



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE
DESGASTE ACELERADO PARA APEROS DE
LABRANZA AGRÍCOLA MEDIANTE ENSAYO SAT
PARA EL LABORATORIO DE MAQUINARIA
AGRÍCOLA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ.**

VÍCTOR ALFONSO GUANO CAIZA

RICARDO JAVIER SAQUINGA CHICAIZA

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-12-05

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

VÍCTOR ALFONSO GUANO CAIZA

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO
PARA APEROS DE LABRANZA AGRÍCOLA MEDIANTE ENSAYO SAT PARA EL
LABORATORIO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

**Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas
DIRECTOR**

**Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
ASESOR**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-12-05

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

RICARDO JAVIER SAQUINGA CHICAIZA

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO
PARA APEROS DE LABRANZA AGRÍCOLA MEDIANTE ENSAYO SAT PARA EL
LABORATORIO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FACULTAD DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

**Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas
DIRECTOR**

**Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
ASESOR**

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUANO CAIZA VÍCTOR ALFONSO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO PARA APEROS DE LABRANZA AGRÍCOLA MEDIANTE ENSAYO SAT PARA EL LABORATORIO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.”

Fecha de Examinación: 2017-07-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas DIRECTOR			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SAQUINGA CHICAIZA RICARDO JAVIER

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESGASTE ACELERADO PARA APEROS DE LABRANZA AGRÍCOLA MEDIANTE ENSAYO SAT PARA EL LABORATORIO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.”

Fecha de Examinación: 2017-07-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas DIRECTOR			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIBUNAL

|DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Guano Caiza Víctor Alfonso

Saquina Chicaiza Ricardo Javier

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre por ser un pilar fundamental durante todo este trayecto, por haberme demostrado siempre su cariño y apoyo incondicional durante esta maravillosa etapa. A mi padre quien con su ejemplo y consejos ha sabido guiarme para culminar con éxito mi carrera profesional. A mis hermanas y hermanos por todo el apoyo incondicional brindado día a día. A mis amigos y amigas que me acompañaron durante todo el trayecto, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Víctor Alfonso Guano Caiza

Dedico este proyecto de titulación a Dios, y a mis padres el Sr. Jorge Saquinga y la Sra. Rosa Chicaiza los cuales han estado en los momentos importantes de mi vida y apoyarme incondicionalmente, por sus consejos ya que han fomentado en mí grandes valores .

A mis hermanas Natay y Dayana por estar en este trayecto, a mi sobrina Daniela ya que fueron fundamental para alcanzar este objetivo.

A mis tíos, tías que también han formado parte importante durante mi carrera en especial a mi tía María Saquinga por su apoyo, a mis abuelitos por sus sabios consejos y emprenderme hacia una meta, primos, primas y de más familiares que de una u otra manera formaron parte de este trayecto.

Ricardo Javier Saquinga Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo. En especial a la Carrera de Ingeniería Automotriz por haberme dado la oportunidad de formar parte de la misma, y otorgarme una profesión con ética y valores morales.

Víctor Alfonso Guano Caiza

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela superior Politécnica de Chimborazo. En especial a la Carrera de Ingeniería Automotriz por darme la oportunidad de obtener la profesión que aprecio y me gusta y formarme como una persona ética.

Un eterno agradecimiento a mis padres Jorge Saquina y Rosa Chicaiza por brindarme su apoyo incondicional para alcanzar este objetivo de verme como un profesional.

A mis tíos y tías que estuvieron presentes durante toda la trayectoria de mi carrera y me apoyaron de diferentes maneras.

A nuestros compañeros que nos acompañaron en el transcurso de esta etapa de la vida y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito esta meta planeada en nuestras vidas.

Ricardo Javier Saquina Chicaiza

CONTENIDO

Pág.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1	Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema.....	1
1.3	Justificación	1
1.4	Objetivos	2
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	2

2. MARCO TEÓRICO

2.1	Tribología.....	3
2.1.1	<i>Aplicaciones</i>	3
2.2	Fricción	4
2.2.1	<i>Tipos de rozamiento</i>	4
2.2.1.1	<i>Fuerza de rozamiento estática</i>	4
2.2.1.2	<i>Fuerza de rozamiento cinético</i>	6
2.3	Desgaste	6
2.4	Abrasión.....	7
2.4.1	<i>Elementos de control de la abrasión</i>	8
2.4.2	<i>Efecto de las propiedades del material sobre el desgaste abrasivo</i>	9
2.5	Aperos de labranza agrícola.....	9
2.5.1	<i>Laboreo del terreno</i>	9
2.5.2	<i>Efecto de los aperos en el suelo</i>	9
2.5.3	<i>Clasificación de los aperos de labranza</i>	11
2.6	Cuchillas utilizadas en el rotovator.....	15
2.7	Rastras de disco.....	15
2.7.1	<i>Disposición de los cuerpos</i>	16
2.7.1.1	<i>Las de simple acción</i>	16
2.8	Energía consumida al labrar.....	16
2.8.2	<i>Capacidad de trabajo efectiva (Se)</i>	18
2.9	El suelo.....	18
2.9.1	<i>Formación del suelo</i>	18
2.9.2	<i>Principales tipos de suelos</i>	18
2.9.3	<i>Mapa de texturas de suelo del cantón Riobamba</i>	19
2.10	Máquinas de desgaste.....	20

2.10.1	<i>Ensayos de desgaste abrasivo normalizados</i>	20
2.10.1.1	<i>Norma ASTM G 65</i>	20
2.10.1.2	<i>Norma ASTM G 105</i>	20
2.11	Componentes eléctricos.	21
2.11.1	<i>Motor eléctrico</i>	21
2.11.1.1	<i>Características Generales.</i>	21
2.11.2	<i>Contactador electromagnético</i>	22
2.11.3	<i>Variador de frecuencia</i>	22
2.12	Higrómetro.....	23
3.	DISEÑO Y SELECCIÓN	
3.1	Generalidades.....	25
3.2	Descripción del equipo.....	25
3.3	Diseño de la máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola.....	26
3.3.1	<i>Cálculo de selección del motor</i>	26
3.3.1.1	<i>Capacidad de trabajo teórico (St)</i>	26
3.3.1.2	<i>Tiempo eficaz (TE)</i>	26
3.3.1.3	<i>Capacidad de trabajo efectivo (Se)</i>	26
3.3.1.4	<i>Tiempo efectivo te</i>	27
3.3.1.5	<i>Cálculo de área de contacto de la cuchilla</i>	27
3.3.1.6	<i>Cálculos de resistencia del suelo.</i>	28
3.3.2	<i>Cálculo de selección del eje de elevación</i>	29
3.3.2.1	<i>Para el cálculo del diámetro</i>	32
3.3.3	<i>Calculo de selección del eje de acoples.</i>	34
3.3.3.1	<i>Para el cálculo del diámetro</i>	38
3.3.4	<i>Calculo de engranajes</i>	40
3.3.4.1	<i>Engranaje conductor</i>	40
3.3.4.2	<i>Engrane conducido</i>	42
3.3.4.3	<i>Engranaje para cadena</i>	43
3.3.4.4	<i>Eje estriado</i>	44
3.3.5	<i>Modelado en el software “SOLIDWORKS”</i>	44
3.3.5.1	<i>Datos generales</i>	45
3.3.5.2	<i>Proceso de modelado de la máquina de desgaste</i>	45
3.3.5.3	<i>Materiales para la construcción de la máquina</i>	46
3.3.6	<i>Análisis en el software “ANSYS”</i>	47
3.3.6.1	<i>Análisis de la primera geometría</i>	47

3.3.6.2	<i>Análisis de la segunda geometría</i>	49
3.3.6.3	<i>Geometría final</i>	50
4.	CONSTRUCCIÓN	
4.1	Tecnología de construcción de la máquina de desgaste acelerado.....	52
4.2	Generalidades.....	54
4.3	Construcción de la máquina de desgaste.....	54
4.3.1	<i>Bastidor del equipo</i>	54
4.3.2	<i>Bastidor del mecanismo de elevación</i>	55
4.3.3	<i>Ejes de transmisión</i>	55
4.3.4	<i>Guía de eje vertical</i>	56
4.3.5	<i>Depósito contenedor de suelo</i>	56
4.3.6	<i>Base del motor eléctrico</i>	57
4.3.7	<i>Guías de bloqueo del depósito contenedor de suelo</i>	57
4.3.8	<i>Manijas de bloqueo</i>	58
4.3.9	<i>Acople para cuchillas</i>	58
4.3.10	<i>Acople para disco</i>	59
4.4	Ensamble de las partes de la máquina.....	60
4.4.1	<i>Estructura General</i>	60
4.4.2	<i>Mecanismo de elevación</i>	60
4.4.3	<i>Motor eléctrico</i>	60
4.4.4	<i>Caja de control</i>	60
4.4.5	<i>Eje vertical y guía</i>	60
4.4.6	<i>Contenedor</i>	60
4.4.7	<i>Montaje total y pintura de la máquina</i>	61
4.5	Manual de operación.....	61
4.6	Limpieza.....	62
4.7	Manual de Mantenimiento.....	62
4.7.1	<i>Mantenimiento del sistema eléctrico</i>	62
4.7.2	<i>Mantenimiento del sistema Mecánico</i>	63
4.7.3	<i>Mantenimiento para los acoples</i>	63
4.7.4	<i>Mantenimiento del depósito contenedor de suelos</i>	63
4.8	Plan de seguridad.....	63
4.8.1	<i>Uso de equipo de protección personal</i>	63

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones 65

5.2 Recomendaciones..... 65

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los aperos de labranza más utilizados.....	12
Tabla 2. Valores medios de la resistencia específica para distintos suelos	17
Tabla 3. Dimensiones de la máquina de desgaste	45
Tabla 4. Componentes y materiales para la construcción.	46
Tabla 5. Propiedad del material ASTM A36.....	46
Tabla 6. Simbología de procesos según la norma ANSI.....	52
Tabla 7. Manual de operación.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Creación de la fuerza de fricción	5
Figura 2. Fuerza de rozamiento cinético	6
Figura 3. Factores que influyen en el desgaste de los materiales.....	7
Figura 4. Tipos de contacto durante el desgaste abrasivo. a) Abierto de dos cuerpos, b) Cerrado de dos cuerpos, c) Abierto de tres cuerpos, d) Cerrado de tres cuerpos.....	8
Figura 5. Tipos de cuchillas	15
Figura 6. Tipos de suelo.....	19
Figura 7. Texturas de suelo	19
Figura 8. Diagrama de la maquina según la Norma ASTM G 65.....	20
Figura 9. Diagrama de la máquina según la norma ASTM G 105.....	21
Figura 10. Motor eléctrico	21
Figura 11. Contactor electromagnético LC1-D.....	22
Figura 12. Variador de frecuencia SV-iG5A	23
Figura 13. Higrómetro analógico	23
Figura 14. Área de contacto de cuchilla.....	27
Figura 15. Eje de elevación.....	29
Figura 16. Diagrama de cargas del eje de elevación.....	29
Figura 17. Diagrama de cargas en el plano XY	30
Figura 18. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XY	30
Figura 19. Diagrama de cargas plano XZ	31
Figura 20. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XZ.....	31
Figura 21. Eje de acoples	34
Figura 22. Diagrama de cargas del eje de acoples	35
Figura 23. Diagrama de cargas en el plano XY	35

Figura 24. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XY	36
Figura 25. Diagrama de cargas en el plano XZ.....	36
Figura 26. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XZ.....	37
Figura 27. Engranaje conductor	40
Figura 28. Engrane conducido	42
Figura 29. Engranaje para cadena	43
Figura 30. Eje estriado	44
Figura 31. Modelado de la máquina de desgaste	45
Figura 32. Cargas aplicada en la estructura metálica.....	48
Figura 33. Deformación total de la estructura metálica	48
Figura 34. Factor de seguridad.....	49
Figura 35. Cargas aplicadas en el mecanismo de elevación	49
Figura 36. Deformación total	50
Figura 37. Factor de seguridad.....	50
Figura 38. Geometría final	51
Figura 39. Deformación total	51
Figura 40. Factor de seguridad.....	51
Figura 41. Diagrama de procesos de la construcción de la maquina	53
Figura 42. Bastidor.....	54
Figura 43. Bastidor del mecanismo de elevación.....	55
Figura 44. Ejes de transmisión horizontales para los engranes.....	55
Figura 45. Eje vertical.....	56
Figura 46. Guía de eje.....	56
Figura 47. Deposito contenedor de suelo.....	57
Figura 48. Base del motor eléctrico	57
Figura 49. Guías de bloqueo del depósito contenedor de suelo	58
Figura 50. Manijas de bloqueo.....	58

Figura 51. Acople para cuchillas italianas	58
Figura 52. Acople para cuchillas colombianas	59
Figura 53. Acople para cuchillas chinas	59
Figura 54. Acople para cuchillas Artesanales	59
Figura 55. Acople para disco de rastra.....	60
Figura 56. Ensamble total	61
Figura 57. Equipo de protección personal	64

SIMBOLOGÍA

W	Peso
m	Masa
g	Gravedad
F_{RE}	Fuerza de rozamiento estático
$F_{RE \text{ MAX}}$	Fuerza de rozamiento estático máximo
μ_e	Coefficiente de rozamiento estático
N	Fuerza normal
F	Fuerza necesaria para tirar del arado
μ	Resistencia específica del terreno
S	Sección de la labor
n	Numero de cuerpos del arado
a	Anchura de cada cuerpo
p	Profundidad del trabajo
μ_o	Resistencia específica del suelo estática
λ	Parámetro que depende del tipo de suelo
v	Velocidad
St	Rendimiento teórico
Se	Capacidad de trabajo efectivo
n_e	Rendimiento efectivo
R_x	Reacción en el eje x
R_y	Reacción en el eje y
R_z	Reacción en el eje z
σ_a	Esfuerzo axial
σ_f	Esfuerzo flector
mf	Momento flector
T	Torque
τ_c	Esfuerzo cortante
τ_T	Esfuerzo de torque
S_y	Resistencia a la fluencia
S_{ut}	Resistencia a la fluencia última
n	Factor de seguridad
d	Diametro

<i>De</i>	Diámetro exterior
<i>Dp</i>	Diámetro primitivo
<i>Di</i>	Diámetro interior
<i>Z</i>	Número de dientes
<i>P</i>	Paso
<i>m</i>	Módulo
<i>h</i>	Altura de diente
<i>e</i>	Espesor del diente
<i>hc</i>	Altura de la cabeza del diente
<i>hp</i>	Altura del pie del diente
<i>B</i>	Anchura del diente

LISTA DE ABREVIACIONES

SAT	Soil abrasion test (Test de abrasión del suelo)
ASTM	American Society of the International Association for Testing and Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales)
ASABE	American Society of Agriculture and Biological Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y Biológicos)
ANSI	American National Standards Institute
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)
SMI	Servicio de Mantenimiento Industrial
CAD	Computer Aided design (Diseño asistido por computadora)
CAE	Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por computadora)
MEF	Método de Elementos Finitos.
TDF	Toma de fuerza.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.

Ensayos SAT

RESUMEN

Diseñar y construir una máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola mediante ensayo SAT para el laboratorio de maquinaria agrícola de la carrera de ingeniería automotriz, para determinar experimentalmente el desgaste producido ya sea en los discos de rastra o en la cuchillas del rotavator, con el fin de determinar qué tipo de suelo produce mayor desgaste abrasivo a estas herramientas de labranza, con la finalidad de garantizar la calidad del material que es utilizado para la fabricación de estos aperos. La metodología aplicada en esta propuesta tecnológica se apoya en el cálculo matemático y uso de software para el diseño considerando parámetros establecidos como son: potencia, velocidad, humedad, y el tipo de suelo, así también la selección adecuada de alternativas para la construcción de la máquina. El ensayo de abrasión consiste en ocasionar el desgaste mediante la variación de velocidad de giro de un eje, en el mismo se acoplan los discos de rastra y las cuchillas de rotavator, también se variara los tipos de suelos, para deducir que suelo ocasiona el mayor desgaste en estas herramientas de labranza agrícola, de igual manera se modificara la humedad del tipo de suelo, la misma que será medida con un higrómetro para de esta manera simular distintas condiciones climáticas. Los resultados obtenidos se presentan por fases es así que en la fase de diseño se desarrollaron los planos de la máquina, selección de los materiales para su construcción, y las pruebas de funcionamiento. Se llegó con satisfacción a obtener un diseño real en el software Solidworks, el software Ansys fue de vital importancia para determinar el factor de seguridad. Al manipular la máquina usar el equipo de protección personal que consta de casco, guantes, gafas, mascarilla y mandil, antes y durante los ensayos a realizarse.

PALABRAS CLAVE: <TEST DE ABRASIÓN DEL SUELO (SAT)>, <HIGRÓMETRO>, <APERO DE LABRANZA>, <DESGASTE ABRASIVO>, <ROTAVATOR (MAQUINA AGRÍCOLA)>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS>, <TECNOLOGÍA DEL DISEÑO>.

ABSTRACT

Design and build an accelerated wear machine for agricultural implements by means of SAT test for the agricultural machinery laboratory of the automotive engineering study, to experimentally determine the wear and tear produce on the rotor discs or on the rotavator blades, in order to determine the type of soil that produces the most abrasive wear to these tillage tools, in order to guarantee the quality of the material that is used for the manufacture of these implements. The methodology applied in this technological proposal is supported by the mathematical calculation and use of software for the design considering parameters established as: power, speed, humidity, and soil type, as well as the appropriate selection of alternatives for the construction of the machine. The abrasion test is to cause wear by varying the speed of rotation of an axis, in the same dovetail discs and rotavator blades, also vary the soil types, to deduce which soil causes the greatest wear on these agricultural tillage tools, in the same way, the type of soil will be modified, which will be measured with a hygrometer to simulate different climatic conditions. The results obtained are presented in phases so in the design phase the machine plans, the selection of the materials for its construction, and the functional tests were developed. It was arrived with satisfaction to obtain a real design in the software Solidworks, the software Ansys was of vital importance to determine the factor of security. When handling the machine, wear personal protective equipment consisting of a helmet, gloves, goggles, mask and apron before and during the tests to be performed.

KEY WORDS: <SOIL ABRASION TEST (SAT)>, <HYGROMETER>, <TILLAGE EQUIPMENT>, <ABRASIVE WEAR>, <ROTAVATOR (AGRICULRURAL MACHINE)>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <MACHINERY AND TOOLS>, <DESIGN TECHNOLOGY>.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Desde los inicios de la agricultura, la preparación del terreno ha sido primordial para el desarrollo de la humanidad, el instrumento para esta importante labor es el apero de labranza el mismo que se utiliza para diversos fines, ya sea para arar, rastrar, regeneración de capas de suelos y muchos otros usos.

Los aperos de labranza agrícola son herramientas mediante la cual se realiza el desgarrar del suelo para diferentes fines, aprovechando la fuerza motriz del tractor que los arrastra existen varios tipos de aperos agrícolas como los arados, rastras de disco, y los rotocultores, este último es aplicado para el esponjamiento del suelo y la preparación rápida del mismo.

Teniendo en cuenta que la facultad de mecánica ya consta con una máquina de desgaste abrasivo para aceros y adoquines, y también a través de tesis de grado se han diseñado y construido varios tipos de máquinas de desgaste abrasivo, por lo que existe la experiencia en este tema, para construir otros tipos de máquinas de desgaste por abrasión.

1.2 Planteamiento del problema

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, no cuenta con una máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola mediante ensayo SAT, para el laboratorio de maquinaria agrícola de la carrera, para realizar los ensayos de prácticas para los estudiantes que cursan la materia de maquinaria pesada, de esta forma se facilitara el entendimiento y comprensión de cómo trabajan los aperos en una forma real.

1.3 Justificación

En el Ecuador existen varias empresas que se dedican a la construcción de aperos agrícolas de labranza las cuales están expuestas al desgaste en el trabajo, por lo que deben garantizar su durabilidad mediante ensayos de desgaste. Existen máquinas de desgaste para acero, y hormigón en las que se han realizado ensayos de abrasión a lo largo de los años en condiciones limitadas.

Con diseño y construcción de una máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola mediante ensayo SAT, para el laboratorio de maquinaria agrícola de la carrera de ingeniería automotriz.

Se determinara que tipo de terreno produce mayor desgaste a los aperos de labranza agrícola, de igual manera se incrementara la humedad de acuerdo a la necesidad del ensayo a realizarse.

Los ensayos de desgaste para los discos y cuchillas se basan en el principio básico, de girar un eje donde estén anclados previamente las cuchillas de labranza o los discos, la cual estará girando a los rpm (revoluciones por minuto) designados, el mismo que girara en el interior de un cilindro que contiene el tipo de suelo seleccionado para él ensayo, de la misma manera se podrá variar la humedad para de esta forma simular diversas condiciones climáticas.

Cuando dos superficies solidas entran en contacto directo y con movimiento relativo uno con respecto del otro se produce un desgaste o abrasión, este efecto puede incidir en la pérdida de material en el área de contacto, y afecta el costo por mantenimiento de equipo y maquinarias agrícolas. Cave recalcar que la fuerza necesaria para producir este desgaste es una medida de la fricción la cual está en dirección opuesta al movimiento de las superficies. (Alexander, 2016)

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola mediante ensayo SAT para el laboratorio de maquinaria agrícola de la carrera de ingeniería automotriz.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar una máquina de desgaste acelerado mediante la utilización del software “SolidWorks” y “Ansys”, para obtener resultados auténticos del modelado, fuerzas, momentos, y deformaciones.
- Construir la máquina de ensayos de desgaste acelerado con la utilización de herramientas y maquinas adecuadas, para su aplicación en el desarrollo e investigación en el mejoramiento de los materiales para la construcción de aperos de labranza agrícola.
- Determinar el desgaste en las cuchillas y discos de rastra, por medio de la utilización de diferentes tipos de suelos, de esta manera se obtendrá el grado de desgaste, de los mismos.
- Conocer como la humedad influye en el desgaste de los aperos de labranza agrícola, mediante la ayuda de un higrómetro, para determinar si es factible o no trabajar en determinadas condiciones climáticas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Tribología

La tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste. (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

Una mayor productividad de los equipos se logra si se reduce al máximo la fricción de sus diferentes mecanismos. Es así como hoy en día, la lubricación no se considera una ciencia aislada, sino que está íntimamente relacionada con la fricción, con el desgaste, con los materiales empleados en la fabricación de los equipos, con su diseño con su operación y con la calidad de su mantenimiento. Todos estos se resumen en lo que se conoce como tribología, ciencia relacionada en principio solo con la fricción (tribos = fricción, logos = tratado) y en la actualidad extendida a todos los fenómenos que limitan la vida de los equipos. (Albarracín Aguillon, 2000 pág. 25)

2.1.1 Aplicaciones

La Tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son:

- Rodamientos.
- Frenos.
- Embragues.
- Sellos.
- Anillos de pistones.
- Engranajes y
- Levas. (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

Las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos, son:

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento)
- Turbinas.
- Extrusión.
- Rolado.
- Fundición

- Forja.
- Procesos de corte (herramientas y fluidos).
- Elementos de almacenamiento magnético.
- Prótesis articulares (cuerpo humano). (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

La aplicación de los conocimientos tribológicos en estas prácticas deriva en:

- Ahorro de materias primas.
- Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria.
- Ahorro de recursos naturales.
- Ahorro de energía.
- Protección al medio ambiente.
- Ahorro económico. (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

2.2 Fricción

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Las fuerzas de fricción son importantes en la vida cotidiana ya que nos permiten caminar y correr. Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo. (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

2.2.1 Tipos de rozamiento

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al deslizamiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción dinámica) o la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). (Alfaro, 2013)

2.2.1.1 Fuerza de rozamiento estática

Es la fuerza de rozamiento entre dos objetos que no están en movimiento relativo. Como se ve en la figura 1, la fuerza F aplicada sobre el bloque de peso $W = mg$ aumenta gradualmente, pero el bloque permanece en reposo. Como la aceleración es cero la fuerza aplicada es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento estático F_e . (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

$$W = m \cdot g$$

(1)

Donde:

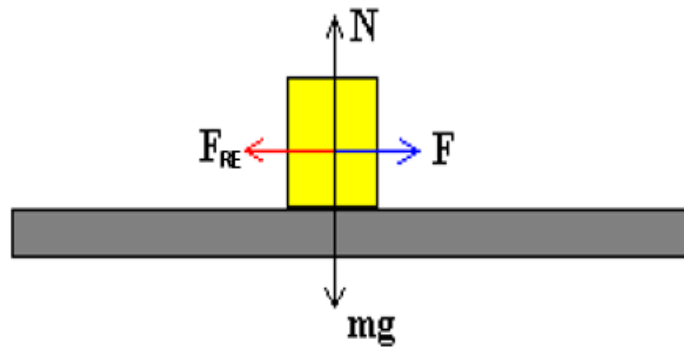
W =Peso.

m = Masa.

g = Gravedad.

$F = F_{RE}$

Figura 1. Creación de la fuerza de fricción



Fuente: (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

Existe un valor de fuerza de rozamiento estático máximo a partir del cual cualquier aumento en la fuerza aplicada pone en movimiento al cuerpo. Se denomina fuerza de rozamiento estático máxima y depende de la normal y de un número denominado coeficiente de rozamiento estático (μ_e). (Práctica, 2007)

$$F_{RE} = -F$$

$$F_{RE \text{ MAX}} = \mu_e \cdot N$$

(2)

Donde:

F_{RE} = Fuerza de rozamiento estatico

$F_{RE \text{ MAX}}$ = Fuerza de rozamiento estático máximo.

μ_e = Coeficiente de rozamiento estático.

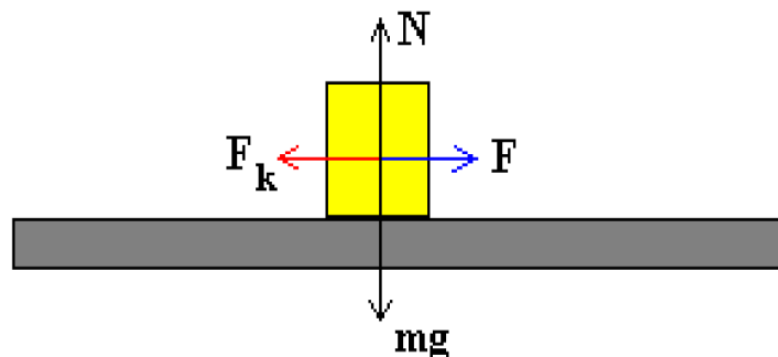
N = Fuerza normal.

F = Fuerza.

2.2.1.2 Fuerza de rozamiento cinético

En la figura 2, se muestra un bloque arrastrado por una fuerza F horizontal. Sobre el bloque actúan el peso (mg), la fuerza normal N que es igual al peso, y la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual se desliza. Si el bloque se desliza con velocidad constante la fuerza aplicada F será igual a la fuerza de rozamiento F_k . (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

Figura 2. Fuerza de rozamiento cinético



Fuente: (Díaz del Castillo Rodríguez, 2014)

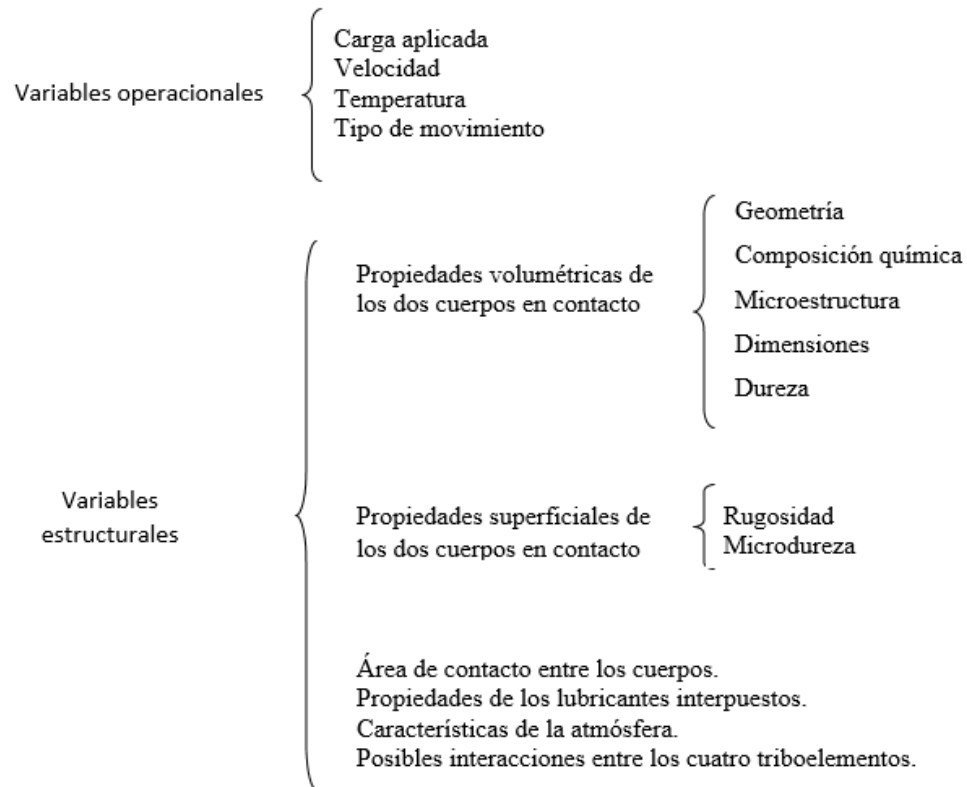
2.3 Desgaste

El desgaste se define como la remoción progresiva de material de la superficie de un cuerpo en contacto con otro cuerpo y en movimiento relativo con respecto a este. También se expresa como el peso o volumen perdido por unidad de deslizamiento. El desgaste es un valor que se debe cuantificar en todo fenómeno tribológico, ya que debido al mismo se estima que existe una pérdida de entre 6 % y 7 % del precio interno bruto de un país. De ahí parte la importancia del desgaste y del control de sus efectos. Resulta menos costoso el diseño de equipos y sus partes, de mayor resistencia al desgaste, que el reemplazo de estos por poseer una corta vida útil. (Potenza Mora, 2004)

La evaluación de la resistencia al desgaste ha sido tradicionalmente utilizada por los ingenieros de materiales con el objeto de optimizar la selección de materiales o mejorar su desempeño para una aplicación específica. El desgaste trae como consecuencia: la reducción de la eficacia de operación, pérdida de potencia por fricción, incremento del consumo de lubricantes, conduce eventualmente al reemplazo de componentes desgastados y a la obsolescencia de las máquinas en

su totalidad. Los factores que influyen en el desgaste se encuentran resumidos en el diagrama de la figura 3: (Potenza Mora, 2004)

Figura 3. Factores que influyen en el desgaste de los materiales



Fuente: (Potenza Mora, 2004)

2.4 Abrasión

La abrasión según la ASTM, (American Society Testing Materials) es debida a partículas o protuberancias duras que se ven forzadas unas contra otras y se mueven a lo largo de una superficie sólida y se define como el daño a una superficie sólida que generalmente involucra una progresiva pérdida de material y es debido al movimiento relativo entre la superficie y una o varias sustancias en contacto. (Potenza Mora, 2004)

La velocidad de abrasión depende de cuatro factores:

- La característica de cada una de las superficies.
- La presencia de abrasivos entre ellas.
- La velocidad de contacto.
- Condiciones de contacto. (Potenza Mora, 2004)

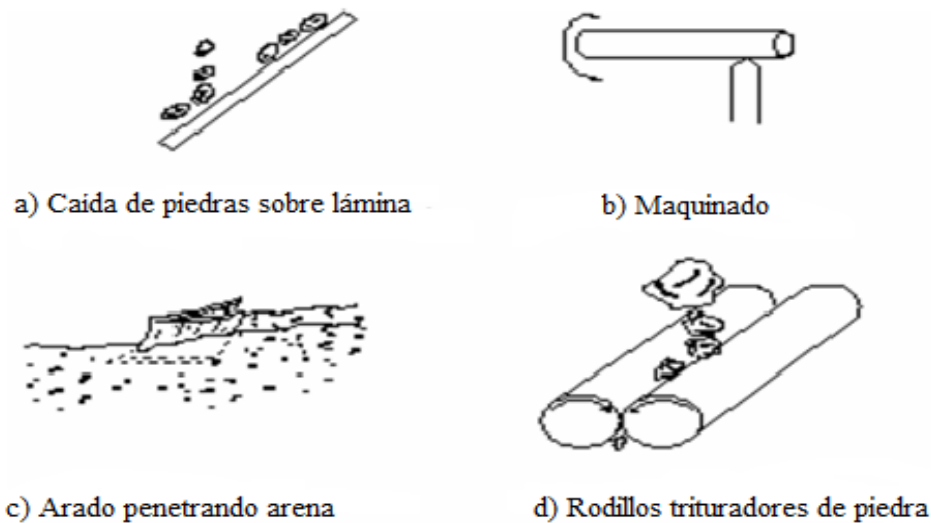
La abrasión se categoriza típicamente de acuerdo al tipo de contacto, como también con el contacto con el ambiente. Los tipos de contacto incluyen:

- Desgaste de dos cuerpos: ocurre cuando un abrasivo se desliza a lo largo de una superficie, donde el material más duro desprende material del más blando.
- Desgaste tres cuerpos: ocurre cuando un abrasivo es atrapado entre dos superficies, donde el tercer elemento (usualmente partículas duras) se ubica entre las dos superficies deslizantes, incrustándose en una y desprendiendo material en la otra.

La clasificación debido al ambiente de contacto es como sigue (Ver figura 4):

- Abiertos.
- Cerrados. (Potenza Mora, 2004)

Figura 4. Tipos de contacto durante el desgaste abrasivo. a) Abierto de dos cuerpos, b) Cerrado de dos cuerpos, c) Abierto de tres cuerpos, d) Cerrado de tres cuerpos



Fuente: (Potenza Mora, 2004)

La abrasión es adicional y frecuentemente categorizada como de baja presión o alta presión.

La abrasión de baja presión ocurre cuando el abrasivo queda relativamente intacto y la abrasión de alta presión existe cuando las partículas abrasivas son fracturadas. (Potenza Mora, 2004)

2.4.1 Elementos de control de la abrasión

En resumen los factores importantes que hacen disminuir la abrasión son los siguientes:

- Aumento de dureza.
- Aumento del contenido de carbono y de carburos duros.
- Control de la relación entre la dureza de la superficie y del abrasivo.
- Disminución del tamaño de las partículas abrasivas.
- Forma de partículas abrasivas redondeadas.
- Disminución de velocidades.
- Disminución de cargas. (Potenza Mora, 2004)

2.4.2 Efecto de las propiedades del material sobre el desgaste abrasivo

El ambiente afecta el desgaste al igual que las propiedades de un material. Como ya se dijo antes, la velocidad de pérdidas por abrasión no son intrínsecas del material. (Potenza Mora, 2004)

Los factores ambientales que afectan las pérdidas abrasivas incluyen pero no están limitadas a: el tipo de abrasivo y sus características, temperatura, velocidad de contacto, carga unitaria del abrasivo sobre el material, humedad y efectos corrosivos. (Potenza Mora, 2004)

2.5 Aperos de labranza agrícola

2.5.1 Laboreo del terreno

El laboreo se define como la modificación del estado estructural del suelo mediante la aplicación de acciones de origen mecánico llevadas a cabo por los aperos de labranza. Con ello se pretende crear un medio adecuado para el nacimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 27)

2.5.2 Efecto de los aperos en el suelo.

El perfil del terreno es modificado por los aperos, pudiendo sus elementos verse afectados en las formas siguientes: (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 28)

a) Mullido

El mullido consiste en disgregar el suelo creando agregados y tierra fina, para aumentar la penetración de aire y agua a las capas inferiores y facilitar el desarrollo radicular. Si nos limitamos a las acciones de tipo mecánico, el mullido es el resultado de una serie de formas elementales de fragmentación como son: (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 28)

Fisuración: Se manifiesta oblicuamente y delante de la herramienta de trabajo. En teoría, las fisuras se forman a intervalos regulares. Esta característica podemos observarla en los arados de

vertedera, y aperos de labranza vertical. No obstante, la formación y orientación de las fisuras viene condicionada por la variabilidad estructural. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 28)

La humedad: Constituye un factor importante en la formación de fisuras. En terrenos secos y compactados se forma un pequeño número de fisuras grandes que surgen en las zonas de menor resistencia, dando lugar a bloques de tierra o terrones de considerable tamaño. A medida que la humedad aumenta, la cohesión se reduce y con ello la resistencia interna del suelo. Por ello, cerca del límite plástico, la formación es máxima, aumentando la disgregación. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 28)

Corte: Es la fragmentación del suelo donde la zona opera la herramienta de trabajo. Dicho efecto es característico de los aperos accionados que trabajan con cuchillas, tipo fresadora, si bien la rotura en este caso viene también asociada al impacto. El corte es característico asimismo de los arados de vertedera, siendo realizado por la cuchilla y la reja, la cual ejerce otra serie de efectos adicionales sobre el suelo que producen su fragmentación inicial. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 28)

Impacto: El impacto es la aplicación instantánea de una determinada carga sobre los agregados. Para que el impacto sea eficaz, dichos agregados han de tener una consistencia frágil. Los equipos accionados por la toma de fuerza son los que producen este tipo de rotura en el suelo. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

Compresión: Para que se produzca la rotura por compresión es necesario que la humedad sea inferior a la del límite plástico, de lo contrario corre el riesgo de formar una capa compacta que dificulta la emergencia de las plantas. Los rodillos son los aperos más representativos de este modo de acción sobre el suelo. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

Fricción: La rotura por fricción se produce cuando los agregados se deslizan entre sí, o bien contra la herramienta de trabajo. El resultado es una reducción de su volumen y una producción de tierra suelta que se desprende en la superficie. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

b) Laminación

El laminado o alisado se produce cuando la herramienta se desplaza sobre el suelo ejerciendo una acción de compresión sobre él, cuando este se encuentra en estado plástico. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

c) Volteo

Es el proceso por el cual se invierten las capas del suelo con el objetivo de enterrar la vegetación adventicia, los residuos vegetales y fertilizantes. Está asociado asimismo al fraccionamiento del suelo. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

d) Nivelación

Tiene como misión modificar el relieve del terreno formando por las labores precedentes con objeto de facilitar la correcta localización de semillas por las sembradoras. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

La nivelación se lleva a cabo desplazando las partículas del suelo sobre su superficie hasta conseguir un relieve homogéneo. Los aperos de preparación del lecho de siembra en gran medida contribuyen al efecto nivelador, No obstante, hoy día se complementan con otros, tales como rastras de uno o dos peines y los rodillos-jaula, que complementan la acción niveladora de los primeros. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

e) Localización de agregados y tierra fina

Consiste en situar las partículas del suelo en función de su grosor sobre el perfil labrado. La localización se puede llevarse a cabo de varias maneras según la forma de trabajo del apero, pero para la nascencia conviene que la tierra fina quede debajo en contacto con la semilla y los agregados más gruesos en la superficie. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

2.5.3 Clasificación de los aperos de labranza

Los aperos de labranza más utilizados en la actualidad se clasifican en: (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 29)

Tabla 1. Clasificación de los aperos de labranza más utilizados.






Profundidad de Labor	Accionamiento Elementos de Trabajo	Apero	Esquema del Apero
Muy Profunda Subsuelo (40–60) cm	Fijos	Subsolador	
		Descompactador	
Profunda Capa arable (20–35) cm	Fijos (Arados)	Vertedera	
		Disco	
		Cinzel	

Tabla 1. (Continuación) Clasificación de los aperos de labranza más utilizados.

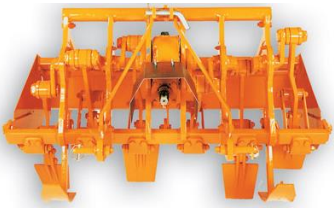











	Accionados por la tdf.	Cavadora	
Labor Superficial (5–15) cm	Fijos	Cultivador	
		Vibrocultivador	
		Rastra de púas	
	Giratorios	Grada de discos	
		Rastra de estrellas Rotativas	

Tabla 1. (Continuación) Clasificación de los aperos de labranza más utilizados.

		Rodillo	
		Rotocultor	
Labor superficial (5–15) cm	Accionadas por la tdf.	Fresadora	
		Rotocultor de formones	
		Grada rotativa	
		Grada de púas oscilantes	

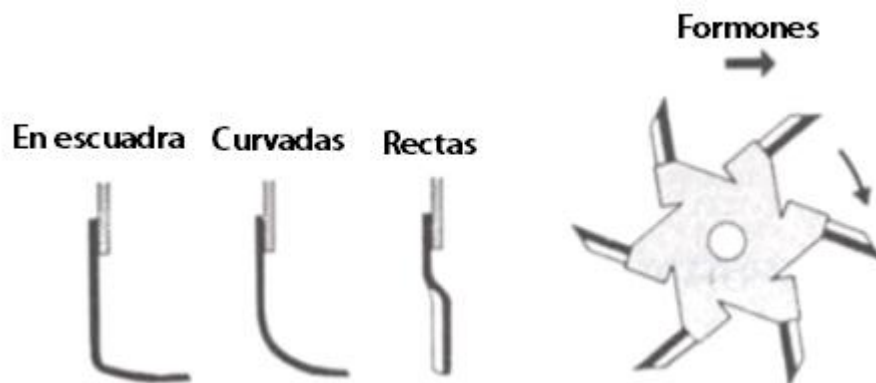
Fuente: (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 págs. 30-32)

2.6 Cuchillas utilizadas en el rotovator.

La herramienta de trabajo del rotovator son cuchillas izquierdas y derechas, entre las cuales tenemos forma de azadas en escuadras que es la más utilizada, porque realiza un trabajo mejor en la labranza además del tipo de cuchilla azada en escuadra existe las de tipo banana o en C las cuales penetran menos el suelo, las cuchillas rectas que simplemente cortan el suelo para aflojarlo o para darle oxigenación al terreno todos estos tipos de cuchilla son de fácil acople al rotovator por medio de pernos de sujeción , y por último tenemos los formones. (Aulla Caiza , y otros, 2016)

El diseño y forma determinan la cantidad de residuos de cultivo que quedan sobre la superficie y la parte que es mezclada con el suelo, cuanto más grande y más curvada en las cuchillas mayor la cantidad de residuos que es enterrada en el suelo. Las cuchillas rectas pueden ser usadas en la fase de transición para romper suelos severamente degradados y sin estructura antes de que esta comience a recuperarse. (Aulla Caiza , y otros, 2016)

Figura 5. Tipos de cuchillas



Fuente: (Aulla Caiza , y otros, 2016)

2.7 Rastras de disco

Son usadas para labranza secundaria y preparación de tierras, labranza de rastrojos, control de maleza, descompactar superficialmente, etc. (Volkswagen, 2012)

Los discos de las rastras, cualquiera sea el número están montados sobre un eje y se mantienen equidistante entre sí por separadores que se adaptan a la curvatura del disco, todo el conjunto es mantenido rígido por ajuste y gira solidario, para ello el eje es cuadrado y el agujero en el disco de la misma forma. (Volkswagen, 2012)

La penetrabilidad de las rastras está determinada por:

- Peso de la rastra.
- Diámetro de los discos y su concavidad.
- Velocidad de trabajo. A menor velocidad, mayor penetración.
- Ángulo entre los cuerpos. (Volkswagen, 2012)

2.7.1 Disposición de los cuerpos

2.7.1.1 Las de simple acción.

Los cuerpos están dispuestos en forma de “V”. Trabajan el suelo solo una vez por pasada. Los discos se oponen por sus lados convexos equilibrando las fuerzas oponentes entre los mismos. (Almaraz, 2014)

2.7.1.2 Doble acción o de tándem.

Trabajan el suelo dos veces por cada pasada. Provistas de cuatro cuerpos a forma de “X”. Los dos cuerpos delanteros trabajan el suelo hacia afuera, mientras que los dos traseros lo trabajan hacia el interior. En este tipo de implemento agrícola, queda una faja en el centro sin labrar, esto se puede evitar descentrando los cuerpos delanteros y traseros o incorporando otro brazo que trabaje el camellón. (Almaraz, 2014)

2.7.1.3 Rastras excéntricas (offset) o tiro desplazado.

Consta de dos cuerpos en forma de “V”. El peso y el ángulo de ataque del implemento, son decisivos en la profundidad de trabajo. La línea de trabajo delantera, sus discos trabajan hacia la derecha, mientras que la línea trasera lo hace a la inversa. A consecuencia de las fuerzas de resistencia que ofrece el propio suelo, la línea de tiro ha de estar desplazada hacia la izquierda de la rastra de discos. (Almaraz, 2014)

2.8 Energía consumida al labrar

La energía consumida al labrar depende fundamentalmente de la resistencia específica del terreno μ que es igual a la fuerza necesaria para tirar del arado F dividida por la sección de la labor S . (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 52)

$$F = \mu \cdot s$$

(3)

En un apero la sección de trabajo es:

$$S = n \cdot a \cdot p \quad (4)$$

Siendo n el número de cuerpos del arado, a la anchura de cada cuerpo y p la profundidad del trabajo. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 52)

La resistencia específica depende del tipo de suelo y también de la velocidad de trabajo. Según ASABE, los valores medios de la resistencia específica para distintos suelos son:

Tabla 2. Valores medios de la resistencia específica para distintos suelos

Arcillo-limonoso	$\mu = 7 + 0.049 v^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0.049 v^2$
Franco-arcillo-limonoso	$\mu = 4.8 + 0.024 v^2$
Franco	$\mu = 3 + 0.020 v^2$
Limo-arenoso	$\mu = 3 + 0.032 v^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2.8 + 0.013 v^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0.013 v^2$

Fuente: (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 53)

Las unidades en las que se expresa la resistencia específica es N/cm^2 . (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 53)

Esta fórmula ($\mu = \mu_o + \lambda \cdot v^2$) se debe al físico ruso Gorjatschki, en la que μ_o es la resistencia específica del terreno estática y λ es un parámetro dependiendo ambos del tipo de suelo y para μ en N/cm^2 , la velocidad v viene expresada en km/h. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 53)

2.8.1 Rendimiento teórico (St)

Se realiza en una máquina cuando comienza a funcionar en las labores de campo sin ningún tipo de interrupción, con una velocidad uniforme de trabajo v , y cubriendo siempre la totalidad de la anchura teórica de trabajo a . Está expresada en hectáreas por hora ($\frac{ha}{h}$) para las máquinas de campo, también se expresa en toneladas por hora, para máquinas cosechadoras, de carga, etc. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 21)

$$St = \frac{a \cdot v}{10}$$

(5)

2.8.2 Capacidad de trabajo efectiva (Se).

Esta es menor en la utilización práctica de las máquinas, debido a los tiempos gastados en las vueltas que se realizan en las cabeceras, recubrimiento, carga y descarga de productos. El coeficiente entre la capacidad de trabajo efectiva Se, y la capacidad de trabajo teórica St, nos da un rendimiento efectivo de campo. (Ortiz Cañavate, y otros, 2012 pág. 22)

$$\eta_e = \frac{S_e}{S_t}$$

(6)

2.9 El suelo.

2.9.1 Formación del suelo.

Los procesos biológicos combinados con los procesos físicos y químicos en cada lugar y región climática forman el suelo. Una vez formados, los suelos cambian y se desarrollan debido a éstos y otros procesos biológicos, físicos y químicos. Con variaciones en la pendiente, climas y tipos de cubierta vegetal, muchos suelos diferentes pueden formarse en una posición cerca de cualquier otro, aunque el material parental puede ser bastante similar. (Analuiza Hidalgo, y otros, 2016)

2.9.2 Principales tipos de suelos.

Entre los principales tipos de suelo tenemos:

Arenoso: La arena representa más del 70 por ciento de la fracción sólida del suelo. En este grupo se reconoce las texturas arenosas y arenosas-francosa. (Analuiza Hidalgo, y otros, 2016)

Arcillosos: Los suelos de este grupo poseen mínimo 35 por ciento de arcilla y en la mayoría de los casos más de 40 por ciento. Las texturas arcilloso-arenosos, arcilloso-limoso y arcilloso, son típicas de este grupo de suelos. (Analuiza Hidalgo, y otros, 2016)

Franco: Un suelo franco ideal podría ser definido como una mezcla de arena, limo y arcilla; pero las propiedades que estas fracciones ofrecen al suelo son aproximadamente iguales. En este grupo hay 6 clases texturales, y la mayoría de los suelos de importancia agrícola normalmente pertenece a este grupo de textural. (Analuiza Hidalgo, y otros, 2016)

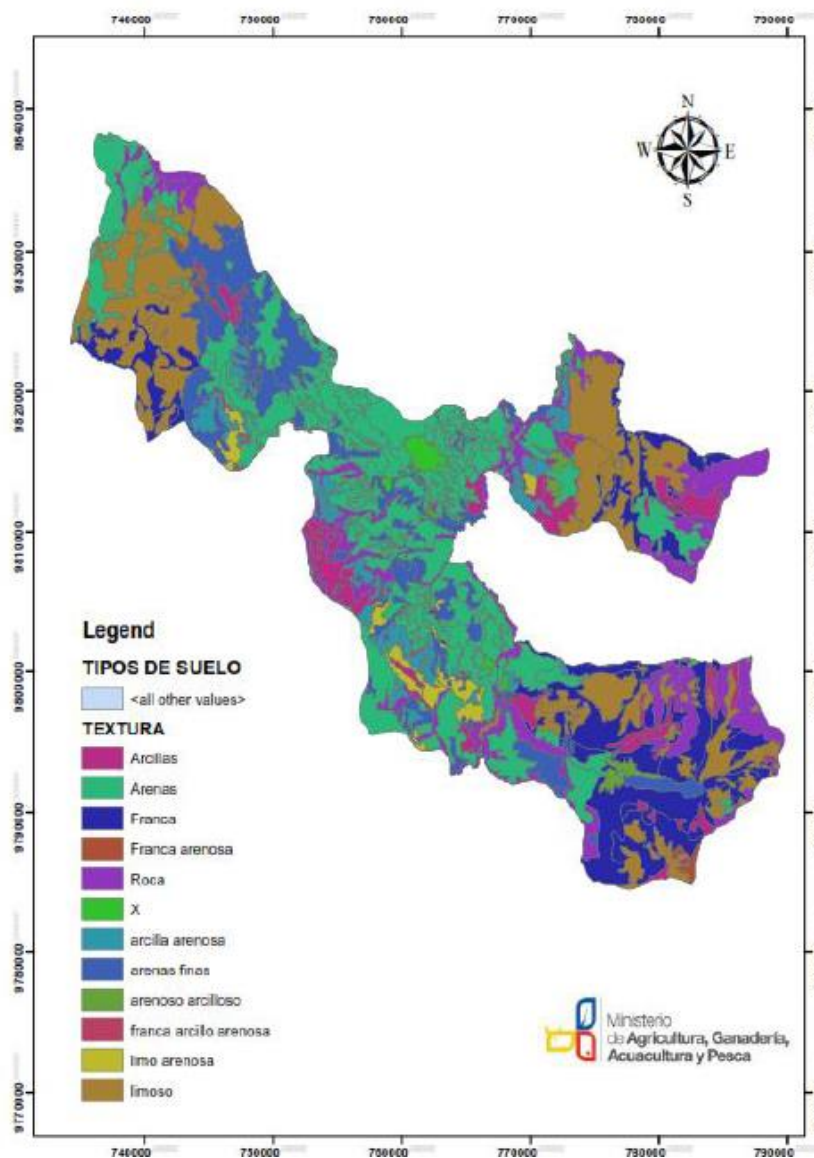
Figura 6. Tipos de suelo



Fuente: (Analuiza Hidalgo, y otros, 2016)

2.9.3 *Mapa de texturas de suelo del cantón Riobamba*

Figura 7. Texturas de suelo



Fuente: MAGAP

2.10 Máquinas de desgaste

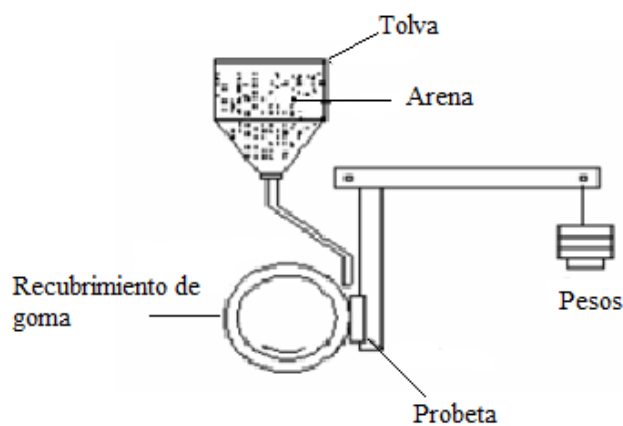
2.10.1 Ensayos de desgaste abrasivo normalizados

Existen varios ensayos según la ASTM que determinan la resistencia de un material frente al desgaste abrasivo, entre estos se encuentra: (Potenza Mora, 2004)

2.10.1.1 Norma ASTM G 65

Método estándar para la medición de la abrasión por medio de arena seca y un aparato de rueda de goma (Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus). Este ensayo consiste en desgastar una probeta con arena de sílice, la prueba consiste en hacer caer la arena entre la probeta y una rueda de goma de clorobutilo que está ejerciendo una fuerza sobre el espécimen ayudado de un brazo multiplicador de fuerzas (Ver figura 8). El desgaste se reporta en pérdida volumétrica del material ensayado (mm^3). (Potenza Mora, 2004)

Figura 8. Diagrama de la maquina según la Norma ASTM G 65.

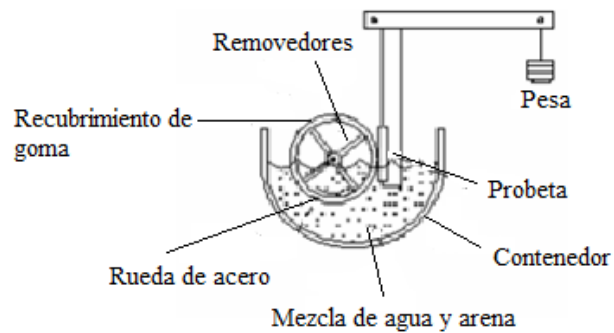


Fuente: (Potenza Mora, 2004)

2.10.1.2 Norma ASTM G 105

Método Estándar para la medición de la Abrasión por medio de arena mojada y un aparato de rueda de Goma” (Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus). Al igual que el ensayo G65, consiste en descargar una probeta con arena de sílice ayudado con una rueda recubierta con una goma, en este caso de neopreno, la particularidad de este ensayo es que la arena es húmeda, mezclada con una cantidad específica de agua y ubicada en un contenedor la cual es arrastrada por la goma, gracias al brazo multiplicador de fuerzas es empujada sobre la probeta causando de esta forma el desgaste abrasivo. Se reporta la pérdida del material en forma volumétrica (mm^3). (Potenza Mora, 2004)

Figura 9. Diagrama de la máquina según la norma ASTM G 105



Fuente: (Potenza Mora, 2004)

2.11 Componentes eléctricos.

2.11.1 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Cuenta con un rotor, según sea la constitución del motor: núcleo con cable arrollado, sin cable arrollado, monofásico, trifásico, con imanes permanentes o sin ellos; la potencia depende del calibre del alambre, las vueltas del alambre y la tensión eléctrica aplicada. (Martínez Villena, 2016)

Figura 10. Motor eléctrico



Fuente: Autores

2.11.1.1 Características Generales.

Rendimiento: es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida. Habitualmente se representa con la letra griega η . (Martínez Villena, 2016)

Velocidad de poco giro o velocidad nominal: es la velocidad angular del cigüeñal, es decir, el número de rotaciones por minuto (rpm o RPM) a las que gira. Se representa por la letra n . (Martínez Villena , 2016)

Potencia: es el trabajo que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Se mide normalmente en caballos de vapor (CV), siendo 1 CV igual a 736 vatios. (Martínez Villena , 2016)

Par motor: es el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y determina su giro. Se mide en $\text{kg}\cdot\text{m}$ (kilogramos por metro) o lo que es lo mismo newtons-metro (Nm), siendo 1 kgm igual a 9,81 Nm ($9,81 \text{ kg}\cdot\text{f}\cdot\text{m}$). (Martínez Villena , 2016)

2.11.2 Contactor electromagnético

El contactor electromagnético es un aparato mecánico de conexión controlado mediante electroimán y con funcionamiento todo o nada. Cuando la bobina del electroimán está bajo tensión, el contactor se cierra, estableciendo a través de los polos un circuito entre la red de alimentación y el receptor. (Schneider Electric España, S.A, 2005)

Figura 11. Contactor electromagnético LC1-D



Fuente: Autores

2.11.3 Variador de frecuencia

Un variador de corriente alterna (AC), es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor (AC) o de inducción. El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión alterna de la red (Monofásica o trifásica) a la frecuencia de red (50Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable. (schneider-electric., 2015)

La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia. Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par

necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento. (Schneider Electric España, S.A, 2005)

Figura 12. Variador de frecuencia SV-iG5A



Fuente: Autores

2.12 Higrómetro

Es un aparato que se utiliza para medir el grado de humedad presente en el aire, en el suelo, en las plantas o la misma humedad, dando como resultado una indicación cualitativa de la humedad presente en el ambiente en que se utiliza. Con él puede saber si la humedad del ambiente es muy alta o se encuentra en niveles moderados. (ARQHYS, 2012)

Figura 13. Higrómetro analógico



Fuente: (ARQHYS, 2012)

Algo a tomar en cuenta es que los higrómetros deben estar bien calibrados. Para ello debe realizarle un chequeo periódico, de forma que tenga la certeza de que recibe la información correcta sobre la lectura de la humedad y la temperatura. (ARQHYS, 2012)

A continuación le presentamos las características del higrómetro de absorción y el eléctrico:

- El higrómetro de absorción, trabaja con sustancias químicas higroscópicas que absorben y exhalan la humedad, dependiendo de las condiciones del lugar en que se encuentren. (ARQHYS, 2012)
- El higrómetro eléctrico, se compone de electrodos y tejidos que al recibir una tensión alterna, se calienta, evaporando parcialmente el contenido. (ARQHYS, 2012)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN

3.1 Generalidades

La abrasión se puede medir mediante una máquina que genera desgaste en diferentes materiales bajo estrictos estándares de normas internacionales, es importante determinar la cantidad de desgaste, conociendo estos resultados se puede determinar la durabilidad, resistencia y comportamiento que presentan los distintos aceros con las que son fabricadas las cuchillas y discos de labranza agrícola en condiciones de trabajo.

La máquina de abrasión permite desgastar los aperos de labranza de una manera más rápida que en la labranza tradicional, de esta manera se puede determinar la cantidad de material perdido al realizar cada uno de los ensayos de abrasión, la pérdida de masa se mide en una balanza antes durante y después de realizar cada uno de los ensayos.

3.2 Descripción del equipo

La máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola mediante ensayo SAT (test de abrasión del suelo) consta de varias partes, pero esta máquina tiene un alcance para realizar ensayos de abrasión en chuchillas de rotavator ya sean de fabricación artesanal, chinas, colombianas e italianas también se utiliza en la abrasión de los discos de rastra de un tractor tradicional, la máquina en si está conformada de la siguiente manera:

1. Estructura metálica.
2. Mecanismo de elevación.
3. Soporte del motor eléctrico.
4. Motor eléctrico trifásico de 2.5 HP
5. Eje de acoples.
6. Contenedor
7. Porta cuchillas (artesanales, chinas, colombianas e italianas).
8. Acople para disco de rastra.
9. Chuchillas de rotavator (artesanales, chinas, colombianas e italianas).
10. Disco de rastra.
11. Diferentes tipos de suelos.
12. Higrómetro.
13. Variador de frecuencia LG modelo SV-IG5A.
14. Caja de control.

15. Guías de bloqueo del depósito contenedor de suelo.
16. Manijas de bloqueo.
17. Ruedas del depósito contenedor.

3.3 Diseño de la máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola

3.3.1 Cálculo de selección del motor

Datos del motocultor YTO DF 15L:

$$a = 0.60m \text{ (ancho del apero)}$$

$$v = 1.5 \frac{km}{h} \text{ (velocidad a primera marcha)}$$

$$\eta_e = 0.85 \text{ (Rendimiento efectivo universal)}$$

$$F = 221kgf \text{ (Fuerza de tracción)}$$

3.3.1.1 Capacidad de trabajo teórico (St)

$$St = \frac{a \cdot v}{10}$$

$$St = \frac{(0.6m)(1.5km/h)}{10}$$

$$St = 0.09 \text{ ha/h}$$

3.3.1.2 Tiempo eficaz (TE)

$$TE = \frac{1}{St}$$

(7)

$$TE = \frac{1}{0.09 \text{ ha/h}}$$

$$TE = 11.11 \text{ h/ha}$$

3.3.1.3 Capacidad de trabajo efectivo (Se)

$$\frac{Se}{St} = \eta_e$$

$$Se = \eta_e(St)$$

$$Se = (0.80)(0.09)ha/h$$

$$Se = 0.072 \text{ ha/h}$$

3.3.1.4 Tiempo efectivo (t_e)

$$t_e = \frac{1}{Se}$$

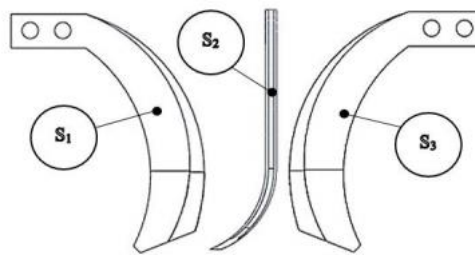
(8)

$$t_e = \frac{1}{0.072}$$

$$t_e = 13.88 \text{ h/ha}$$

3.3.1.5 Cálculo de área de contacto de la cuchilla

Figura 14. Área de contacto de cuchilla



Fuente: Autores

$$S = l * A$$

(9)

$$S_1 = l * A_1$$

$$S_1 = 19\text{cm} * 4\text{cm}$$

$$S_1 = 76\text{cm}^2 = S_3$$

$$S_2 = l * A_2$$

$$S_1 = 19\text{cm} * 0.3\text{cm}$$

$$S_1 = 5.7\text{cm}^2$$

$$St = S_1 + S_2 + S_3$$

(10)

$$St = (76 + 5.7 + 76)cm^2$$

$$St = 157.7 cm^2$$

3.3.1.6 Cálculos de resistencia del suelo.

a) Resistencia específica del suelo arenoso

$$F = \mu \cdot s$$

$$\mu = \frac{F}{s}$$

$$\mu = \frac{2168.01}{18(157.7)}$$

$$\mu = 0.76 N/cm^2$$

b) Resistencia específica de labranza del suelo arenoso

$$\mu = \mu_o + \lambda \cdot v^2$$

(11)

donde $\mu_o = \mu - \lambda \cdot v^2$

$$\mu_o = 0.76 \frac{N}{cm^2} - 0.013(1.6)^2$$

$$\mu_o = 0.73 \frac{N}{cm^2}$$

Donde $\mu = \mu_o + \lambda \cdot v^2$

$$\mu = 0.73 \frac{N}{cm^2} + 0.013(1.6)^2$$

$$\mu = 0.76 \frac{N}{cm^2}$$

$$F = \mu \cdot s$$

$$F = 0.76 \frac{N}{cm^2} (18(157.7))cm^2$$

$$F = 2157.33 N$$

c) Potencia requerida

$$N = F \cdot v$$

(12)

$$N = 2157.33 N \left(\frac{1.6}{3.6} \right) = 958.81w$$

$$958.81w = \frac{1hp}{745.7w} = 1.28 hp$$

Como la potencia requerida es de 1.28 HP, seleccionamos un motor eléctrico de 2.5 HP para compensar las pérdidas de potencia que se puedan presentar.

3.3.2 Cálculo de selección del eje de elevación

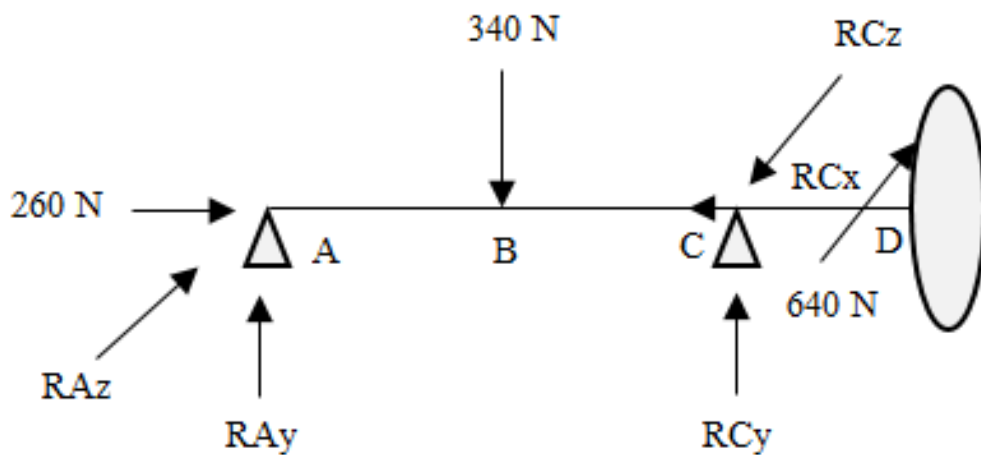
Procedemos a la ubicación de las diferentes cargas aplicadas en el eje.

Figura 15. Eje de elevación



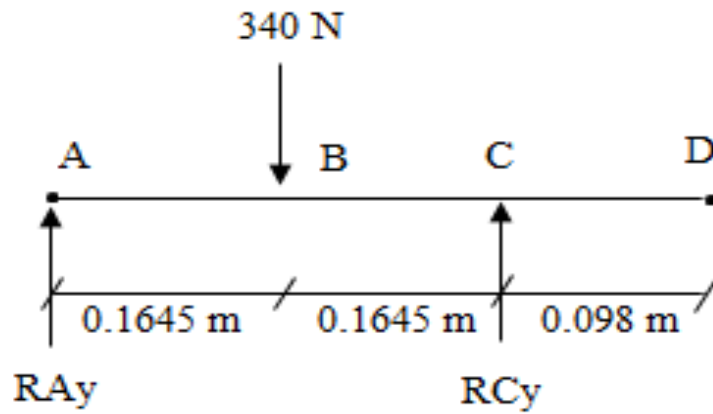
Fuente: Autores

Figura 16. Diagrama de cargas del eje de elevación



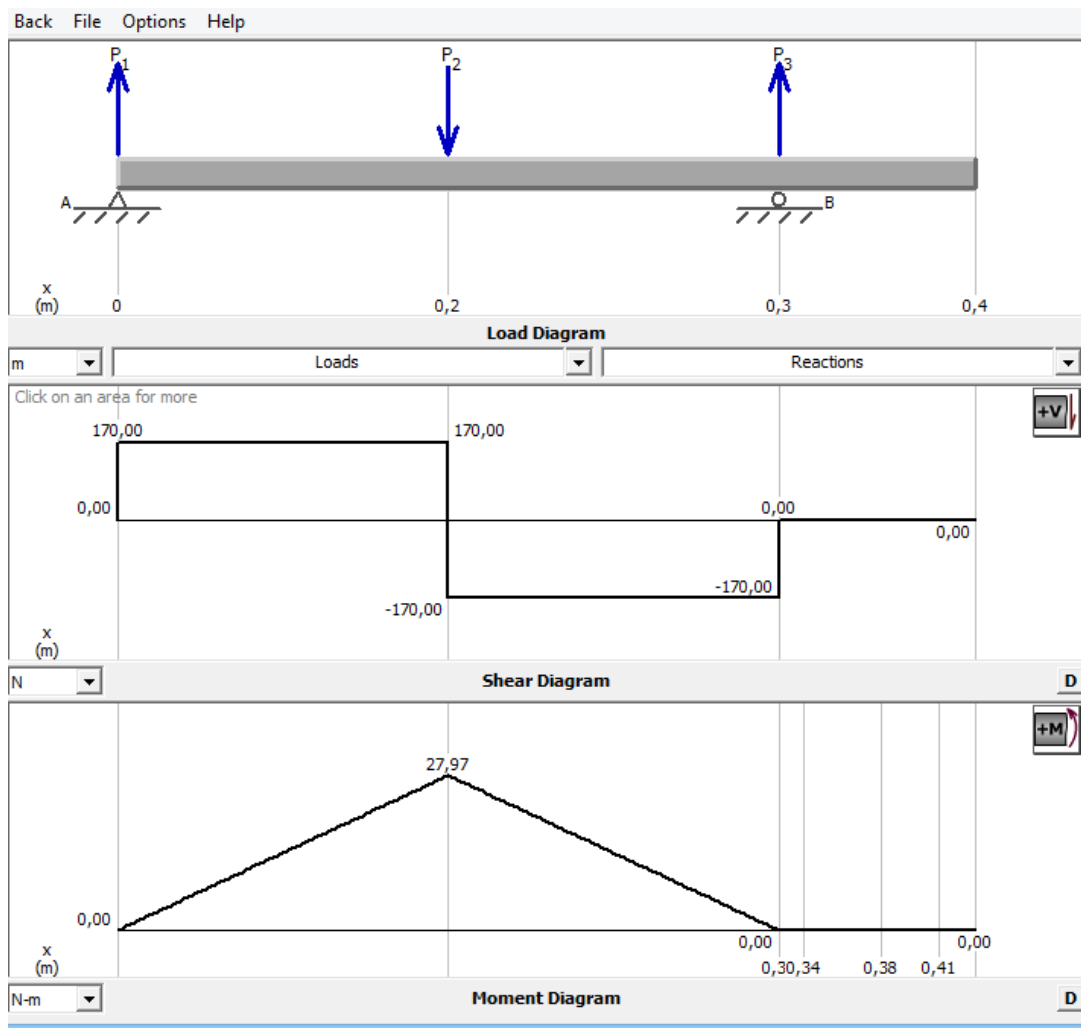
Fuente: Autores

Figura 17. Diagrama de cargas en el plano XY



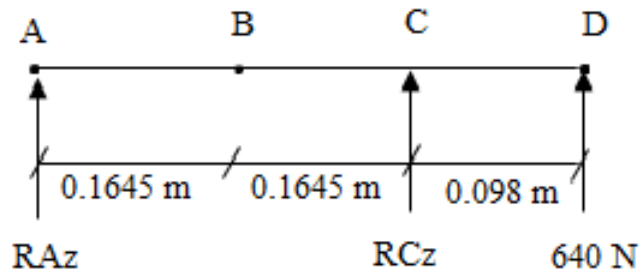
Fuente: Autores

Figura 18. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XY



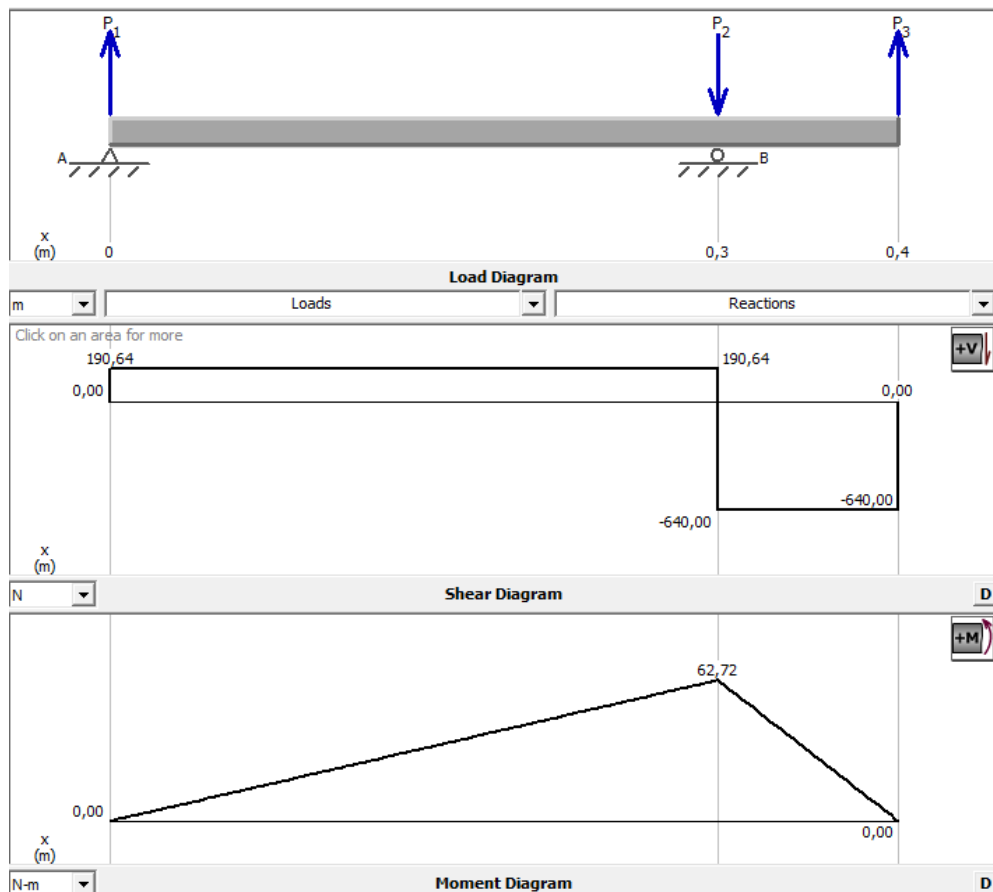
Fuente: Autores

Figura 19. Diagrama de cargas plano XZ



Fuente: Autores

Figura 20. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XZ



Fuente: Autores

Mediante el uso del software libre MDSolids se obtuvo los siguientes resultados.

Plano XY

$$R_{Ay} = 170 \text{ N}$$

$$R_{Cy} = 170 \text{ N}$$

Plano XZ

$$R_{Az} = 190.64 \text{ N}$$

$$R_{Cz} = 640 \text{ N}$$

3.3.2.1 Para el cálculo del diámetro

a) Esfuerzo axial.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{Ax} - R_{Cx} = 0$$

(13)

$$R_{Ax} = R_{Cx}$$

$$\sigma_a = \frac{4FA}{\pi d^2}$$

(14)

$$\sigma_a = \frac{4(260)}{\pi d^2}$$

$$\sigma_a = \frac{331.042}{d^2}$$

b) Esfuerzo de Flexión.

Obtenemos el esfuerzo de flexión resultante en el punto A, aplicando el teorema de Pitágoras para unir tanto el plano XY como el plano XZ.

El punto crítico es en C

$$mf = \sqrt{(XY_C)^2 + (XZ_C)^2}$$

(15)

$$mf = \sqrt{(62.71)^2}$$

$$mf = 62.71$$

$$\sigma_f = \frac{32(mf)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_f = \frac{32(62.71)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_f = \frac{638.75}{d^3}$$

c) *Esfuerzo de Corte.*

Para obtener el esfuerzo de corte se utilizó el resultado obtenido aplicando el teorema de Pitágoras en los dos planos en el punto C.

$$V_{CA} = \sqrt{(XY_C)^2 + (XZ_C)^2} \tag{16}$$

$$V_{CA} = \sqrt{(170)^2 + (640)^2}$$

$$V_{CA} = 662.19$$

$$\tau_C = \frac{V_{CA}}{\pi d^2}$$

$$\tau_C = \frac{662.19}{\pi d^2}$$

$$\tau_C = \frac{843.13}{d^2}$$

d) *Esfuerzo de Torque (cálculo del torque total).*

$$T = 640 \text{ N}(0.23 \text{ m})$$

$$T = 147.2 \text{ Nm}$$

$$\tau_T = \frac{16(T)}{\pi d^3}$$

(17)

$$\tau_T = \frac{16(147.2)}{\pi d^3}$$

$$\tau_T = \frac{749.8}{d^3}$$

Para un acero AISI 1018.

$$S_{ut} = 450 \text{ MPa}$$

$$S_y = 235 \text{ MPa}$$

e) *El esfuerzo equivalente.*

$n =$ factor de seguridad se toma valores ≥ 2.5 para diseños estáticos

$$\sigma_{equ} = \frac{S_y}{n} \quad (18)$$

$$\sigma_{equ} = \frac{S_y}{2.8}$$

$$\sigma_{equ} = \frac{235}{2.8}$$

$$\sigma_{equ} = 83.92 \text{ MPa}$$

f) *Aplicando Von Mises.*

$$\sigma_{equ} = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_f)^2 + 4(\tau_c + \tau_T)^2} \quad (19)$$

$$83.92 \times 10^6 = \sqrt{\left(\frac{331.042}{d^2} + \frac{638.75}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{843.13}{d^2} + \frac{749.68}{d^3}\right)^2}$$

$$d = 0.02605 \text{ m} = 26.05 \text{ mm}$$

Se determinó un diámetro del eje de elevación de 26.05 mm, por ende se optó por elegir un diámetro comercial de 30mm, para su fabricación.

3.3.3 *Cálculo de selección del eje de acoples.*

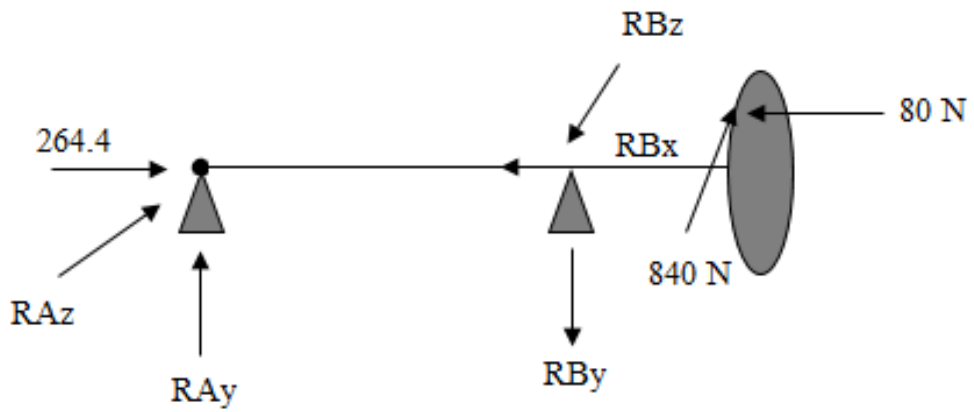
Procedemos a la ubicación de las diferentes cargas aplicadas en el eje.

Figura 21. Eje de acoples



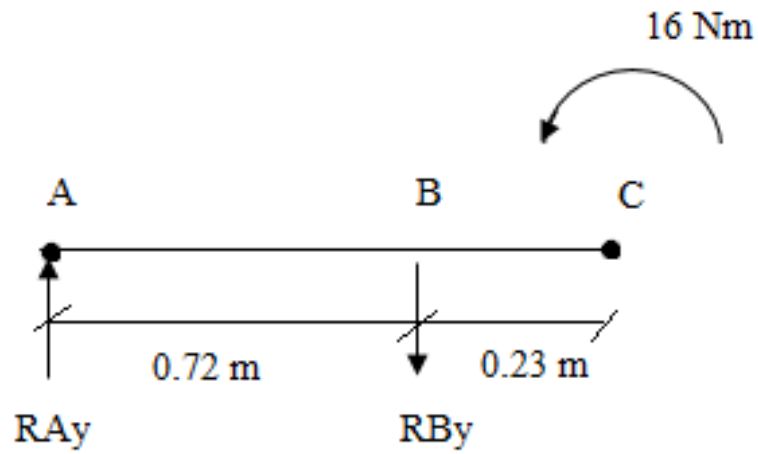
Fuente: Autores

Figura 22. Diagrama de cargas del eje de acoples



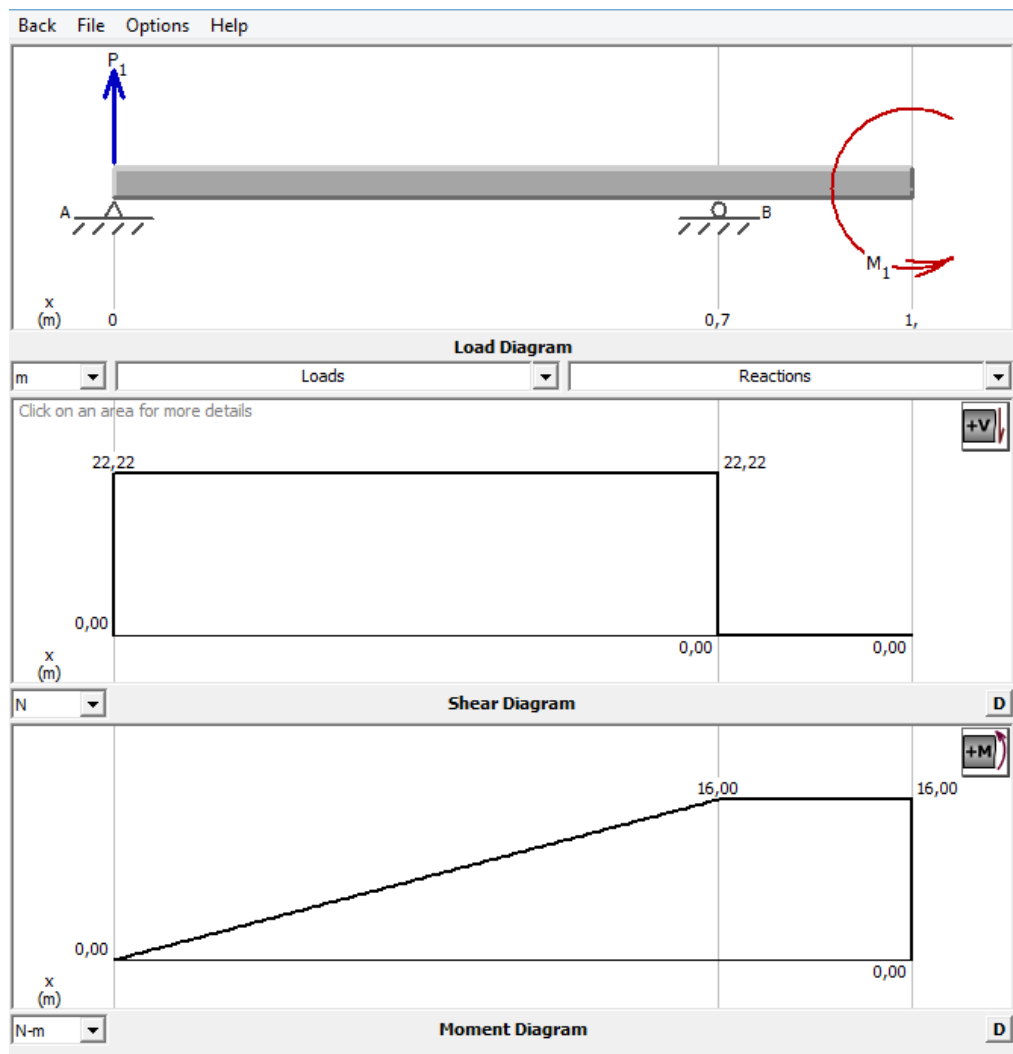
Fuente: Autores

Figura 23. Diagrama de cargas en el plano XY



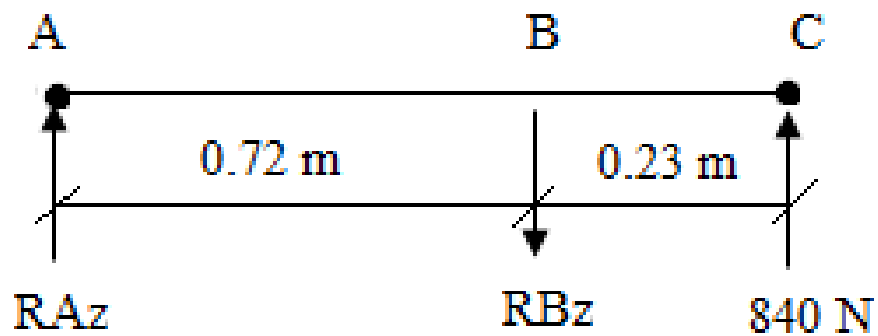
Fuente: Autores

Figura 24. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XY



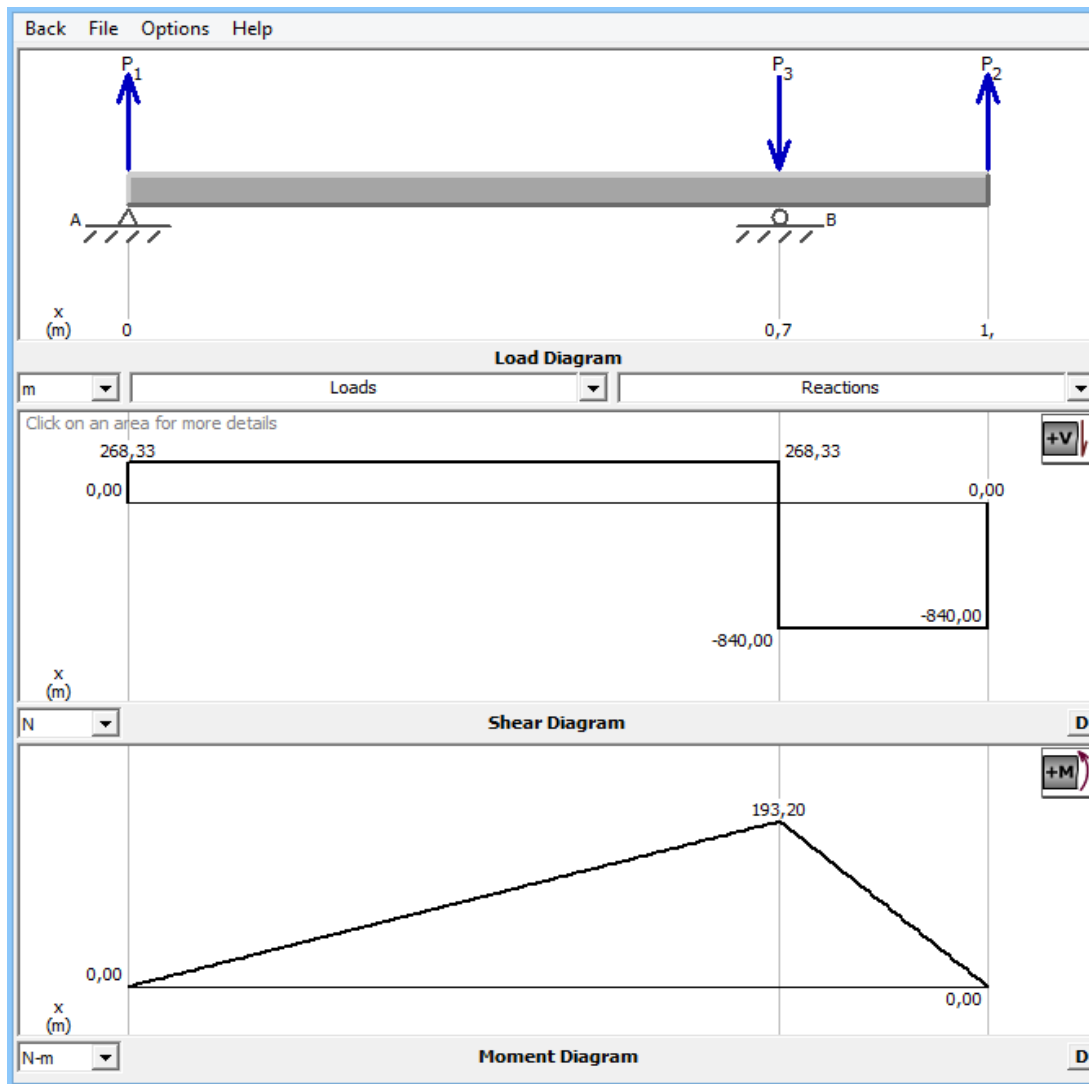
Fuente: Autores

Figura 25. Diagrama de cargas en el plano XZ



Fuente: Autores

Figura 26. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el plano XZ



Fuente: Autores

Mediante el uso del software libre MDSolids se obtuvo los siguientes resultados.

Plano XY

$$R_{Ay} = 22,22 \text{ N}$$

$$R_{By} = 22,22 \text{ N}$$

Plano XZ

$$R_{Az} = 268,33 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 1108,33 \text{ N}$$

3.3.3.1 Para el cálculo del diámetro

a) Esfuerzo axial

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{Ax} - R_{Bx} - 80 \text{ N} = 0$$

$$R_{Bx} = 184.4$$

$$\sigma_a = \frac{4FA}{\pi d^2}$$

$$\sigma_a = \frac{4(184.4)}{\pi d^2}$$

$$\sigma_a = \frac{234.78}{d^2}$$

b) Esfuerzo de Flexión

Obtenemos el esfuerzo de flexión resultante en el punto B, aplicando el teorema de Pitágoras para unir tanto el plano XY como el plano XZ.

El punto crítico es en B

$$mf = \sqrt{(XY_B)^2 + (XZ_B)^2}$$

$$mf = \sqrt{(16)^2 + (193.19)^2}$$

$$mf = 193.85$$

$$\sigma_f = \frac{32(mf)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_f = \frac{32(193.85)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_f = \frac{1974.53}{d^3}$$

c) Esfuerzo de Corte

Para obtener el esfuerzo de corte se utilizó el resultado obtenido aplicando el teorema de Pitágoras en los dos planos en el punto B.

$$V_{CA} = \sqrt{(XY_B)^2 + (XZ_B)^2}$$

$$V_{CB} = \sqrt{(22.22)^2 + (840)^2}$$

$$V_{CB} = 840.29$$

$$\tau_c = \frac{V_{CA}}{\pi d^2}$$

$$\tau_c = \frac{840.29}{\pi d^2}$$

$$\tau_c = \frac{1069.89}{d^2}$$

d) *Esfuerzo de Torque (cálculo del torque total).*

$$T = 8.16 \text{ Nm} \times 640 \text{ N}(0.23 \text{ m})$$

$$T = 176.16 \text{ Nm}$$

$$\tau_T = \frac{16(T)}{\pi d^3}$$

$$\tau_T = \frac{16(176.16)}{\pi d^3}$$

$$\tau_T = \frac{897.18}{d^3}$$

e) *Para un acero AISI 1018.*

$$S_{ut} = 450 \text{ MPa}$$

$$S_y = 235 \text{ MPa}$$

f) *El esfuerzo equivalente*

n = factor de seguridad se toma valores ≥ 2.5 para diseños estáticos

$$\sigma_{equ} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_{equ} = \frac{S_y}{2.8}$$

$$\sigma_{equ} = \frac{235}{2.8}$$

$$\sigma_{equ} = 83.92 \text{ MPa}$$

g) *Aplicando Von Mises*

$$\sigma_{equ} = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_f)^2 + 4(\tau_c + \tau_T)^2}$$

$$83.92 \times 10^6 = \sqrt{\left(\frac{234.78}{d^2} + \frac{1974.53}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{1069.89}{d^2} + \frac{897.18}{d^3}\right)^2}$$

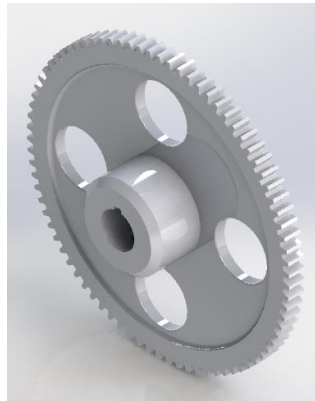
$$d = 0.03122 \text{ m} = 31.22 \text{ mm}$$

Se determinó un diámetro del eje de elevación de 31.22 mm, por ende se optó por elegir un diámetro comercial de 35mm, para su fabricación.

3.3.4 Cálculo de engranajes

3.3.4.1 Engranaje conductor

Figura 27. Engranaje conductor



Fuente: Autores

Datos:

$$De = 133 \text{ mm}$$

$$Dp = 130 \text{ mm}$$

$$Di = 127$$

$$Z = 82$$

Donde:

De = Diámetro exterior

Dp = Diámetro primitivo

Di = Diámetro interior

Z = Número de dientes

Paso (P)

$$P = \frac{\pi D p}{Z} \quad (20)$$

$$P = \frac{\pi 130 \text{ mm}}{82}$$

$$P = 4.98 \text{ mm}$$

Módulo (m)

$$m = \frac{P}{\pi} \quad (21)$$

$$m = \frac{4.98 \text{ mm}}{\pi}$$

$$m = 1.58 \text{ mm}$$

Altura de diente (h)

$$h = 2.25(m) \quad (22)$$

$$h = 2.25(1.58 \text{ mm})$$

$$h = 3.55 \text{ mm}$$

Espesor del diente (e)

$$e = 0.5(P) \quad (23)$$

$$e = 0.5(4.98 \text{ mm})$$

$$e = 2.49 \text{ mm}$$

Altura de la cabeza del diente (hc)

$$h_c = m \quad (24)$$

$$h_c = 1.58 \text{ mm}$$

Altura del pie del diente (h_p)

$$h_p = 1.25(m)$$

(25)

$$h_p = 1.25(1.58 \text{ mm})$$

$$h_p = 1.975 \text{ mm}$$

Anchura del diente (B)

$$B = m(10)$$

(26)

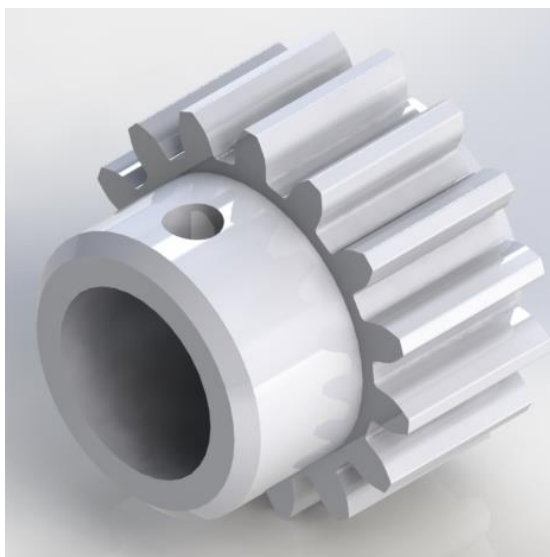
$$B = 1.58(10)$$

$$B = 15.8 \text{ mm}$$

3.3.4.2 Engrane conducido

Aplicando las fórmulas anteriores se determinó los siguientes resultados.

Figura 28. Engrane conducido



Fuente: Autores

Datos:

$$D_e = 36 \text{ mm}$$

$$D_p = 32 \text{ mm}$$

$$D_i = 28$$

$$Z = 15$$

$$P = 6.70 \text{ mm}$$

$$m = 2.13 \text{ mm}$$

$$h = 4.79 \text{ mm}$$

$$e = 3.35 \text{ mm}$$

$$hc = 2.13 \text{ mm}$$

$$hp = 2.66 \text{ mm}$$

$$B = 21.3 \text{ mm}$$

3.3.4.3 Engranaje para cadena

Aplicando las fórmulas anteriores se determinó los siguientes resultados.

Figura 29. Engranaje para cadena



Fuente: Autores

Datos:

$$De = 106 \text{ mm}$$

$$Dp = 101 \text{ mm}$$

$$Di = 98 \text{ mm}$$

$$Z = 48$$

$$P = 6.61 \text{ mm}$$

$$m = 2.10 \text{ mm}$$

$$h = 4.73 \text{ mm}$$

$$e = 3.305 \text{ mm}$$

$$hc = 2.10 \text{ mm}$$

$$hp = 2.62 \text{ mm}$$

$$B = 21 \text{ mm}$$

3.3.4.4 Eje estriado

Aplicando las fórmulas anteriores se determinó los siguientes resultados.

Figura 30. Eje estriado



Fuente: Autores

Datos:

$$De = 30 \text{ mm}$$

$$Dp = 27 \text{ mm}$$

$$Di = 24 \text{ mm}$$

$$Z = 15$$

$$P = 5.65 \text{ mm}$$

$$m = 1.79 \text{ mm}$$

$$h = 4.02 \text{ mm}$$

$$e = 2.83 \text{ mm}$$

$$hc = 1.79 \text{ mm}$$

$$hp = 2.23 \text{ mm}$$

$$B = 17.9 \text{ mm}$$

3.3.5 Modelado en el software “SOLIDWORKS”

Para el modelado de la máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola se utilizará la herramienta CAD, Solidworks 2015, que es un programa de diseño asistido por computadora en 3D que nos permite, croquizar, modelar, analizar, y generar planos.

Para el modelado de la máquina es imprescindible seguir los siguientes pasos:

1. Abrir el software Solidworks.
2. Seleccionar pieza.
3. Croquizar y modelar los diferentes elementos que forman parte de la máquina.
4. Ensamblar.
5. Verificar medidas.

3.3.5.1 Datos generales

En la tabla 3 se detallan las dimensiones correspondientes:

Tabla 3. Dimensiones de la máquina de desgaste

Dimensiones	Valor	Unidad
Largo	850	[mm]
Ancho	850	
Alto	1840	

Fuente: Autores

3.3.5.2 Proceso de modelado de la máquina de desgaste

Se realizará el diseño del prototipo con un bosquejo a mano alzada, el cual será el punto de partida para el diseño en software, teniendo en cuenta las dimensiones ya establecidas anteriormente, en la figura 31 se detalla cómo queda el modelado final de la máquina de desgaste, todos los parámetros del modelado se detallan en: (ANEXOS PLANOS)

Figura 31. Modelado de la máquina de desgaste



Fuente: Autores

3.3.5.3 Materiales para la construcción de la máquina

En la tabla 4 se detallan los elementos que conforman la máquina de desgaste con su respectivo material de construcción y peso.

Tabla 4. Componentes y materiales para la construcción.

N°	Componentes	Tipo de material	Masa (Kg)	Espesor (mm)
1	Tubo cuadrado estructural	ASTM A-500	2	2
2	Tubo rectangular estructural	ASTM A-500	2.30	2
3	IPE 200	ASTM A-36	2.7	9
4	Plancha de acero	ASTM A-336	3.8	3
5	Ángulo estructural	ASTM A-36	1.8	5
6	Platina estructural	ASTM A-36	0.310	8
7	Eje de transmisión	AISI 1018	3.226	-----
8	Plancha de acero	ASTM A-336	2.1	5

Fuente: Autores

Tabla 5. Propiedad del material ASTM A36

ASTM A36 Acero		
Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+011	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.26	NA

Tabla 5. (Continuación) Propiedad del material ASTM A36

Módulo cortante	7.93e+010	N/m ²
Densidad	7850	Kg/m ³
Límite de tracción	4e+008	N/m ²
Limite elástico	2.5e+008	N/m ²

Fuente: Autores

3.3.6 *Análisis en el software “ANSYS”*

Para el análisis estructural de la máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola se utilizará la herramienta CAE, Ansys 6.1, que es un programa de ingeniería asistido por ordenador en 3D que nos permite, obtener la deformación total, el factor de seguridad, la resistencia a al fluencia, etc. Los mismos que son factores primordiales para determinar si una estructura resiste o no a las cargas suministradas sobre ella, para proceder a su construcción o de darse el caso desechar el modelo.

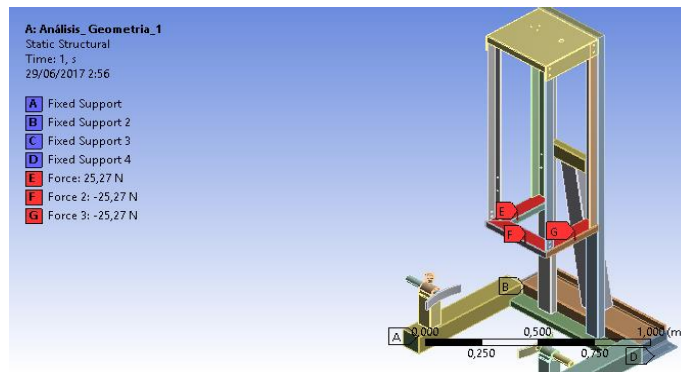
Para el análisis estático es imprescindible seguir los siguientes pasos:

1. Abrir el software ANSYS.
2. Seleccionar el análisis a realizar 2D o 3D, en nuestro caso es 3D.
3. Seleccionamos el material.
4. Importamos la geometría, que previamente fue diseñada en el software SOLIDWORKS.
5. Crear el mallado adecuado, en nuestro caso el tradicional.
6. Fijar o anclar la base con un fixed support.
7. Introducir las fuerzas que actúan sobre la estructura metálica.
8. Determinar el tipo de análisis a realizar ya sea cálculo del, análisis de tensiones, deformación total, factor de seguridad etc.
9. Generar resultados.

3.3.6.1 *Análisis de la primera geometría*

- a) Aplicando las cargas en la estructura en las zonas críticas, donde tiene mayor posibilidad de fallar ya sea por flexión o corte.

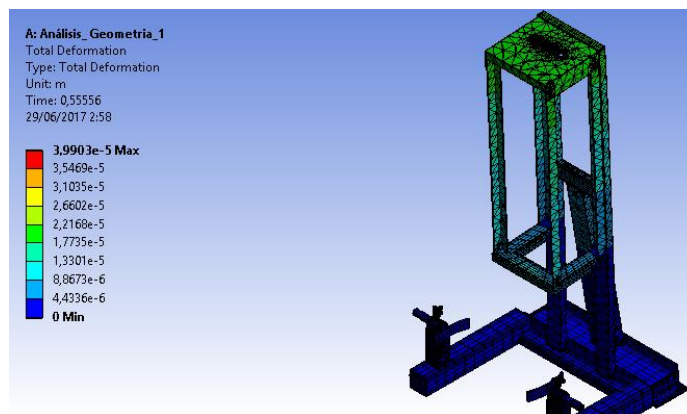
Figura 32. Cargas aplicadas en la estructura metálica



Fuente: Autores

- b) En los resultados de la deformación total, se interpreta que el diseño seleccionado es óptimo, ya que los fallos por flexión son mínimos, por ende la estructura tiene una deformación dentro del límite de elasticidad, que quiere decir que luego de aplicada la carga esta regresa a su forma original.

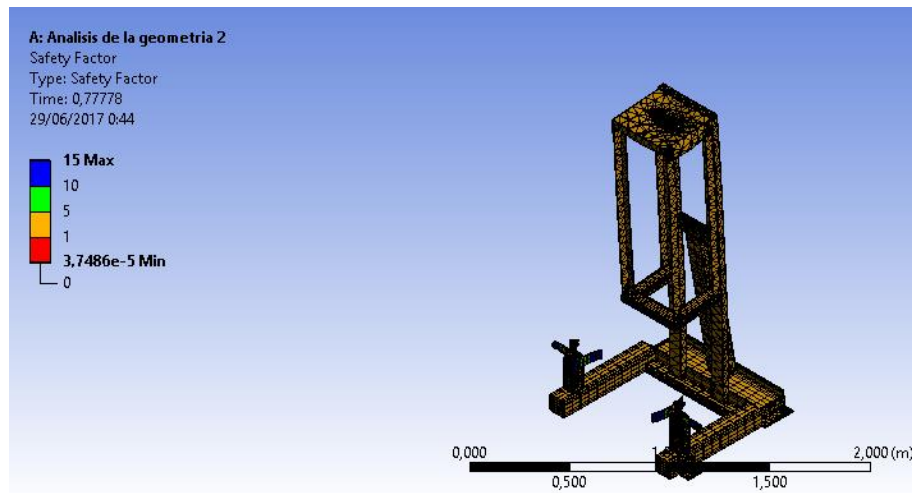
Figura 33. Deformación total de la estructura metálica



Fuente: Autores

- c) Se observa que la estructura no falla, el factor de seguridad esta dentro de los parámetros de construcción eso nos quiere decir que el material seleccionado es el idóneo para la construcción, ya que tiene una buena resistencia a la tensión.

Figura 34. Factor de seguridad

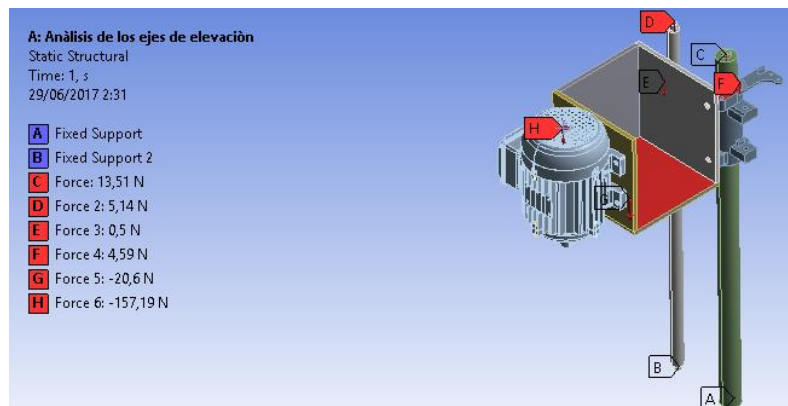


Fuente: Autores

3.3.6.2 *Análisis de la segunda geometría*

- a) Como se puede apreciar en la figura 35, las cargas aplicadas generan un momento de flexión donde los ejes guías soportan la mayor carga, haciéndolos propensos a deformarse.

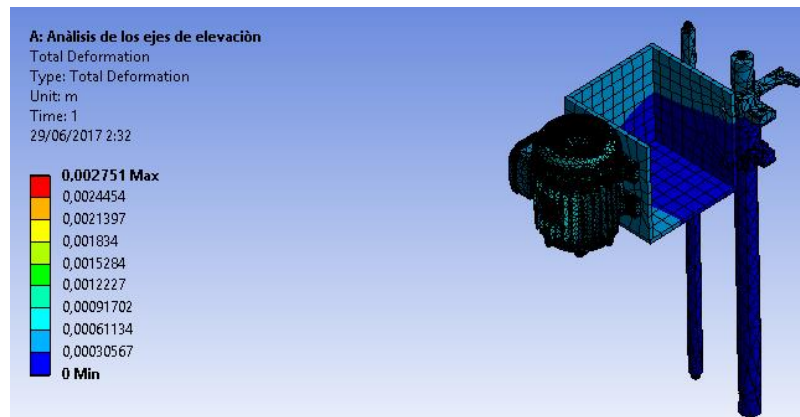
Figura 35. Cargas aplicadas en el mecanismo de elevación



Fuente: Autores

- b) La deformación total es mínima, el impacto que sufren los ejes guías es visiblemente moderado lo que no permite que se deformen de manera radical, los resultados de la derecha corroboran, que es una buena selección de material.

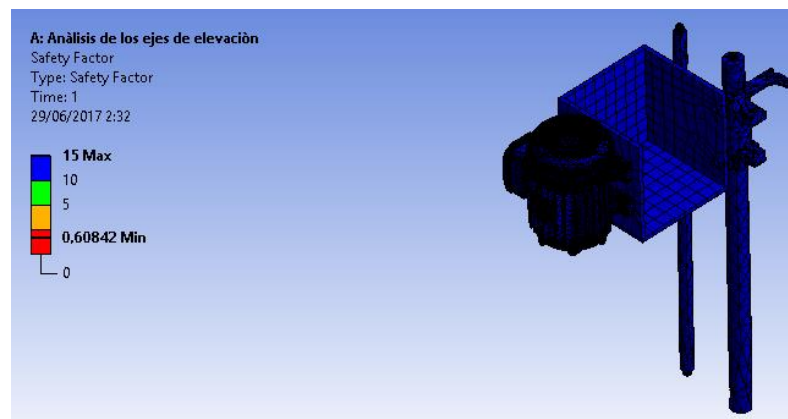
Figura 36. Deformación total



Fuente: Autores

- c) El factor de seguridad está dentro de los parámetros, lo que significa que el diseño es adecuado, para este tipo de estructuras minimizando exponencialmente la probabilidad de falla, es óptimo para la construcción del diseño.

Figura 37. Factor de seguridad

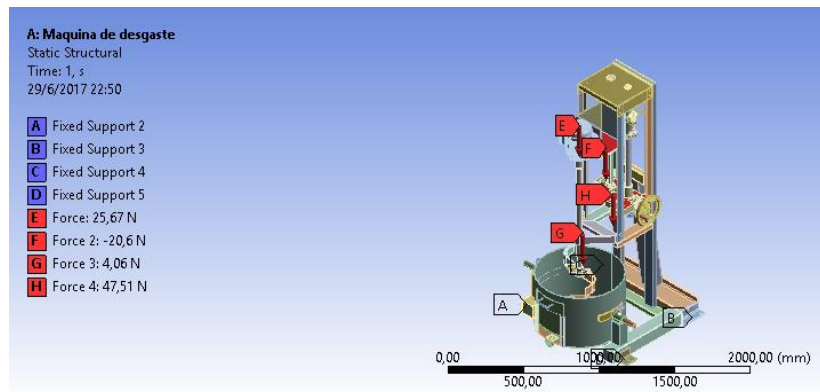


Fuente: Autores

3.3.6.3 Geometría final

- a) Aplicando las cargas existentes en las zonas críticas, de la estructura.

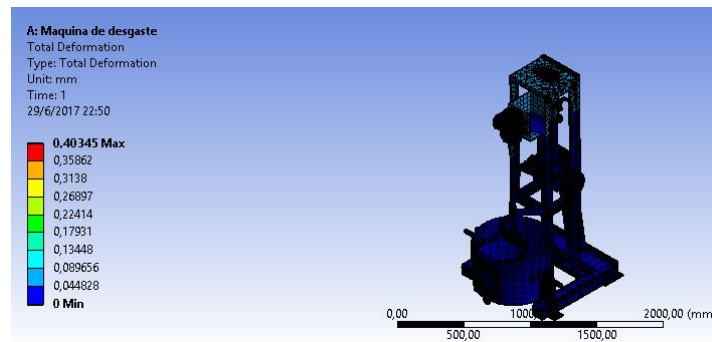
Figura 38. Geometría final



Fuente: Autores

- b) La deformación total del sistema bajo las cargas ya especificadas anteriormente son mínimas.

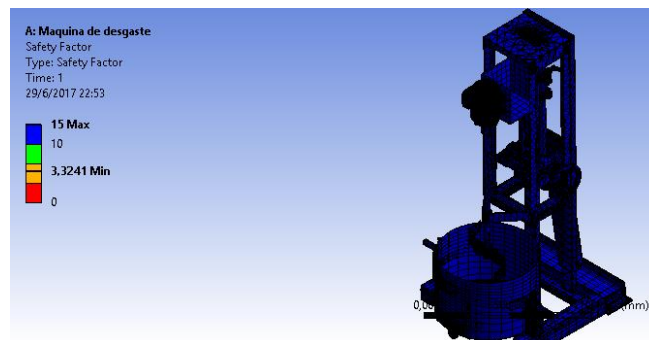
Figura 39. Deformación total



Fuente: Autores

- c) El factor de seguridad obtenido es de 3.3241 que es óptimo para este diseño, corroborando la validez de la geometría el diseño para proceder a su construcción.

Figura 40. Factor de seguridad



Fuente: Autores








CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN

4.1 Tecnología de construcción de la máquina de desgaste acelerado.

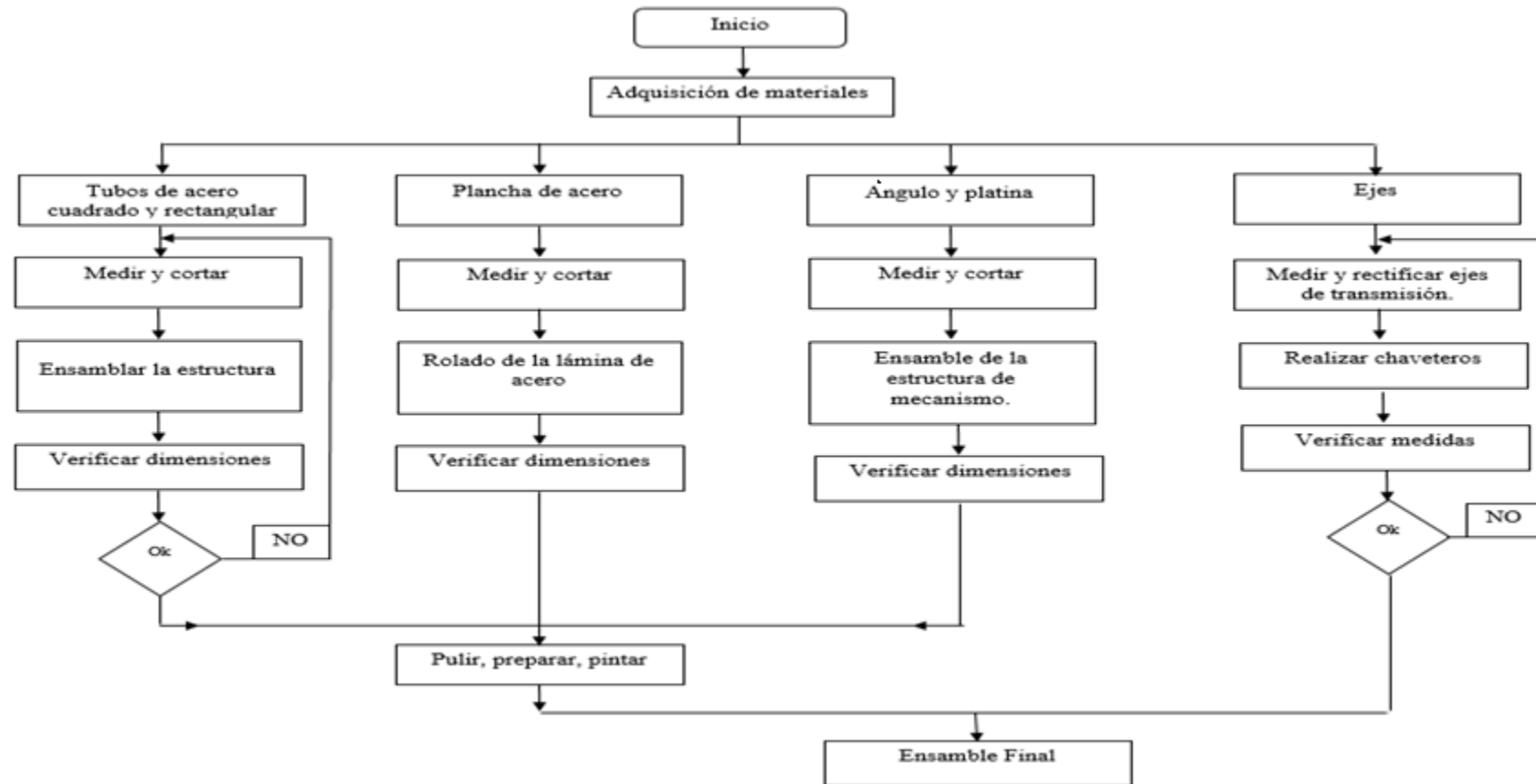
Para mejor comprensión del proceso de manufactura se realizó el siguiente diagrama de flujo basado en la simbología de la norma ANSI, que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 6. Simbología de procesos según la norma ANSI

	Terminal.- Indica el inicio o el final del flujograma.
	Operación.- Representa la realización de una operación.
	Decisión.- Indica un punto de dentro del flujo en que son posibles varios cambios.
	Conector de página.- Conecta o enlaza a otra hoja diferente.
	Conector.- Representa conexión o enlace.
	Documento.- Incorpora cualquier tipo de documento que entre, se une, forme o salga procedimiento.
	Línea de flujo.- Conecta los símbolos señalando el orden.

Fuente: Norma ANSI

Figura 41. Diagrama de procesos de la construcción de la maquina



Fuente: Autores

4.2 Generalidades

Habiendo terminado la verificación y el análisis de diseño de la máquina de desgaste acelerado para aperos de labranza agrícola, se procede a la construcción de la misma, para la determinación del desgaste por abrasión que sufren las cuchillas del rotavator y el disco de rastra en un día común de trabajo, teniendo como referencia los planos del despiece y todos los elementos que forman parte de la máquina de desgaste. Para realizar la máquina de desgaste acelerado es fundamental aplicar procesos de manufactura como el uso de herramientas manuales, máquinas herramientas entre otras cosas.

4.3 Construcción de la máquina de desgaste.

4.3.1 Bastidor del equipo.

Para la construcción del bastidor se ha seleccionado un tubo estructural cuadrado ASTM A-500 de 2mm espesor y un tubo estructural rectangular ASTM A500 de espesor 2mm también un perfil IPE 200, con las medidas especificadas en los planos utilizando herramientas como un arco de sierra, un disco de corte y de desbaste, amoladora, oxicorte, y la soldadora para unir los elementos que conforman la estructura.

Figura 42. Bastidor



Fuente: Autores

4.3.2 *Bastidor del mecanismo de elevación.*

Para la construcción del bastidor se ha seleccionado un ángulo estructural ASTM A-36 de espesor 5mm, con las medidas especificadas en los planos utilizando herramientas como un arco de sierra, disco de desbaste, amoladora y la soldadora para unir los elementos.

Figura 43. Bastidor del mecanismo de elevación



Fuentes: Autores

4.3.3 *Ejes de transmisión.*

Los ejes son de acero de transmisión AISI 1018 y se han mecanizado en el torno, dando sus dimensiones de acuerdo a los planos de construcción también se realizó los chaveteros con sus respectivas chavetas forman el mecanismo por el cual se acoplan los piñones a los árboles de transmisión.

Figura 44. Ejes de transmisión horizontales para los engranes



Fuente: Autores

Figura 45. Eje vertical



Fuente: Autores

4.3.4 *Guía de eje vertical.*

Son diseñadas con platinas ASTM A-36 y un eje de acero de transmisión AISI 1018 el cual se ha mecanizado en el torno con las especificaciones de los planos y la utilización de la soldadora para la unión de los elementos.

Figura 46. Guía de eje



Fuente: Autores

4.3.5 *Depósito contenedor de suelo.*

Diseñadas con una plancha ASTM A-336 de espesor 3mm rolado, construidas con las medidas especificadas en los planos utilizando herramientas como una oxicorte, disco de corte y desbaste, amoladora y soldadora.

Figura 47. Depósito contenedor de suelo



Fuente: Autores

4.3.6 *Base del motor eléctrico.*

Construida con una plancha ASTM A-336 de espesor 5mm con medidas especificadas en los planos utilizando las herramientas, oxicorte y soldadora.

Figura 48. Base del motor eléctrico



Fuente: Autores

4.3.7 *Guías de bloqueo del depósito contenedor de suelo.*

Son diseñadas con platinas ASTM A-36 y un eje de acero de transmisión AISI 1018, construida con las especificaciones de los planos y la utilización de herramientas como disco de corte, amoladora, taladro, brocas y la soldadora para la unión de los elementos.

Figura 49. Guías de bloqueo del depósito contenedor de suelo.



Fuente: Autores

4.3.8 *Manijas de bloqueo.*

Construidas con las especificaciones de los planos y mecanizadas en el torno.

Figura 50. Manijas de bloqueo



Fuente: Autores

4.3.9 *Acople para cuchillas.*

Son diseñadas con platinas ASTM A-36 y un eje de acero de transmisión AISI 1018 el cual se ha mecanizado en el torno con las especificaciones de los planos y la utilización de herramientas como disco de corte, amoladora, taladro, broca y soldadora para la unión de los elementos.

Figura 51. Acople para cuchillas italianas



Fuente: Autores

Figura 52. Acople para cuchillas colombianas



Fuente: Autores

Figura 53. Acople para cuchillas chinas



Fuente: Autores

Figura 54. Acople para cuchillas Artesanales



Fuente: Autores

4.3.10 *Acople para disco.*

Creado con un eje de transmisión AISI 1018 y mecanizado en el torno, dando sus dimensiones de acuerdo a los planos de construcción.

Figura 55. Acople para disco de rastra



Fuente: Autores

4.4 Ensamble de las partes de la máquina.

4.4.1 *Estructura General.*

Se ensambla la estructura del mecanismo de elevación para formar una sola estructura por medio de soldadura y pernos de sujeción.

4.4.2 *Mecanismo de elevación.*

En la base se coloca los tipos de ejes requeridos con sus respectivos engranes y asegurar el mecanismo con chavetas y pernos de sujeción para evitar alguna desviación.

4.4.3 *Motor eléctrico.*

Está ubicado en el mecanismo de elevación en la parte superior el cual se encuentra fijado a la estructura por medio de pernos de sujeción este sistema nos permite variar su altura para el cambio del acople requerido.

4.4.4 *Caja de control.*

En esta caja está ubicado el sistema eléctrico de la máquina en la cual se puede variar la velocidad y su sentido de giro (horario-anti horario) acorde al ensayo requerido también posee un botón de emergencia en caso de ser necesario.

4.4.5 *Eje vertical y guía.*

El eje esta acoplado en el motor eléctrico para realizar su trabajo a velocidades que requiera el ensayo con su guía para que no haya vibración al momento de su rotación. En este eje van los acoples de las cuchillas y discos.

4.4.6 *Contenedor.*

Es un elemento indispensable que contiene los diferentes tipos de suelo para el ensayo requerido, el contenedor va ubicado sobre el eje vertical para su trabajo.

4.4.7 Montaje total y pintura de la máquina.

La máquina se construyó con la ayuda del taller “SMI” debido a la necesidad de maquinaria y herramientas de exactitud, para el mecanizado de diferentes tipos de ejes bocines y engranes que forman parte de la máquina de desgaste acelerado.

Posteriormente se procedió a pintar la máquina en dos etapas, la primera etapa se procedió a fondear y la segunda etapa se procedió a dar el acabado final de color celeste.

Figura 56. Ensamble total



Fuente: Autores

4.5 Manual de operación

El manual ayudara al manejo adecuado de la máquina de desgaste, ya que el plan de mantenimiento va acorde con la buena manipulación de la máquina. El usuario debe tener conocimiento de las precauciones de seguridad a tomar, antes de utilizar es indispensable tener el conocimiento del manual de operación para su utilización.

Tabla 7. Manual de operación

Paso	Actividad
1	Ocupar la ropa de seguridad adecuada
2	Asegurarse de que la perilla este en la posición de apagado (OFF)
3	Conectar la alimentación eléctrica, verificando que tenga una entrada trifásica de 220V.
4	Colocar los acoples con sus respectivas cuchillas o discos a utilizar en el eje vertical. Una vez sujeto el acople poner el depósito contenedor debajo del eje de giro.

Tabla 7. (Continuación) Manual de operación

5	Verificar visualmente que todo el equipo esté debidamente asegurado en su lugar, para proceder a encender la máquina moviendo la perilla a la posición (ON).
6	En la caja de mando programar el variador de frecuencia a la velocidad de trabajo requerida para cada ensayo, mediante el potenciómetro se controlara la frecuencia mínima y máxima la cual hace girar al eje con sus respectivos acoples a diferentes rpm.
7	El tipo de suelo a utilizar debe ser añadido progresivamente mientras el eje este girando con su respectivo acople, a una velocidad de trabajo constante.
8	Cronometrar el tiempo para ver el desgaste que sufre las herramientas de labranza agrícola, en determinados lapsos de tiempo.
9	Después de realizar los ensayos retirar las cuchillas o discos, para proceder a verificar el desgaste por abrasión con la pérdida de masa, la misma que será medida mediante una balanza.
10	Al final de la operación de la máquina de desgaste acelerado procedemos a apagar (OFF) y desconectar la fuente de alimentación eléctrica.

Fuente: Autores

4.6 Limpieza

Es de vital importancia conservar el equipo limpio y en óptimas condiciones. Se recomienda realizar una limpieza de la máquina luego de cada sección de ensayos, para esto se recomienda utilizar brocha, franela y guaiques secos.

Además realizar la recolección de todo tipo de desecho generado por la máquina.

4.7 Manual de Mantenimiento

Para prolongar la vida útil de los elementos que conforman la máquina de desgaste acelerado, es necesario el uso del mantenimiento preventivo o en su defecto recurrir al mantenimiento correctivo cuando sea necesario.

4.7.1 *Mantenimiento del sistema eléctrico.*

Realizar una inspección visual del sistema eléctrico (botonera, contactor, variador de velocidad, motor eléctrico, cableado), esto se lleva a cabo cuando la máquina esta prendida ya que ahí se puede apreciar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes eléctricos.

4.7.2 *Mantenimiento del sistema Mecánico.*

Observar el correcto estado del mecanismo (cadena, bocines, ejes, piñones, rodamientos), realizar una inspección visual y auditiva ya que es un indicativo veraz para saber el estado de los componentes, y de ser necesario engrasarlos, aceitarlos o en el peor de los casos sustituirlos.

4.7.3 *Mantenimiento para los acoples.*

Realizar la inspección visual para detectar si existen fisuras o fracturas en las juntas soldadas de darse alguno de estos casos proceder a limpiarlos, para quitar los restos de suelos utilizados en los ensayos, y de esta manera proceder con su debido mantenimiento.

4.7.4 *Mantenimiento del depósito contenedor de suelos.*

Realizar una limpieza profunda en toda el área de contacto con los diferentes suelos, para de esta manera evitar la corrosión por acumulación de tierras húmedas, de la misma manera verificar el correcto funcionamiento de la compuerta de desahogo de los suelos, así como también verificar que las ruedas de transporte se encuentre en buen estado.

4.8 *Plan de seguridad*

- Antes de conectar la máquina a la fuente de energía, debe verificar que él toma corriente sea del voltaje requerido por la misma, de igual manera verificar que la perilla de encendido este en la posición OFF (apagado).
- La máquina debe estar desconectada antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento.
- El encargado del laboratorio debe estar presente antes durante y después de realizarse cualquier práctica o manipulación del equipo.
- Por seguridad al entrar en funcionamiento la máquina deben estar dos personas presentes: uno para encender la máquina, controlar la velocidad y de darse algún inconveniente apagar la misma, y la otra persona para que vaya añadiendo progresivamente el tipo de suelo para el ensayo o práctica a realizarse.

4.8.1 *Uso de equipo de protección personal*

Antes de realizar cualquier manipulación o ensayos en la máquina de desgaste, controlar que todas las persona que entren en contacto con la misma, utilicen el equipo de protección personal, para evitar posibles accidentes, el equipo de protección personal a ocuparse es el siguiente: casco, gafas, mascarilla, mandil y guantes.

Figura 57. Equipo de protección personal



Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo del trabajo de titulación, se detallan los resultados alcanzados mediante todo el desarrollo del proyecto, haciendo énfasis en la importancia de cada resultado y la forma en que se llegó a cada uno de ellos.

5.1 *Conclusiones*

Mediante las condiciones propuestas al inicio del presente trabajo de titulación, se llegó con satisfacción a obtener un diseño real en el software Solidworks de la máquina de desgaste acelerado, por medio del mismo software se obtuvieron los planos para la construcción del equipo de abrasión. El software Ansys fue de vital importancia para determinar si los modelos obtenidos cumplen con los parámetros mínimos como son: selección de material, resistencia a la deformación, y el más importante que es el factor de seguridad que es un requisito indispensable para proceder a la construcción.

La construcción se llevó a cabo satisfactoriamente, ya que para la construcción de la máquina de desgaste, fueron necesarios varios parámetros, como son: un lugar donde realizar la construcción, herramientas de precisión, tornos, soldadoras, amoladoras, etc. Se concluyó con la construcción de la máquina de desgaste, de manera eficiente y eficazmente.

Al realizar los ensayos de abrasiones en las cuchillas y discos de rastra, se determinó la pérdida de masa por parte de los aperos de labranza dando como resultados: en el suelo tagua se desgastan de forma más rápida los aperos, llegando a la conclusión que las cuchillas chinas pierden mayor cantidad de masa.

Mediante los ensayos realizados con suelos húmedos se determinó, que este tipo de suelos producen mayor desgaste abrasivo, por la presencia de agua en suelo ya que la misma tiene características corrosivas demasiado elevadas y al estar conjuntamente con el suelo se vuelve un abrasivo extremadamente duro, lo que implica que los aperos se desgasten más rápido.

5.2 **Recomendaciones**

Usar el equipo de protección personal que consta de casco, guantes, gafas, mascarilla y mandil, antes y durante la manipulación de la máquina de desgaste.

Antes de manipular la máquina de desgaste informarse del funcionamiento y la manipulación de la misma, para así evitar posibles daños por el uso inadecuado de los componentes electrónicos.

Tener presente que test de abrasión del suelo (SAT), se va a ocupar para realizar determinados ensayos y de esta manera evitar posibles fallos.

Pesar las cuchillas y el disco de rastra antes de comenzar a realizar el ensayo, para de esta manera contar con datos iniciales de la masa de los aperos, y al terminar también pesarlas para obtener la cantidad de masa que ha perdido dicho apero.

Mantenerse a una distancia prudente de la máquina de desgaste, mientras se esté realizando un ensayo, para de esta manera evitar posibles accidentes.

Bibliografía.

ALMARAZ, Ángel. *Rastras de discos, características y sus utilidades* [En línea]. 31 de Marzo de 2014. [Consulta: 2014 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://www.reparatucultivador.com/rastras-de-discos/>.

ANALUIZA, Byron & BENAVIDEZ, Carlos. *Construcción y selección del material de aspas para motocultor YTO DF 15L mediante proceso de forja para reducir la tasa de desgaste respecto a las aspas de acero tradicional para uso agrícola* [En línea]. (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador, 06 de Junio de 2016. [Consulta: 12 de junio de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6207/1/65T00218.pdf>.

ARQHYS. *Para que sirve un higrometro* [En línea]. Diciembre de 2012. [Consulta: 28 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://www.arqhys.com/construccion/sirve-higrometro.html>.

AULLA, Alex & MOREJÓN, Henry. *Estudio de los factores que inciden en la fiabilidad del elemento de labranza de un motocultor yto DF-15L* [En línea]. (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador, 2016. [Consulta: 19 de Junio de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5630/1/65T00188.pdf>.

CALERO, Freddy & CARRERA, Damián. 2016. *Diseño y construcción de una máquina para ensayos en desgaste abrasivo según norma técnica astm g65 / coguanor 41087 h2* [En línea]. (Tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador, 21 de Septiembre de 2016. [Consulta: 09 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4664/1/15T00616.pdf>.

DÍAZ DEL CASTILLO, Felipe. *Tribología: fricción, desgaste y lubricación* [En línea]. Cuautitlán-México, 20 de Noviembre de 2014. [Consulta: 09 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>.

FÍSICA PRÁCTICA. *Fuerza de rozamiento* [En línea] 2007. [Consulta: 14 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://www.fisicapractica.com/rozamiento.php>.

MARTINÉZ VILLENA, Rubén . *Motor eléctrico* [En línea]. 17 de Marzo de 2016. [Consulta: 19 de Abril de 2017.] Disponible en: https://www.ecured.cu/Motor_el%C3%A9ctrico.

ORTIZ CAÑAVATE, Jaime. *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Madrid - España: Ediciones Mundi - Prensa, 2012 pp 27-69

POTENZA MORA, Anabella. *Implementación de un sistema de desgaste abrasivo y su aplicación en muestras de AL2O3-VC-Co* [En línea]. Sartenejas, Noviembre de 2004. [Consulta: 20 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000059544.pdf>

SCHNEIDER ELECTRIC. *Manual electrotécnico* [En línea]. España, 30 de Enero de 2005. [Consulta: 15 de Mayo de 2017.] Disponible en: <http://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>.

SCHNEIDER ELECTRIC. *Variadores de velocidad, arrancadores electrónicos y motores* [En línea]. Argentina, 7 de Julio de 2015. [Consulta: 28 de Junio de 2017.] Disponible en: http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo04_1907.pdf.

WORDPRESS. *Rastras de discos* [En línea]. 15 de Agosto de 2012. [Consulta: 15 de Junio de 2017.] Disponible en: <https://mecanizacionagricolafca.files.wordpress.com/2012/06/rastras.pdf>.