tengan a su alcance un producto, con las facultades necesarias para un buen entendimiento y prácticas en el transcurso de la formación y enseñanza profesional.

Por eso la investigación presente, intenta llegar al fondo con los parámetros del sistema, como ya se mencionó con antelación, conocer los diversos desgaste que se produce en estos tipos de herramientas mecánicas, que son utilizadas principalmente en las industrias, cabe indicar que la motivación para ejecutar este tipo de investigación es la capacidad que se obtiene al implementarlo, conocer con firmeza, certeza los procesos, aplicaciones, además como estudiante de la carrera plasmar y demostrar aquellos conocimientos competentes obtenidos en la misma.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios directos y de mayor relevancia es la “Universidad Técnica de Cotopaxi”, extensión La Maná, ya que la institución no cuenta con una máquina de este tipo de estudios para el análisis del desgaste abrasivo. Adicionalmente también se beneficia los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica y las personas involucradas en el proceso de enseñanza o estudio del desgaste de materiales, también permitirá a los estudiantes y docentes capacitarse sobre el uso de los materiales adecuados para el trabajo específico que ejercerá un perno, tornillo, tuerca, piñones, etc.

4.1. Beneficiarios Indirectos

Los futuros estudiantes que opten por la carrera de Ingeniería Electromecánica será los beneficiarios indirectos ya que el presente proyecto servirá para que ellos puedan realizar actividades prácticas durante su estudio acerca del desgaste de los materiales en mecánica.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Planteamiento del Problema

En el entorno actual se ve necesario el poder realizar pruebas para poder determinar la dureza de los materiales, con lo cual se pueda determinar que el desgaste de éstos no afecte el funcionamiento de los sistemas de los cuales forman parte, por lo que se implementará una máquina que permita realizar estos ensayos abrasivos sobre los diferentes materiales.

5.2. Formulación del Problema

La Universidad técnica de Cotopaxi extensión La Maná, se ha dedicado en mejorar su calidad de estudio para así ser una institución prestigiosa contando con excelentes docentes los cuales transmiten muy bien el conocimiento a sus estudiantes ya que día a día los docentes se preparan conforme la tecnología va avanzando Sin embargo, en los últimos años ha surgido un inconveniente de parte de los estudiantes de Ingeniería Electromecánica ya que no todo lo visto en teoría se relaciona con la realidad, esto se solucionaría mediante la realización de prácticas en los diferentes campos de estudio; pero no se ha dado la oportunidad de poder hacerlo, esto debido a que no se cuenta con los dispositivos necesarios y haciendo énfasis en la carrera de electromecánica en el ámbito de mecánica se ve la necesidad de incorporar una máquina para poder desarrollar análisis sobre desgaste abrasivo.

5.3. Delimitación del Objeto de Investigación

Con lo expuesto anteriormente es necesario que los estudiantes tengan el derecho a realizar más prácticas o ensayos en ciertas máquinas abrasivas para adquirir mayor conocimiento y experiencia de los materiales con los cuales trabajara en esta área.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Implementar una máquina de ensayo abrasivo Pin on Disk de acuerdo a la Norma ASTM G99a para realizar evaluaciones acerca de las características de desgaste abrasivo que sufren los materiales.

6.2. Objetivos Específicos

- Analizar los acervos bibliográficos relacionados con los diferentes dispositivos que hacen referencia acerca del desgaste abrasivo basados en la Norma G99a.
- Hacer el diseño y análisis de los diferentes elementos que constituirán en la elaboración de la máquina Pin on Disk de acuerdo a la Norma G99a.

- Implementar la máquina de desgaste abrasivo que cumpla con las condiciones anteriormente mencionadas.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1: Explicación acerca de las actividades de los Objetivos específicos anteriormente planteados

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de verificación
Analizar los acervos bibliográficos relacionados con los diferentes dispositivos que hacen referencia acerca del desgaste abrasivo basados en la Norma G99a.	Se identificaron las diferentes fuentes bibliográficas tales como: bases de datos, revistas científicas, tesis.	Se encontró las normas G99, con las indicaciones para diseño e implementación de la máquina	Normas ASTM G99
	Se analizó las características de la Norma ASTM G99.	Se obtuvo la información acerca de la máquina pin on disk.	Información de la máquina
Hacer el diseño y análisis de los diferentes elementos que constituirán en la elaboración de la máquina Pin on Disk de acuerdo a la Norma G99a.	Se analizó el funcionamiento de los componentes para realizar el diseño de la máquina Pin on Disk	Informe de los materiales seleccionados para cada elemento del diseño.	Planos de la máquina.
	Se estableció las características mecánicas y electrónicas necesarias para el funcionamiento de la máquina	Se obtuvo las características mecánicas y electrónicas de la máquina	Planos Mecánicos y Eléctricos de la máquina.
Implementar la máquina de desgaste abrasivo que cumpla con las condiciones anteriormente mencionadas.	Se realizó pruebas de funcionamiento, para la validación de la máquina.	Se hizo pruebas de los elementos para el correcto funcionamiento de la máquina.	Pruebas de los elementos de la máquina.
	Se implementó el diseño	Construcción de la máquina según la Norma ASTM G99A	Prototipo de la máquina

Fuente: Autores

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. *Diseño Mecánico*

Un diseño mecánico es conocido como un proceso que se basa en la formación, determinación de materiales, el cual aplica tipos de tecnologías que lleva a la fabricación de una maquina dando a los usuarios la seguridad de un buen funcionamiento, de acuerdo a los autores también se lo considera como necesario debido a que provee soluciones a problemas que no han sido resueltos, cada proceso que se realiza en el diseño mecánico, demanda de destrezas, técnicas, competitividad, y carácter profesional, ya que está dirigido a satisfacer las necesidades de los consumidores. (Ramírez , y otros, 2017)

8.1.1. Diseño de un sistema mecánico Pin on Disk

El diseño de un sistema mecánico Pin on Disk, es un poco complejo debido a las diferentes características que la distingue, una de ellas es proveer un sistema que de confiabilidad en las transmisiones horizontales y verticales, que el usuario pueda realizar un desplazamiento a cierta distancia, como ya se había mencionado con anticipación su alcance debe estar basado en la norma ASTM G-99, demostrando su capacidad y/o control de carga, por otra parte el dominio de tiempo y velocidad es una las características que sobresalen de este diseño, es decir optimizando la precisión en un perno estacionario, carga específica, disco giratorio, tiempo, tasa de desgaste, y acción del rozamiento (Martyntenko, Abate, Pazos, & Marinez , 2015).

8.2. *Sistemas Mecánicos*

Los sistemas mecánicos son elementos o entidades que producen movimiento, debido a la fuerza que emplea, generalmente se asocia con sistemas eléctricos porque usa motores eléctricos para generar movimiento, actualmente la mayoría de los sistemas mecánicos funcionan con motores de alta velocidad, que contiene combustión interna, por otra parte, la intensidad y la dirección del ejercicio son circulares o lineales, se utiliza un mecanismo (Chicaiza , 2016).

8.2.1. Tribómetros

El tribómetro es aquel mecanismo que permite expresar con decisión la resistencia al desgaste que tiene un material, cuando tiene contacto consigo mismo o existe cualquier movimiento relativo con otro material, en cierto medio (Florez, Higuera, & Florez, 2007).

Para las posibles construcciones de estos mecanismos con relación a los tribómetros, existen sistemas de desgaste a estudiar, entre ellos se encuentran:

- Máquina de Cilindros Cruzados
- Máquina de Perno sobre Disco
- Máquina de Líquidos Impactantes
- Máquina de Perno y Película Abrasiva
- entre otros.

Por otra parte, otros autores mencionan que es proceso que estudio el contacto y el movimiento relativo conocido como tribología, entre dos superficies es una cuestión de análisis y discusión, especialmente cuando se utiliza una capa resistente al desgaste en la superficie del material. Debido al avance y aplicación de la tecnología para depositar materiales resistentes al desgaste, es posible diseñar sistemas de recubrimiento que busquen mejoras tribológicas con relación al desgaste y la lubricación, etc. (Pérez , Muñoz, Souza, & Negrín, 2014)

8.2.2. Parámetros operacionales de un tribosistema

Los parámetros operacionales de este tipo de sistema están destinados a obtener datos de las condiciones en el funcionamiento del tribosistema, es decir, los datos experimentales con relación a la fricción y desgaste, por lo que entre ellos están: el tipo de movimiento, los más conocidos como el deslizamiento, giro, rodamiento, etc.; por otra parte, está la carga que es la fuerza total, la velocidad, la temperatura, el tiempo, y la duración. (Chicaiza , 2016)

8.3. Sistema de Proceso Pin on Disk

De acuerdo a los autores, existen dos tipos de Procesos, entre ellos están:

- Pin se lo denomina como el sistema de proceso I, el cual no se aplican principios de conservación porque se considera un receptor perfecto.
- Disk se lo denomina como Sistema de procesamiento II: se realiza el balance de energía de los parámetros que existen en la distribución. Según la primera ley de la termodinámica, el estado de esta ecuación se rige por los principios físicos de conservación de energía. El propósito de desarrollar este modelo de transferencia de calor es identificar y cuantificar la

magnitud y dinámica de la energía generada por los contactos deslizantes. (Rudas, Gómez, & Toro, 2013)

8.4. Máquina de Perno contra Disco ASTM G-99

Tal y como lo menciona Chicaiza, 2016:

“Esta máquina nos ayuda a determinar pruebas de desgaste, mediante un perno que soporta una carga P proporcionada por un brazo o palanca de tipo mecánico, 15 hidráulico o neumático y se coloca perpendicularmente a un disco giratorio” (Chicaiza , 2016)

En este tipo de maquina también se aplica la norma ASTM G-99, con los parámetros específicos, entre ellos se encuentran, la carga normal, la velocidad de deslizamiento, la temperatura y el ambiente atmosférico.

8.5. Tribología

La tribología es considerada como aquella ciencia y tecnología, que de acuerdo a su investigación se basa al contacto en las superficies en su movimiento relativo, por lo que también están incluidos los fenómenos derivados de él y entonces, además la fricción, el desgaste y la lubricación forman parte fundamental de esta ciencia. (Gutiérrez, Olaya , & Torres, 2015)

8.5.1. La fricción

De acuerdo a los autores es un proceso que es resistente al movimiento, este proviene de un cuerpo o una pieza que es más grande que la otra, aplica principios básicos, el cual trata sobre aquella resistencia a la fricción es proporcional a la carga, otra es aquella que no tiene nada que ver con el deslizamiento de las superficies, por otra la consideran como la fuerza en la fricción estática y fricción dinámica (Ariel , 2015)

8.5.2. El desgaste

El desgaste de los materiales en la superficie de trabajo puede tener un profundo impacto económico en el tiempo de inactividad de la máquina y las pérdidas de producción. Para predecir la tasa de desgaste de uno o dos metales que participan en pares tribológicos, el desgaste por deslizamiento se ha convertido en un problema muy investigado a partir de

diferentes métodos. En este trabajo también tiene el propósito de predecir la tasa de desgaste. (Rudas, Gómez, & Toro, 2013)

- Desgaste adhesivo

Este tipo de desgaste se presenta cuando existen dos superficies en contacto soportando tensiones tan fuertes, que se produce un proceso de soldadura en frío, lo que da paso al desprendimiento de material bajo cualquier desplazamiento de ellas.

- Desgaste abrasivo

En este caso las propiedades de los materiales son diferentes y se da cuando una de las superficies se desliza en contra de otro material con protuberancias de mayor resistencia lo que produce la remoción del material, un ejemplo característico de este caso es el pulido, que por medio de discos corrugados se disminuyen las dimensiones de una pieza.

- Desgaste por fatiga superficial

Es resultado de esfuerzos cíclicos entre las asperezas de dos superficies en contacto, lo que genera una constante pérdida de material.

- Desgaste por fricción

Es el tipo de desgaste más común, producido por el desplazamiento de dos superficies en continuo contacto, lo cual debido a la fricción presente entre los mismos genera pérdidas de material.

- Desgaste erosivo

Este fenómeno actualmente es un foco de estudio, ya que está afectando a industrias de gran poder económico como los son la industria minera y petrolera, lo cual genera pérdidas de gran magnitud debido a la falla acelerada de algunos componentes. Este tipo de desgaste se presenta en la superficie de los cuerpos debido a repetidos impactos de partículas sólidas que viajan en un líquido a altas velocidades.

- Desgaste por cavitación

Es un fenómeno que se presenta generalmente en los equipos rotativos y que disminuye en gran magnitud el rendimiento de un equipo y le causa daños irreparables y está dada

por el impacto de burbujas contra la superficie de los elementos mecánicos.

- Desgaste corrosivo

Se da bajo la generación de películas frágiles de óxido entre las dos superficies lo que me da paso a procesos de deslizamientos y por consiguiente alterando los materiales involucrados.

Las principales variables relacionadas para la estimación del material desprendido son el trabajo aplicado y velocidad relativa de desplazamiento en la prueba. En conclusión, este fenómeno provoca pérdida o disminución de la eficiencia de energía mecánica producía.

8.5.3. Lubricación

La lubricación es considerada como un método tiene como propósito evitar dañar la superficie, o al menos evite que esto suceda en el menor daño posible. Además, está diseñado para prevenir el calentamiento del material y que se reduzca la fricción entre los dos, el lubricante es algo que puede aminorar, pero no es idóneo para evitarlo por completo. (Sánchez, 2018)

8.5.4. Tipos de lubricación

8.5.4.1. Lubricación mixta: *es aquella que permite un contacto metal con metal en algunas partes, ya que no existe una capa uniforme de lubricante*

8.5.4.2. Lubricación Hidrostática: *Donde está la zona de soporte se empieza a introducir a presión el aceite, el cual se basa en obtener una capa de lubricante o agua lo suficientemente gruesa.*

8.5.4.3. Lubricación Hidrodinámica: *se puede conocer como una lubricación perfecta, debido a que la capa de lubricante separa las superficies, el cual da como resultado cero contactos entre sí (Flores, 2016).*

8.6. Importancia de la Tribología

Hoy en día, existen varias materias o especialidades, tales como: ingeniería mecánica, química, física, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, transferencia de calor, ciencia materiales y lubricación, etc.; incluso algunos, como economía y política, que le ha dado un papel muy importante la tribología. (Peña, 2002)

Cabe señalar que con el desarrollo que se ha tenido en los últimos tiempos, también se lo vincula con aspectos científicos y tecnológicos, cada producto inventado o desarrollado por el ser humano trae consigo un fenómeno conocido como el desgaste, dependiendo del funcionamiento, a esto se le añade que el uso de lubricantes es algo que puede aminorar, pero no es idóneo para evitarlo por completo (Chicaiza , 2016).

8.7. Normas para medir fricción y desgaste

Existen varias normas para medir fricción y desgaste entre ellas se encuentran:

8.7.1. Norma ASTM G115-10

Como ya me menciono es una norma que está diseñada para la obtención de coeficientes de fricción, tiene como propósito, el intercambio de resultados para la elaboración de un buen majeo y desarrollo en bases electrónicas.

8.7.2. Norma ASTM G181-64

Al igual que la primera norma, provee procedimientos estándares, y tiene como propósito, facilitar ideas específicas sobre materiales, y tipos de recubrimientos, directamente en la evaluación de un anillo.

8.7.3. Norma ASTM G99

Esta norma es parte fundamental para el presente trabajo de investigación debido a que suministra el desgaste y los coeficientes de fricción, con lo que respecta a los materiales sólidos en desplazamiento, hay una característica especial ya que con la aportación del tribómetro le otorga un nombre como pin on disk, además también cuenta con procesos muy específicos como la velocidad, carga, distancia, temperatura, entre otras (Chicaiza , 2016)

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS

Mediante la implementación de una máquina de desgaste abrasivo para la medición de fricción, desgaste y lubricación en la Universidad Técnica de Cotopaxi “Extensión La Maná” ¿Se reducirá el tiempo de comprensión sobre la importancia del desgaste de materiales en los estudiantes? ¿Se podrá analizar el desgaste de diferentes materiales mecánicos por medio de ensayos abrasivos?

10. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

10.1. Metodología

El presente tema de investigación primará el enfoque cuantitativo, expone los estudios que se ha realizados en los factores de un sistema mecánico “Pin on Disk” aplicando la norma ASTM G99A, relacionándolo en el campo de la tribología, es decir evaluando la influencia en el desgaste, coeficiente de fricción y el volumen de lubricación ocasionados por los movimientos en las superficies solidas mientras haya contacto, aportando conocimientos prácticos y/o técnicos en esta área.

10.1.1. Metodología Documental

Las modalidades de investigación que se ajustan al presente proyecto de estudio son: Investigación bibliográfica, porque es necesario recurrir a información documental, libros, revistas científicas, catálogos, tesis, escritos técnicos, páginas de internet para de esta manera tener referencias previas, que ayude a realizar este presente estudio.

10.1.2. Metodología Experimental

Investigación experimental, ya que se variará la carga aplicada en el sistema y distancia de ensayo para determinar el desgaste entre diferentes partes de materiales.

10.1.3. Metodología Explicativa

Explicativa, porque permitirá explicar el fenómeno de desgaste, considerado como el más frecuente y el más importante.

10.2. Métodos de Investigación

10.2.1. Método Analítico – Sintético

Ya que se realizará el análisis de cada componente que formarán parte para el diseño y construcción del presente proyecto, luego ver el comportamiento que tienen todos los elementos ya implementados en el prototipo que servirá para hacer el estudio de desgaste de materiales.

10.3. Tipos de Investigación

10.3.1. Investigación de Campo

Puesto que se trata de conocer minuciosamente el tribosistema más adecuado que permita determinar el desgaste, el coeficiente de fricción y la tasa de desgaste de manera confiable, eficiente y exacta que se producen en pares tribológicos, además se hace el análisis de los elementos en función de varios parámetros como, el tamaño, los materiales utilizados, tipo de configuración, la presencia o no de lubricación entre otros aspectos importantes.

10.3.2. Parámetros de prueba

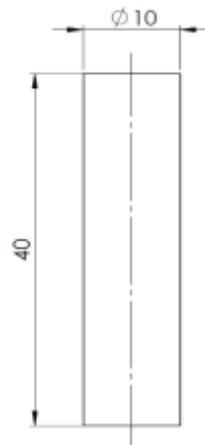
- Carga: Valores de la fuerza en newtons al desgaste en contacto.
- Velocidad: La velocidad de deslizamiento relativa entre superficies de contacto en metros por segundo.
- Distancia: La distancia de deslizamiento acumulada en metros.
- Temperatura: La temperatura de uno o ambos lugares cercanos al contacto de uso.
- Atmósfera: La atmósfera (aire de laboratorio, relativa humedad, argón, lubricante, etc.) que rodean el contacto de uso.

10.3.3. Datos recomendados según la norma ASTM G99 – 95a

- Diámetro pin: 2-10 mm
- Diámetro disco: 30-100 mm
- Espesor Disco: 2-10 mm
- Velocidad de rotación del motor $\omega = 0,3-3$ rad/seg. (60 – 600rpm)

10.3.4. Dimensiones del pin

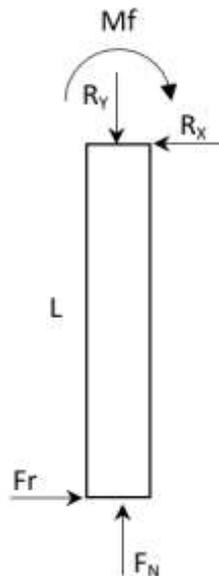
Las dimensiones de las probetas pin se encuentra estipulado en la Norma ASTM G99 – 95a, es de forma cilíndrica o esférica y tiene un diámetro entre 2 a 10 mm (en el extremo), para que pueda ser medida la huella de desgaste sin dificultad se escoge un pin con diámetro extremo de 10 mm.

Gráfico 1: Pin

Fuente: Shigley octava edición.

El pin se va a comportar de manera similar a una viga empotrada de sección circular, teniendo su apoyo como punto crítico de análisis.

Para el cálculo de las cargas que actúan sobre pin se considera un coeficiente de fricción igual a 1 y una carga máxima de $F_N = 40$ N.

Gráfico 2: Fuerzas sobre el Pin

Fuente: Shigley octava edición.

Según el diagrama de cuerpo libre se tiene:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -F_y + F_N &= 0\end{aligned}$$

$$F_y = F_N = 40N$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_r - R_x = 0$$

$$F_r = R_x = \mu F_N$$

$$F_r = R_x = 40N$$

Cálculo del momento flector, la longitud del pin que sale desde el punto de apoyo es de 20 mm:

$$\sum M_z = 0$$

$$M_f = F_r \cdot L$$

$$M_f = 0,8 N \cdot m$$

10.3.5. Dimensiones del Porta Disco

Las dimensiones de los discos según la Norma ASTM G99 – 95a, tienen un diámetro de 30 a 100 mm y un espesor de 2 a 10 mm. Para la facilidad en la medición de la huella de desgaste para el diseño del disco se escoge un diámetro de 115 mm y 10 mm de espesor, según los discos comerciales de desbaste.



Fuente: Shigley octava edición.

Propiedades físicas de la porta disco obtenidas mediante software.

Ilustración 4: Propiedades del Porta Disco

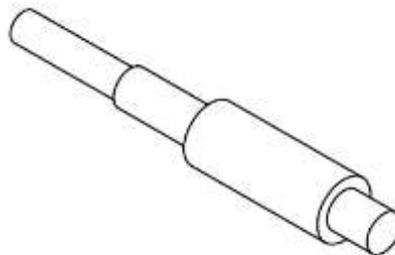
Propiedades de masa de Porta disco		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico		
Masa = 911.42 gramos		
Volumen = 115369.04 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 29234.17 milímetros cuadrados		
Centro de masa: (milímetros)		
X = 6.99		
Y = -0.01		
Z = -0.02		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímet		
Medido desde el centro de masa.		
lx = (0.00, 1.00, 0.00)	Px = 732084.69	
ly = (0.00, 0.00, 1.00)	Py = 732132.43	
lz = (1.00, 0.00, 0.00)	Pz = 1371314.08	
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r		
Lxx = 1371313.91	Lxy = -211.25	Lxz = -251.34
Lyx = -211.25	Lyy = 732084.76	Lyz = -0.18
Lzx = -251.34	Lzy = -0.18	Lzz = 732132.52
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 1371314.27	lxy = -293.30	lxz = -348.96
lyx = -293.30	lyy = 776663.03	lyz = 0.00
lzx = -348.96	lzy = 0.00	lzz = 776710.73

Fuente: Shigley octava edición.

10.3.6. Diseño del eje

El eje transmite el torque producido por la rotación del motor al porta disco de desbaste, para determinar el diámetro y el coeficiente de seguridad que debe tener el eje, hay que tomar en cuenta los esfuerzos de flexión y torsión.

Gráfico 5: Propiedades del Porta Disco



Fuente: Shigley octava edición.

10.3.7. Cálculo de la fuerza aplicada

La fuerza total aplicada en el extremo del eje debido al peso del porta disco y la carga máxima de ensayo

$$F = P_{disco} + F_N$$

Dónde:

P_{disco} = Peso del porta disco

F_N = Carga para el ensayo

$$P_{disco} = m \cdot g$$

$$P_{disco} = 0,91142 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P_{disco} = 8,93N$$

$$F = 8,93N + 40N$$

$$F = 48,93N$$

10.3.8. Cálculo del torque

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Dónde:

T= Torque Nm.

P= Potencia del motor 373 W.

ω = Velocidad máxima angular del disco de desbaste = 3 rad/seg.

$$T = \frac{373 \text{ W}}{3 \text{ rad/s}}$$

$$T = 124,33 \text{ Nm.}$$

10.3.9. Cálculo de la fuerza tangencial ejercida por la polea trapezoidal tipo V

$$F_t = \frac{T}{D/2}$$

Donde:

F_t = Fuerza tangencial

T= Torque

D = Diámetro de la polea = 3 pulg = 0.0762 m

$$F_t = \frac{124,33 \text{ Nm}}{(0.0762 \text{ m})/2}$$

$$F_t = 3263,25 \text{ N}$$

10.3.10. Cálculo de la fuerza de flexión ejercida por la correa trapezoidal tipo V

$$F_f = c \cdot F_t$$

Donde:

F_f = Fuerza de flexión

F_t = Fuerza tangencial

c = constante para correa trapezoidal tipo V, $c=1,5$

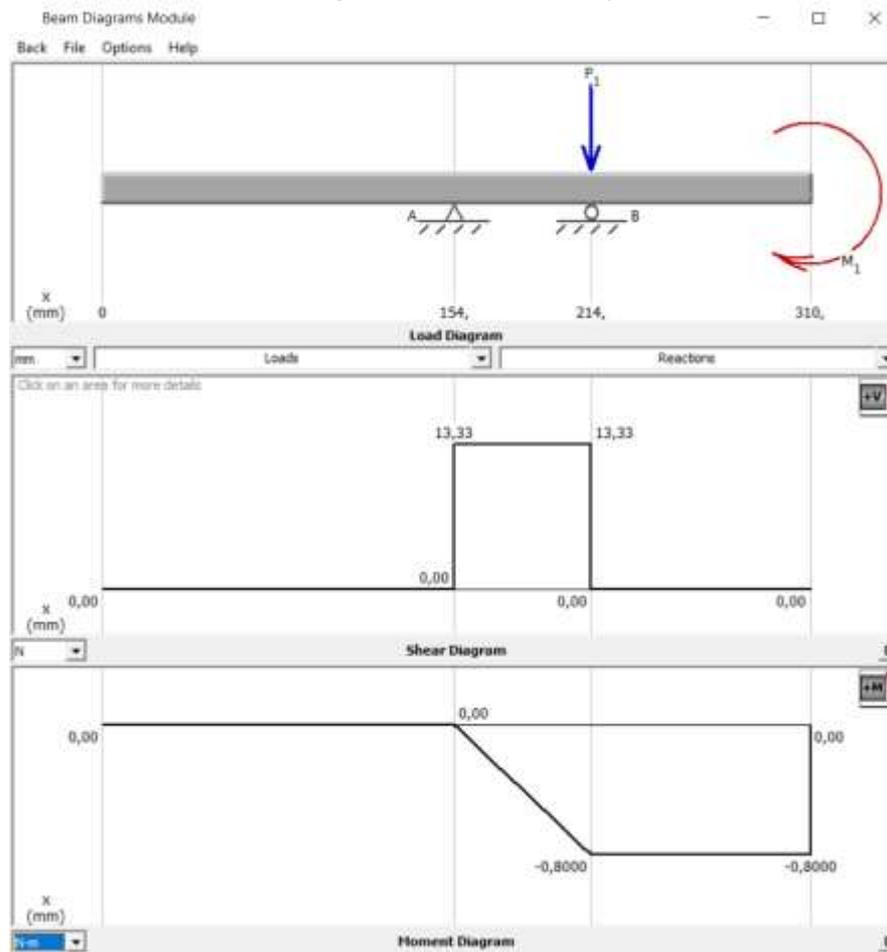
$$F_f = 1,5 \cdot 3263,25 \text{ N}$$

$$F_f = 4894,88 \text{ N}$$

Con ayuda del software se encuentra el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momentos que tiene el eje.

$$P_1 = F_f = 4894,88 \text{ N}$$

$$M_f = 0,8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Gráfico 6: Diagrama de fuerza cortante y momentos

Fuente: Autores

Del diagrama se obtiene lo siguiente:

- Fuerza cortante $R_1 = 13,33$ N
- Momento flexionante alternante $M = 18,26$ Nm

10.3.11. Diseño estático para el eje

El eje se encuentra sometido a esfuerzos por flexión y torsión, para estimar el diámetro que tendrá el eje se aplica el criterio ED- Goodman,

Para calcular el diámetro del eje se utiliza la siguiente ecuación:

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

Dónde:

d = diametro del eje en m.

η = Factor de seguridad = 2. ($\eta > 1$ de diseño)

K_f = factor de concentración de esfuerzos por fatiga de la flexión = 1,7 (ANEXO A).

K_{fs} = factor de concentración de esfuerzos por fatiga de la torsión = 1,5 (ANEXO A).

M_a = Momento flexionante alternante = 0,8 Nm.

τ_a = par de torsión alternante = 0.

M_m = Momento flexionante medio = 0.

τ_m = par de torsión alternante medio = 124,33 Nm.

Sut = resistencia a la tensión = 440 MPa Acero 1018 CD (ANEXO B).

Se = límite de resistencia a la fatiga.

$$Se = Se'K$$

Dónde:

K = factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga = 0,4 (asumido).

Se' = límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria.

$Se' = 0,5 Sut$ (ANEXO D).

$$Se' = 0,5 (440MPa)$$

$$Se' = 220 MPa$$

$$Se = 220 MPa(0,4)$$

$$Se = 88 MPa$$

Reemplazando todo en la ecuación:

$$d = \left\{ \frac{16}{\pi} \eta \left[\frac{1}{Se} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} \tau_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{Sut} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} \tau_m)^2 \right]^{1/2} \right] \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{16}{\pi} 2 \left[\frac{1}{88 MPa} \left[4(1,7 \times 0,8 Nm)^2 + 3(1,5 \times 0)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{440 MPa} \left[4(1,7 \times 0)^2 + 3(1,5 \times 124,33 Nm)^2 \right]^{1/2} \right] \right\}^{1/3}$$

$$d = 0,0198 m$$

El diámetro del eje será de 0,02 m.

10.3.12. Diseño a fatiga para el eje

Encontramos el coeficiente de seguridad que va tener el eje con el diámetro de 0,02 m, se consideran los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga, utilizando la siguiente ecuación:

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e$$

Dónde:

K_a = Factor de modificación de la condición superficial.

K_b = Factor de modificación del tamaño.

K_c = Factor de modificación de la carga.

K_d = Factor de modificación de la temperatura.

K_e = Factor de confiabilidad.

Para el factor K_a , el acabado superficial es maquinado.

$$K_a = a S_{ut}^b \text{ (ANEXO E)}$$

$$a = 4,51$$

$$b = -0,265$$

$$K_a = 4,51(440MPa)^{-0.265}$$

$$K_a = 0,898$$

Para el factor K_b , el eje es rotatorio y está sometido a flexión y torsión.

$$K_b = 1,24 d^{-0.107} ($$

ANEXO)

$$K_b = 1,24 (20)^{-0.107}$$

$$K_b = 0,899$$

$K_c = 1$ flexión (ANEXO G)

$K_{c_s} = 0,59$ Torsión

Para una temperatura de 20 °C el valor de $K_d = 1$ (ANEXO G)

Para una confiabilidad del 90% $K_e = 0,897$ (ANEXO G)

El factor K_f esta determinado por la concentración de esfuerzos por flexión y torsión debidos por la sensibilidad a la muesca.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

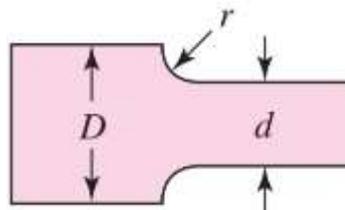
Dónde:

q = Sensibilidad a la muesca.

K_t =factor de concentración de esfuerzos.

El radio de la muesca para encontrar la sensibilidad de la muesca:

Gráfico 7: Radio de la Muesca



Fuente: Autores

$$D = 24,4 \text{ mm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$r = \frac{\frac{D-d}{2}}{3}$$

$$r = \frac{\frac{25,4 \text{ mm} - 20 \text{ mm}}{2}}{3}$$

$$r = 0,9 \text{ mm}$$

$q = 0,7$ Flexión (ANEXO G).

$q = 0,92$ Torsión.

Para K_t factor de concentración de esfuerzos

$$\frac{r}{d} = 0,045$$

$$\frac{D}{d} = 1,27$$

$K_t = 1,7$ Torsión (ANEXO G).

$K_t = 1,75$ Flexión.

El valor de K_f para torsión y flexión es:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0,92(1,7 - 1)$$

$$K_{f_s} = 1,644 \text{ Torsión}$$

$$K_f = 1 + 0,7(1,75 - 1)$$

$$K_f = 1,525 \text{ flexiones}$$

Cálculo de K factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$K = K_a K_b K_c K_d K_e$$

$$K = 0,898 \times 0,899 \times 1 \times 1 \times 0,897$$

$K = 0,72$ Flexión

$$K = K_a K_b K_{c_s} K_d K_e$$

$$K = 0,898 \times 0,899 \times 0,59 \times 1 \times 0,897$$

$K = 0,42$ Torsión

Cálculo del valor Se límite de resistencia a la fatiga, se toma el valor máximo de $k=0,72$.

$$Se = Se'K$$

$$Se' = 0,5 Sut$$

$$Se = 0,5 Sut K$$

$$Se = 0,5 (440MPa)(0,72)$$

$$Se = 158,4 MPa$$

Cálculo del factor de seguridad mediante la combinación de la teoría de distorsión y la falla por fatiga usando el criterio de Goodman.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a'}{Se} + \frac{\sigma_m'}{Sut}$$

$$\sigma_a' = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16K_{f_s} \tau_a}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_a' = \sqrt{\left(\frac{32 \times 1,525 \times 0,8 \text{ Nm}}{\pi (0,02m)^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 \times 1,644 \times 0}{\pi (0,02m)^3}\right)^2}$$

$$\sigma_a' = 1,55 MPa$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} = \sqrt{\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16K_{f_s} \tau_m}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\left(\frac{32 \times 1,525 \times 0}{\pi(0,02m)^3}\right)^2 + 3 \left(\frac{16 \times 1,644 \times 124,33}{\pi(0,02m)^3}\right)^2}$$

$$\sigma_m' = 130,12 \text{ MPa}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a'}{Se} + \frac{\sigma_m'}{Sut}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{1,55 \text{ MPa}}{158,4 \text{ MPa}} + \frac{130,12 \text{ MPa}}{440 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 3,27$$

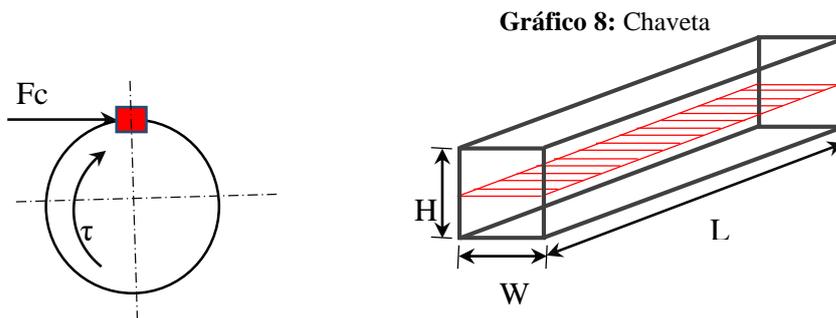
El factor de seguridad es $3,27 > 1$ según el criterio de Goodman, se concluye que valor obtenido en encuentra dentro de los parámetros de diseño garantizando que el eje no sufra falla por fatiga o flexión.

10.3.13. Diseño de chaveta.

La chaveta es un elemento mecánico utilizada para fijar dos elementos que se encuentren en rotación transmitiendo la potencia entre ellos y evitar el deslizamiento entre ambas piezas mecánicas, por ello es necesario realizar el diseño a corte y aplastamiento para determinar su rigidez.

El material que se selecciona para la chaveta es acero SAE 1018 HR y una geometría rectangular.

S_y = resistencia a la fluencia 220 MPa (ANEXO H).



Fuente: Autores

$$F_c = \frac{2\tau}{D}$$

Dónde:

F_c = Fuerza de corte

τ = par de torsión 124,33 Nm.

D = Diámetro del eje 0,02 m.

$$F_c = \frac{2(124,33 \text{ Nm})}{0,02 \text{ m}}$$

$$F_c = 12433 \text{ N.}$$

10.3.14. Diseño a corte de la chaveta

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{S_y}{\eta}$$

El esfuerzo σ es cero

$$\tau_c = \frac{S_y}{2\eta}$$

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c}$$

Combinando las ecuaciones:

$$\frac{S_y}{2\eta} = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{WL}$$

$$L = \frac{2 \eta F_c}{W S_y}$$

Dónde:

A_c = El área de corte.

η = Factor de seguridad de la chaveta se asume un valor igual a 2.

S_y = resistencia a la fluencia 210 MPa

F_c = Fuerza de corte 12433 N.

W = Ancho de la chaveta en m.

$$W = \frac{D}{4} = \frac{0,02 \text{ m}}{4} = 0,005 \text{ m.}$$

L = Longitud de la chaveta en m.

Cálculo de la longitud mínima que debe tener la chaveta:

$$L = \frac{2 \eta F_c}{W S_y}$$

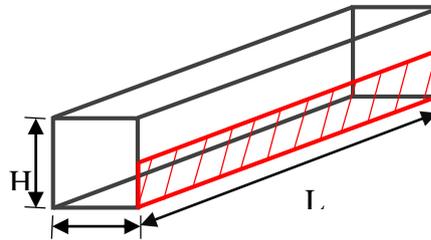
$$L = \frac{2 \times 2 \times 12433 \text{ N}}{0,005 \times 220 \text{ MPa}}$$

$$L = 0,045 \text{ m}$$

La longitud mínima a corte de la chaveta es de 0,045 m.

10.3.15. Diseño a aplastamiento de la chaveta:

Gráfico 9: Geometría de la Chaveta



W Fuente: Autores

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{Sy}{\eta}$$

El par de torsión es cero.

$$\sigma_{comp} = \frac{Sy}{\eta}$$

$$\sigma_{comp} = \frac{Fc}{A_{comp}} = \frac{Fc}{L \frac{H}{2}}$$

$$L = \frac{\eta Fc}{\frac{H}{2} Sy}$$

Dónde:

σ_{comp} = esfuerzo a compresión

L = Longitud de la chaveta en m.

η = factor de seguridad de la chaveta asumido 2.

Sy = resistencia a la fluencia 220 MPa.

Fc = Fuerza de corte 12433 N

H = altura de la chaveta en m. $H=W=0,005$ m.

$$L = \frac{2(12433N)}{\left(\frac{0,005}{2}\right) 220 \text{ MPa}}$$

$$L = 0,045 \text{ m.}$$

La longitud mínima a compresión de la chaveta es de 0,045 m.

10.3.16. Diseño del chavetero.

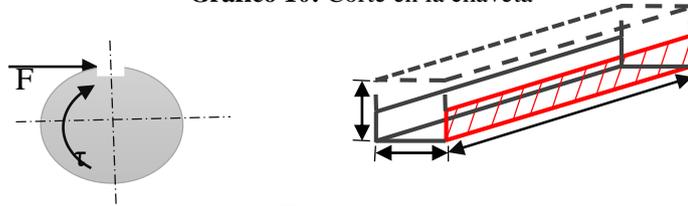
El chavetero es el lugar donde se va ubicar la chaveta para fijar dos elementos que se encuentren en rotación, transmitiendo la potencia entre ellos y evitar el deslizamiento entre ambas piezas mecánicas, por ello se realiza el diseño a aplastamiento.

El chavetero es de Acero AISI 1020 CD (ANEXO B) con una geometría rectangular.

S_y = resistencia a la fluencia = 390 MPa

Diseño a aplastamiento del chavetero

Gráfico 10: Corte en la chaveta



Fuente: Autores

$$\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \frac{S_y}{\eta}$$

El par de torsión es cero.

$$\sigma_{comp} = \frac{S_y}{\eta}$$

$$\sigma_{comp} = \frac{Fc}{A_{comp}} = \frac{Fc}{L \frac{H}{2}}$$

$$L = \frac{\eta Fc}{\frac{H}{2} S_y}$$

Dónde:

σ_{comp} = esfuerzo a compresión.

L = Longitud del chavetero en m.

η = factor de seguridad de la chaveta asumido 2.

S_y = resistencia a la fluencia 390 MPa.

Fc = Fuerza de corte 12433 N.

H = altura de la chaveta en m. $H=W=0,005$ m

$$L = \frac{2(12433 \text{ N})}{\left(\frac{0,006 \text{ m}}{2}\right) 390 \text{ MPa}}$$

$$L = 0,021 \text{ m.}$$

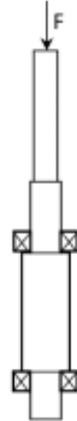
La longitud mínima a compresión del chavetero es de 0,021 m.

La chaveta y el chavetero tendrán las siguientes dimensiones de 0,005x0,005x0,03 mm.

10.3.17. ANALISIS DEL EJE A COMPRESIÓN

El eje va a soportar el peso del porta discos y la carga aplicada sobre el pin para el ensayo de desbaste abrasivo, por lo que se va a comportar como una columna.

Gráfico 11: Eje



Fuente: Shigley octava edición.

$$F = 48,93N$$

Longitud de pandeo

$$l_p = 2L$$

Dónde:

l_p = Longitud de pandeo de la columna.

L = longitud del eje 31 cm.

$$l_p = (2)(82cm)$$

$$l_p = 62 \text{ cm.}$$

Razón de esbeltez

$$\frac{Lk}{r} = 2 \frac{l_p}{d}$$

Dónde:

$\frac{Lk}{r}$ = razón de esbeltez.

l_p = Longitud de pandeo de la columna.

d = diámetro del eje 2 cm.

$$\frac{Lk}{r} = 2 \frac{62 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}$$

$$\frac{Lk}{r} = 62$$

10.3.18. Coeficiente de columna

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi E}{S_y}}$$

Dónde:

C_c = coeficiente de columna.

E = módulo de elasticidad del material 206,8 GPa (ANEXO C).

S_y = límite de fluencia del material 390 MPa (ANEXO B).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi(206,8GPa)}{390MPa}}$$

$$C_c = 57,2$$

Comparamos los dos valores:

$$\frac{Lk}{r} > C_c$$

$$62 > 57,2$$

La razón de esbeltez es mayor que el coeficiente de columna, por lo que cumple con la condición como una columna larga, para aplicar la ecuación de Euler.

10.3.19. Ecuación de Euler

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{Lk}{r}\right)^2}$$

Dónde:

P_{cr} = Ecuación de Euler.

E = módulo de elasticidad del material 206,8 GPa (ANEXO C).

A = área del eje 0,00062 m²

$\frac{Lk}{r}$ = razón de esbeltez 62.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2(206,8GPa)(0,00062 m^2)}{(62)^2}$$

$$P_{cr} = 329199,06 N$$

10.3.20. Coeficiente de seguridad

$$\eta = \sqrt{\frac{P_{cr}}{P_a}}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{329199,06 \text{ N}}{48,93 \text{ N}}} = 82,02$$

El coeficiente de seguridad es muy alto debido a que la carga activa a compresión es baja de 48,93 N.

10.4. Técnicas de Investigación

10.4.1. Análisis Documental

El análisis que se realizó durante la realización del presente proyecto ya que se utilizó el manual que brinda la norma ASTM G-99A para poder determinar los elementos que forman parte del conjunto de elementos que permitirán integrarse en la realización de la máquina de ensayo abrasivo, además se la información recabada permitió realizar los cálculos respectivos para poder determinar el valor de los parámetros requeridos para el diseño e implementación del prototipo mencionado en el presente proyecto.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis y discusión de los resultados se verán plasmados observando el funcionamiento de la máquina.

11.1 Diseño de la máquina

La máquina cumple con los parámetros de diseño estipulados según la norma ASTM G 99 – 95a obteniendo coeficientes de seguridad relativamente altos que garantizan la resistencia de los materiales utilizados en la construcción y el correcto funcionamiento de los mecanismos para realizar un adecuado ensayo de desgaste, la máquina es ergonómica y fiable, proporcionando la facilidad de manejo durante el ensayo de manera confiable y segura. El diseño de los diferentes materiales utilizados en la construcción de la máquina se mostrará en los planos, los cuales estarán en el presente proyecto como Anexo H.

11.2 Análisis de desgaste de dos materiales

Para validar el correcto funcionamiento de la máquina implementada, se procedió a realizar un ensayo de desgaste entre dos materiales (una espiga y un disco), estos datos obtenidos servirán como referencia para visualizar el trabajo de la máquina.

Los materiales utilizados fueron: material AISI 1020, acero inoxidable AISI 304, y un disco de desbaste de diámetro 115mm, en donde se mantendrá constante los valores de la velocidad de rotación, las Fuerza ejercida y la distancia de la espiga al disco; obteniéndose los siguientes resultados:

Las características de la espiga:

- Material AISI 1020
- Densidad del material $7860\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Las características del disco:

- Material AISI 304
- Densidad del material $7980\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Parámetros para realizar el ensayo de desgaste son:

v = Velocidad de deslizamiento

F = Carga

r = Distancia entre el centro del disco y la espiga

Condiciones para el ensayo

v (rpm)	F (N)	r (mm)
300	10	30

Tabla 2: Valores obtenidos al realizar un ensayo 1 de desgaste abrasivo sobre una superficie “suave”

Tiempo (s)	Velocidad (rpm)	Distancia de la espiga al disco (mm)	Masa de la Espiga (gramos)	Longitud de la Espiga (cm)
60	300	30	28,34	77
60	300	30	28,34	77
60	300	30	28,34	77

60	300	30	28,05	76,8
60	300	30	28,05	76,8

Tabla 3: Valores obtenidos al realizar un ensayo 2 de desgaste abrasivo sobre una superficie “dura”

Tiempo (s)	Velocidad (rpm)	Distancia de la espiga al disco (mm)	Masa de la Espiga (gramos)	Longitud de la Espiga (mm)
60	300	30	27,77	7.67
60	300	30	27,77	7.67
60	300	30	27,48	7.65
60	300	30	27,48	7.65
60	300	30	27,48	7.65

Condiciones para el ensayo

v (rpm)	F (N)	r (mm)
400	10	30

Tabla 4: Valores obtenidos al realizar un ensayo 3 de desgaste abrasivo sobre una superficie “suave”

Tiempo (s)	Velocidad (rpm)	Distancia de la espiga al disco (mm)	Masa de la Espiga (gramos)	Longitud de la Espiga (cm)
60	400	30	28,05	76,8
60	400	30	28,05	76,8
60	400	30	27,77	76,7

60	400	30	27,77	76,7
60	400	30	27,77	76,7

Tabla 5: Valores obtenidos al realizar un ensayo de desgaste abrasivo sobre una superficie “dura”

Tiempo (s)	Velocidad (rpm)	Distancia de la espiga al disco (mm)	Masa de la Espiga (gramos)	Longitud de la Espiga (cm)
60	400	30	27,20	7.63
60	400	30	27,20	7.63
60	400	30	26,92	7.61
60	400	30	26,92	7.61
60	400	30	26,92	7.61

Para el registro de resultados del ensayo se considera lo siguiente:

- Fuerza de fricción fr
- Coeficiente de fricción μ , norma ASTM G-99A
- Peso inicial de la espiga w_i en gramos
- Peso final de la espiga w_f en gramos
- Pérdida de peso $\Delta w = w_i - w_f$ en gramos
- Razón de desgaste $q = \Delta w / \rho$ en m^3
- Densidad del material de la espiga ρ

Tabla 6: Valores obtenidos al realizar los ensayos

Ensayo	w_i (gramos)	w_f (gramos)	Δw (gramos)	q (m^3)	μ	fr (N)
1	28,34	28,05	0,29	3,68957E-08	0,6	6
2	27,77	27,48	0,29	3,68957E-08	0,7	7

3	28,05	27,77	0,28	3,56234E-08	0,6	6
4	27,2	26,92	0,28	3,56234E-08	0,7	7
TOTAL				1,45038E-07		

Con la realización de este ensayo se verificó que la máquina funciona acorde a lo establecido en la norma ASTM G-99A, la velocidad de rotación se mantuvo constante sin visualizar cambios bruscos cuando se procedió a realizar la prueba de desgaste de la espiga ya sea sobre una superficie suave o dura, con lo que se logró realizar con éxito este ensayo abrasivo obteniendo una razón de desgaste de $1,45038E-07 \text{ m}^3$.

12. IMPACTO SOCIAL, TÉCNICO Y ECONÓMICO

12.1. Impacto Social

Al poder contar la Universidad Técnica de Cotopaxi con una máquina, esto permitirá la colaboración para que los estudiantes puedan desarrollar el conocimiento práctico de lo teórico anotado en papel o visualizado en magnético.

12.2. Impacto Técnico

Al culminar este proyecto se logrará obtener un dispositivo que permita realizar aplicaciones mecánicas en el campo de la ingeniería.

12.3. Impacto Económico

Al poder realizar pruebas de ensayo se pueda alargar la vida útil de los materiales y con ello lleva a poder realizar un ahorro económico logrando un impacto económico.

13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Tabla 7: Presupuesto para la elaboración del proyecto

LISTA DE MATERIALES PARA EL ENSAYO DE DESGASTE					
N°	Material	Dimensiones	Cantidad	Precio U.	Precio T.
1	Pines de Teflón (L=1m)	Ø10 mm*45 mm	36	0.50	18.00
	Maquinado			1.00	36.00
2	Disco acero AISI 304		4	5.00	20.00

	Maquinado	Ø145 mm*2 mm		10.00	40.00
SUBTOTAL 1					114.00

Fuente: Autores

LISTA DE MATERIALES DEL SISTEMA PIN ON DISK					
N°	Material	Cantidad	Espesor	Precio U.	Precio T.
1	Plancha de acero	3	8 m	3,00	9,00
2	Eje macizo	2		3,00	6,00
3	Rodamiento	3		4,00	12,00
4	Electrodos	3 lb		3,50	10.50
5	Tubo de alta presión	4	5 mm	2.50	10.00
6	Mandril	1		18,00	18,00
7	Motor WEG - 110V	1		160,00	160,00
8	Transformador 110-220 V	1		30,00	30,00
9	Variador de velocidad y frecuencia	1		400	400
10	Solenoides 220 V	1		135,87	135,87
11	Polea de 2 y 6 pulg	2		12.00	24.00
12	Banda Tipo V	1		6,00	6,00

13	Pintura	1 Lt		8,00	8,00
14	Tiñer	2 Lt		2.00	4.00
15	Visagras	3		1,50	4.50
16	Plancha de tol	1	1,5 mm	10,00	10,00
17	Tubo cuadrado	1	2 mm	3,00	3,00
18	Plancha de acero		3 y 4 mm	2.20	4.40
19	Eje de acero	8		3.00	24.00
20	Perno hexagonal	36		0.50	18.00
21	Tornillo de fijación con cabeza hueca y punta en copa	4		0,30	1.20
22	Tornillo CC ranurado	40		1,20	48.00
23	Tornillo con cabeza hueca	8		0.40	3.2
24	Pesas	6		5	30
25	Herramientas eléctricas (Alquiler)	30 días		12	360
26	Empastados	2		14	28
27	Anillados	5		1.25	6.25
Subtotal 2					1,373.92

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- Al revisar los acervos bibliográficos se pudo encontrar las normas ASTM G-99 en especial la G-99A, la cual sirvió como manual durante todo el desarrollo del presente proyecto.
- Se analizó los componentes que la normas ASTM G-99A, recalca para la fabricación del presente dispositivo. También se pudo realizar los respectivos cálculos que permitirán realizar el desarrollo del diseño.
- Se implementó la máquina de perno sobre disco para ensayos de desgaste abrasivo para el laboratorio de materiales de la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Por medio de la comparación de los resultados obtenidos se validó el funcionamiento del equipo mostrando que la desviación de los valores obtenidos se encuentra dentro del rango permitido por la norma ASTM G-99A.

14.2. Recomendaciones

Se sugiere que se siga con la línea de investigación acerca de desgaste abrasivo sobre materiales ya que esto permitirá poder evaluar que las superficies de los materiales no se rompan o se deterioren permitiendo lograr optimizar recursos y logrando ahorrar en gastos de reposición de materiales dañados.

15. Bibliografía

- Ariel , N. (2015). Influencia de la Rugosidad, Tipo de Lubricante y de Recubrimiento sobre el Desempeño Tribológico de la Región de Sello en Uniones Roscadas de Uso Petrolero. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, 1-202. Obtenido de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2518/1/Tesis%20Doctoral%20Nicol%C3%A1s%20Zabala.pdf>
- Chicaiza , R. (2016). ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE UN SISTEMA MECÁNICO PIN ON DISK BAJO NORMA ASTM G-99 Y SU INFLUENCIA EN EL DESGASTE ADHESIVO DEL TEFLÓN SOBRE EL ACERO AISI 304. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 1-280. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/22938>
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Test Method for Wear TEsting with a Pin-on-Disk Apparatus. United States: ASTM, 2010. (ASTM G99–05).
- Flores, C. (2016). ANÁLISIS DE LUBRICACIÓN HIDRODINÁMICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES 20W50 DE DIVERSAS MARCAS QUE SON COMERCIALIZADOS EN EL MERCADO ECUATORIANO. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 1-69. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13281/3/UPS-KT00142.pdf>
- Florez, O., Higuera, O., & Florez, L. (2007). Evaluación del desgaste adhesivo del acero AISI-SAE 1020. Scientia Et Technica, XIII(36), 187-191. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903635.pdf>
- Gutiérrez, W., Olaya , J., & Torres, M. (Septiembre de 2015). Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G–65. Scientia Et Technica, 20(3), 217-224. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84943818003.pdf>
- Martynenko, V., Abate, G., Pazos, L., & Marinez , D. (2015). Diseño y construcción de una máquina pin-on disk para la determinación de coeficientes de fricción y un ejemplo

de aplicación. ResearchGate, 1-3. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/280085064>

- Peña, A. (2002). CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y TRIBOLOGICA DEL Al 6061-T651Y DEL Al 6061-T651 CON RECUBRIMIENTO DE FOSFATO DE CROMO. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 1-220. Obtenido de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/021/33021444.pdf
- Pérez , E., Muñoz, G., Souza, R., & Negrín, L. (enero-abril de 2014). Simulación de un sistema tribológico formado por sustrato recubrimiento rugoso usando métodos numéricos. Ingeniería Mecánica, 17, 48-56. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000100006
- Ramírez , D., Ramírez , M., Gonzákez , R., Romo, J., Sanchez , A., & Lemus , M. (ene-jun de 2017). Simulación computacional como herramienta para disminuir los costos asociados al diseño mecánico. Retos de la Dirección, 11(1), 82-93. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552017000100006
- Rudas, J., Gómez, L., & Toro, A. (Julio-Diciembre de 2013). Modelamiento del proceso de desgaste de un tribómetro pin-disco: Flash temperature y mecanismos de disipación. Iteckne, 10(2), 1-10. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982013000200007
- Sánchez, S. (2018). DISEÑO Y DESARROLLO DE UN TRIBÓMETRO “PIN ON DISK” DE BAJO. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA, 1-129. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115391/Teodoro%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20desarrollo%20de%20un%20trib%C3%B3metro%20pin-on-disk%20de%20bajo%20coste.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

16. ANEXOS

Anexo 1.Datos del estudiante Alex Javier Coque Toapanta



CURRÍCULUM VITAE

INFORMACIÓN

Nombres y Apellidos: Alex Javier Coque Toapanta

Cédula de Identidad: 020254527-3

Lugar y fecha de nacimiento: Guaranda, 25 de Octubre de 1997

Domicilio: Guaranda

Dirección: Av. Eliza Mariño de Carvajal

Celular: 0939045422

Correo electrónico: alex.coque5273@utc.edu.ec

ESTUDIOS

Primaria: Escuela Fiscal Mixta “Manuel de Echeandia”

Secundaria: Instituto Tecnológico Superior “Guaranda”

Tercer Nivel: Universidad Técnica de Cotopaxi “Carrera Ingeniería Electromecánica”

CURSOS DE CAPACITACIÓN

- Primera Conferencia Científica Internacional de Energías Renovables y Eficiencia
- I Conferencia Científica Internacional 2016 realizado en la UTC-Extensión La Maná.
- El I Congreso Nacional De Electricidad y Energías Renovables CONEER 2017
- II Conferencia Científica Internacional de Energías Renovables y Eficiencia Energética- UTC La Maná
- III Congreso Internacional de Investigación Científica UTC-La Maná.
- Cursos de torno y fresadora realizado en Centro de formación artesanal “Centro Técnico Quevedo”
- Certificación en Prevención en Riesgos Laborales con registro en el Sistema del SENESCYT

Anexo 2.Datos del estudiante John Davis Sarango Flores

CURRÍCULUM VITAE

INFORMACIÓN

Nombres y Apellidos: John Davis Sarango Flores

Cédula de Identidad: 075060046-2

Lugar y fecha de nacimiento: Machala,29 de Marzo del 1998

Domicilio: Machala

Dirección: Florida sector I

Celular: 0959632970

Correo electrónico: john.sarango0462@utc.edu.ec

ESTUDIOS

Primaria: Escuela Ciudad de Machala

Secundaria: Instituto superior El Oro

Tercer Nivel: Universidad Técnica de Cotopaxi “Carrera Ingeniería Electromecánica”

CURSOS DE CAPACITACIÓN

- Primera Conferencia Científica Internacional de Energías Renovables y Eficiencia Energética
- I Conferencia Científica Internacional 2016 realizado en la UTC-Extensión La Maná.
- El I Congreso Nacional De Electricidad y Energías Renovables CONEER 2017
- II Conferencia Científica Internacional de Energías Renovables y Eficiencia Energética- UTC La Maná
- III Congreso Internacional de Investigación Científica UTC-La Maná.
- Cursos de torno y fresadora realizado en Centro de formación artesanal “Centro Técnico Quevedo”
- Certificación en Prevención en Riesgos Laborales con registro en el Sistema del SENESCYT

Anexo 3: Datos del tutor del proyecto.



CURRÍCULUM VITAE

INFORMACIÓN

Nombre: Joao Lázaro
Apellido: Barzaga Quesada
Estado Civil: Casado
Cédula de Ciudadanía: 175702540-6
Lugar de Nacimiento: Cuba
Dirección Domiciliaria: Calle 27 de noviembre y calle Carlos Lozada, La Maná.
Celular : 0995776393
Correo Institucional: joao.barzaga5406@utc.edu.ec

TÍTULOS

NIVEL	TITULO	UNIVERSIDAD	AÑO DE GRADUACIÓN
POST-GRADO	Máster en Maquinaria Agrícola	Universidad de Granma	2019
TERCER	Ingeniero Mecánico	Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya	2009
SECUNDARIA	Ciencias Técnicas	-	2003

TRALLETORIA PROFESIONAL

INSTITUCIÓN	CARGO	RESPONSABILIDADES	PERIODO	RAZÓN DE SALIDA
Universidad de Granma	Docente-investigador	Docente-investigador del departamento de Ingeniería Mecánica en Universidad de Granma	2009-2015	Contrato ocasional
Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga.	Docente SNNA	Docente SNNA Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga	2015-2016	Contrato ocasional
Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná	Docente SNNA	Docente SNNA Ingeniería Electromecánica en Universidad Técnica de Cotopaxi extensión	Actualmente	Contrato ocasional

ANEXO A

FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO K_f PARA ESTIMACIONES DE PRIMERA ITERACIÓN

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

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

Fuente: Shigley octava edición.

ANEXO B

PROPIEDADES DEL ACERO

1	2	3	4	5	6	7	8
	SAE y/o	Procesa-	Resistencia	Resistencia a	Elongación en	Reducción en	Dureza
UNS núm.	AISI núm.	miento	la tensión, la fluencia,	la fluencia,	2 pulg, %	área, %	Brinell
			MPa (kpsi)	MPa (kpsi)			
G10060	1006	HR	300 [43]	170 [24]	30	55	86
		CD	330 [48]	280 [41]	20	45	95
G10100	1010	HR	320 [47]	180 [26]	28	50	95
		CD	370 [53]	300 [44]	20	40	105
G10150	1015	HR	340 [50]	190 [27.5]	28	50	101
		CD	390 [56]	320 [47]	18	40	111
G10180	1018	HR	400 [58]	220 [32]	25	50	116
		CD	440 [64]	370 [54]	15	40	126
G10200	1020	HR	380 [55]	210 [30]	25	50	111
		CD	470 [68]	390 [57]	15	40	131
G10300	1030	HR	470 [68]	260 [37.5]	20	42	137
		CD	520 [76]	440 [64]	12	35	149
G10350	1035	HR	500 [72]	270 [39.5]	18	40	143
		CD	550 [80]	460 [67]	12	35	163
G10400	1040	HR	520 [76]	290 [42]	18	40	149
		CD	590 [85]	490 [71]	12	35	170

Fuente: Shigley octava edición.

ANEXO C

PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS MATERIALES

Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería								
Datos provenientes de varias fuentes. * Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico								
Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Fuente: <http://gama.fime.uanl.mx/~petapia/Dis%20maq/04Tablas%20de%20Materiales.pdf>

ANEXO D

LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA EN VIGA GIRATORIA

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Fuente: Shigley octava edición.

ANEXO E

FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

K_a Factor de modificación de la condición superficial.

$$k_a = aS_{ut}^b$$

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

Fuente: Shigley octava edición.

ANEXO F

K_b Factor de modificación del tamaño.

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

Fuente: Shigley octava edición.

ANEXO G

K_c Factor de modificación de la carga.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Fuente: Shigley octava edición.

K_d Factor de modificación de la temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

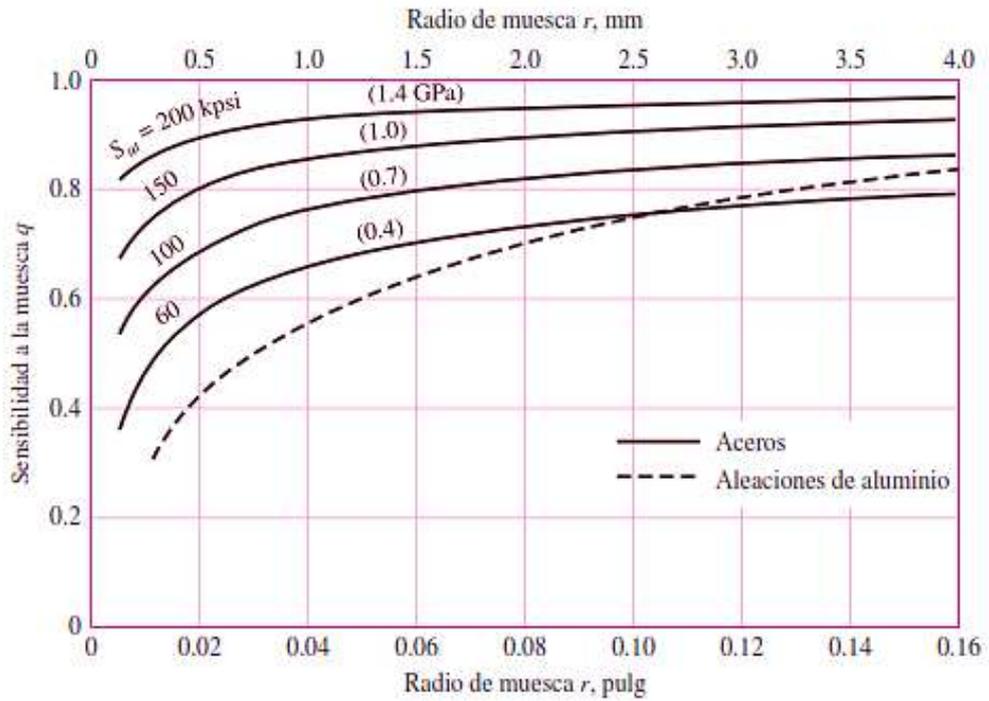
Fuente: Shigley octava edición.

K_e Factor de confiabilidad.

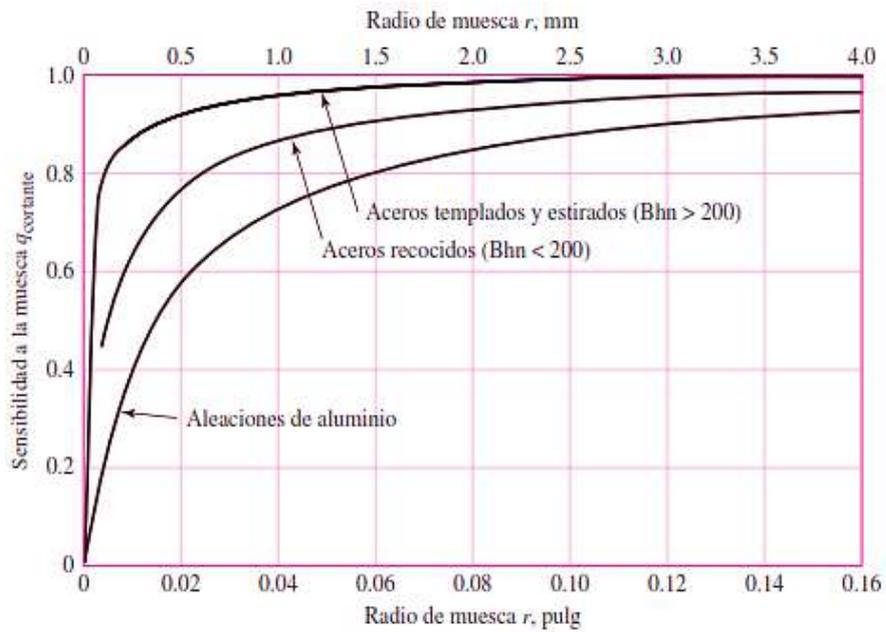
Confiabilidad, %	Variación de transformación z_o	Factor de confiabilidad k_o
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: Shigley octava edición.

q SENSIBILIDAD A LA MUESCA POR FLEXIÓN

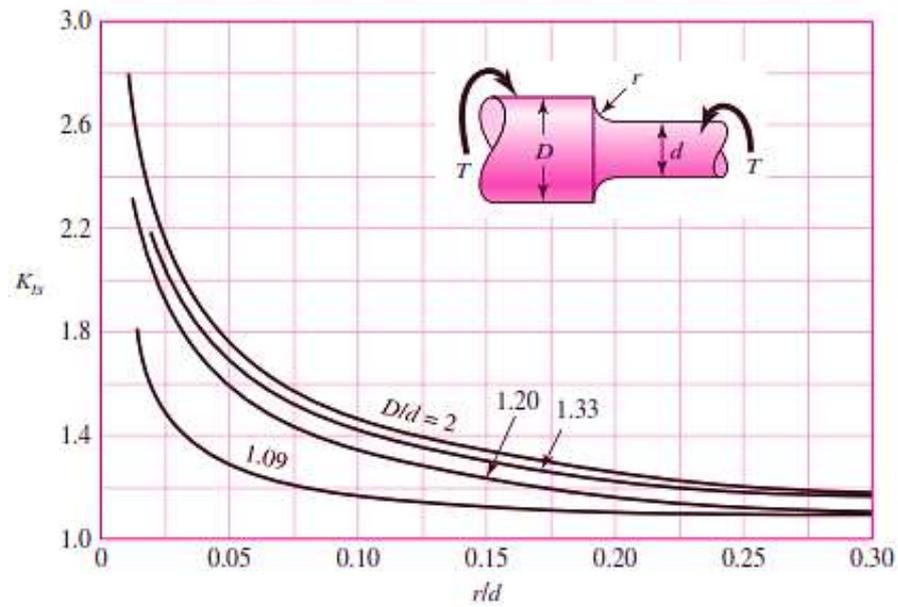


q SENSIBILIDAD A LA MUESCA POR TORSIÓN

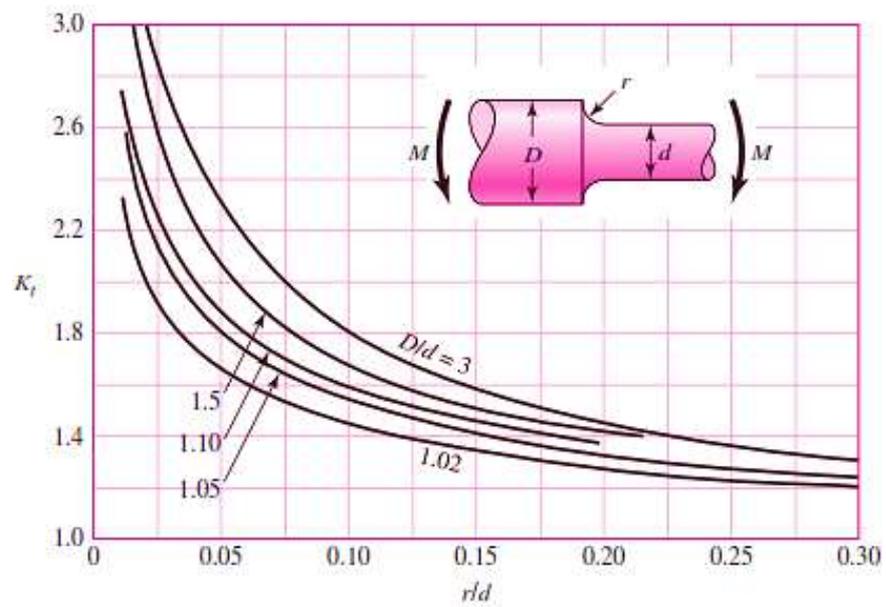


Fuente: Shigley octava edición.

k_{ts} Factor de concentración del esfuerzo a torsión



k_t Factor de concentración del esfuerzo a flexión

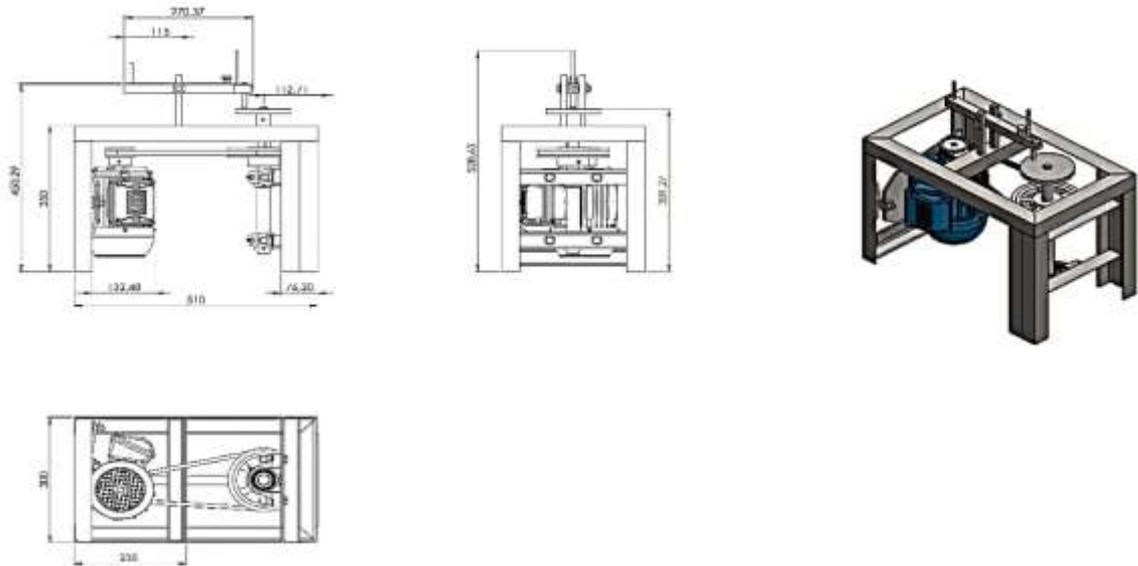


Fuente: Shigley octava edición.

ANEXO H

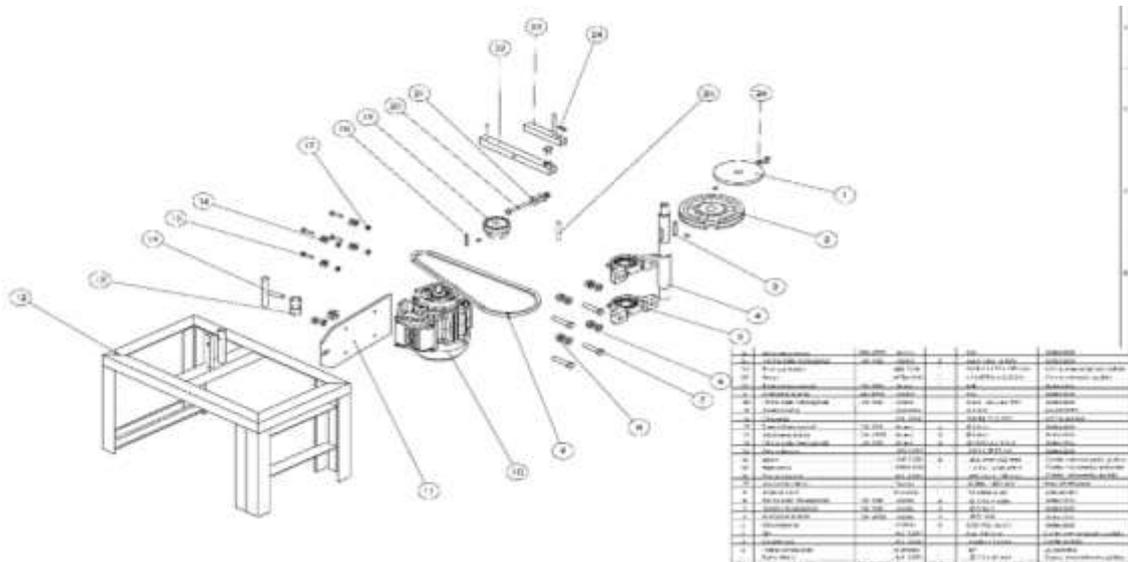
Planos de la maquina

Figura: Máquina de Ensayo Abrasivo Pin on Disk



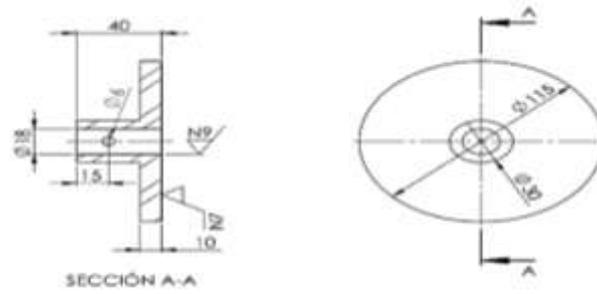
Elaborado por: Coque A; Sarango J. (2021)

Figura: Vista Explosionada



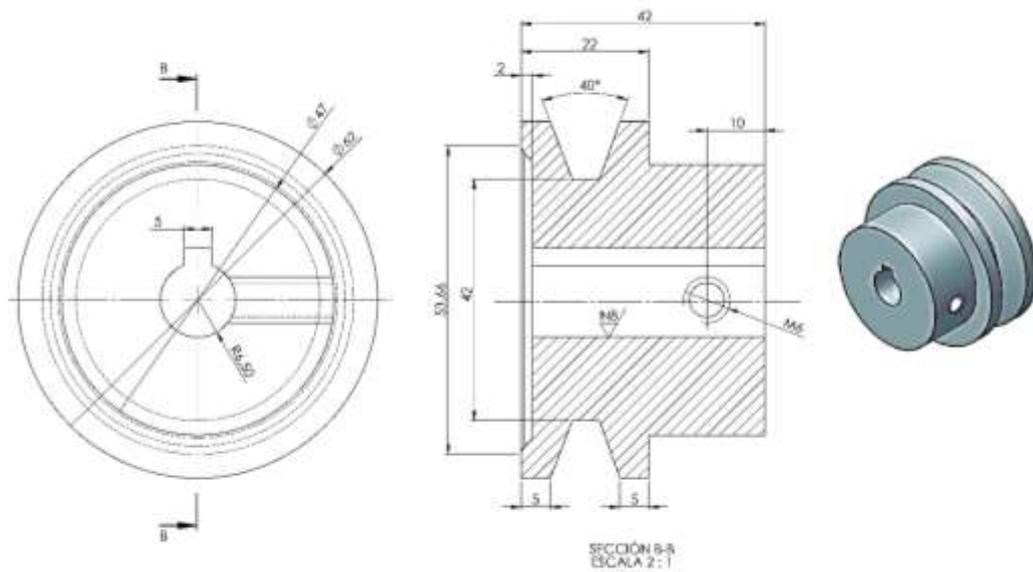
Elaborado por: Coque A; Sarango J. (2021)

Figura: Porta Disco



Elaborado por: Coque A; Sarango J. (2021)

Figura: Porta Disco



Elaborado por: Coque A; Sarango J. (2021)

Anexo 4: Certificación del antiplagio del URKUND



Document Information

Analyzed document	Proyecto Sarango-Coque2.docx (D111547156)
Submitted	8/22/2021 3:53:00 AM
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@utc.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	yoandrys.morales.utc@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.researchgate.net/publication/287398549_Modelamiento_del_proceso_de_desgaste_de_un_tribometro_pin-disco_Flash_temperature_y_mecanismos_de_disipacion Fetched: 8/22/2021 3:54:00 AM		3
W	URL: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22938/1/Tesis%20I.M.%20330%20-%20Chicaiza%20Cajahuishca%20Roberto%20Carlos.pdf Fetched: 6/24/2021 12:03:34 AM		5
W	URL: https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10321/Felipe%20Hern%C3%A1ndez%20Armando.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 7/18/2020 7:15:53 AM		1
SA	TESIS ROBERTO CHICAIZA.pdf Document TESIS ROBERTO CHICAIZA.pdf (D16470635)		9
W	URL: http://ri.ues.edu.sv/1776/1/DISE%C3%91O_Y_CONSTRUCCI%C3%93N_DE_UNA_M%C3%81QUINA_PARA_ENSAYOS_DE_DESGAST.pdf Fetched: 4/7/2021 11:35:22 AM		4
SA	Tesis final final.docx Document Tesis final final.docx (D21448424)		1
SA	g4 tesis.docx Document g4 tesis.docx (D62959443)		1
W	URL: http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2518/1/Tesis%20Doctoral%20Nicol%C3%A1s%20Zabala.pdfChicaiza Fetched: 8/22/2021 3:54:00 AM		1
SA	TRABAJO DE TITULACION - ISRAEL ROMERO.docx Document TRABAJO DE TITULACION - ISRAEL ROMERO.docx (D24932856)		1
W	URL: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/862/1/TL_EspinozaRuizSaul.pdf Fetched: 8/12/2021 6:25:08 PM		1