



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SURCADORA PARA MOTOCULTOR YTO DF-15L PARA USO DE PARCELAS DEL MAGAP EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

**TANDAZO AZUERO JORGE LEONARDO
FREIRE CARRERA VINICIO RODRIGO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-10-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

TANDAZO AZUERO JORGE LEONARDO

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SURCADORA PARA MOTOCULTOR
YTO DF-15L PARA USO DE PARCELAS DEL MAGAP EN LA PROVINCIA
DE CHIMBORAZO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas
DIRECTOR

Ing. Víctor David Bravo Morocho
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-10-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

FREIRE CARRERA VINICIO RODRIGO

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SURCADORA PARA MOTOCULTOR
YTO DF-15L PARA USO DE PARCELAS DEL MAGAP EN LA PROVINCIA
DE CHIMBORAZO”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas
DIRECTOR

Ing. Víctor David Bravo Morocho
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TANDAZO AZUERO JORGE LEONARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SURCADORA PARA MOTOCULTOR YTO DF-15L PARA USO DE PARCELAS DEL MAGAP EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Fecha de Examinación: 2017-06-16

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. Víctor David Bravo Morocho 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 TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FREIRE CARRERA VINICIO RODRIGO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SURCADORA PARA MOTOCULTOR YTO DF-15L PARA USO DE PARCELAS DEL MAGAP EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2017-06-16

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. Víctor David Bravo Morocho 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 TRIB. DEFENSA

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 teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jorge Leonardo Tandazo Azuero

Vinicio Rodrigo Freire Carrera

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros Tandazo Azuero Jorge Leonardo y Freire Carrera Vinicio Rodrigo, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Tandazo Azuero Jorge Leonardo
Cedula de Identidad: 160052171-8

Freire Carrera Vinicio Rodrigo
Cedula de Identidad: 180236220-0

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación le dedico primeramente a Dios, por concederme salud, vida y también por la gran Bendición de contar con el apoyo de mis padres Luis Tandazo y Bedia Azuero, por no dejar que decaiga y me supieron guiar con sus consejos estando siempre pendientes de mí y así culminar una de mis metas.

A mi esposa Beatriz Guzmán por su amor incondicional, con sus palabras de aliento y estar dispuesta ayudarme en cualquier momento, a mi hijo Lennyn por llegar a mi vida y llenar de alegría con sus ocurrencia en los momentos más difíciles, a mis hermanos Luis, Roberth y Edwin que con su entusiasmo me dieron ánimo para finalizar esta etapa de mi vida.

Jorge Leonardo Tandazo Azuero

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación primeramente a Dios y la Virgen de Agua Santa quienes me dieron mucha fortaleza cuando estuve a punto de fallecer, me brindaron fuerza para superar esa caída y seguir con vida.

Todo mi sacrificio y dedicación estudiantil se la dedico a mis padres Víctor Manuel Freire Villafuerte quien no se encuentra a mi lado pero desde el cielo siempre me guía y me protege, a mi madre Luz Amelia Carrera Yanzapanta quien ha estado ayudándome a salir adelante en las victorias y dificultades.

A mi querida hermana María Elisa que siempre me brindo su cariño, amor y apoyo incondicionalmente en todos mis proyectos y por ser un ejemplo de lucha.

Vinicio Rodrigo Freire Carrera

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios por darme la bendición tan grande de darme a mis padres que con su cariño y apoyo hicieron que todo mi esfuerzo de sus frutos y mis sueños y metas se hicieran realidad, a mi familia y mis amigos que siempre estuvieron ahí para brindarme su cariño y amistad.

También agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y contribuir a la sociedad.

Jorge Leonardo Tandazo Azuero

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de formarme en el aspecto académico y personal con valores y ética.

En especial a los Ingenieros Edison Marcelo Castillo Cárdenas y Víctor David Bravo Morocho, quienes han sido excelentes maestros, amigos, compañeros y personas que nos guiaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa más de nuestras vidas.

Vinicio Rodrigo Freire Carrera

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	2
1.2.2 <i>Justificación económica</i>	3
1.2.3 <i>Justificación social.</i>	3
1.3 Problema	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	4
2. MARCO REFERENCIAL	
2.1 Los Motocultores	5
2.1.1 <i>Datos generales del motocultor YTO DF-15L</i>	5
2.1.2 <i>Partes principales del motocultor</i>	6
2.1.2.1 <i>El motor</i>	6
2.1.2.2 <i>Los motores diésel</i>	7
2.1.3 <i>El diferencial</i>	7
2.1.4 <i>Las ruedas</i>	8
2.1.5 <i>Factores que inciden en el laboreo del suelo</i>	9
2.1.6 <i>La ergonomía</i>	9
2.1.7 <i>La seguridad.</i>	9
2.1.8 <i>Tipos de implementos de labranza</i>	10
2.1.9 <i>Campos de aplicación del motocultor.</i>	11
2.2 Labranza del suelo.	13
2.2.1 <i>Objetivos de la labranza del suelo</i>	13
2.2.2 <i>Arado del suelo</i>	14
2.2.2.1 <i>Arado de reja y vertedera</i>	14
2.2.2.2 <i>Elementos de trabajo de los arados de reja y vertedera</i>	15
2.2.2.3 <i>Arado de discos</i>	16
2.2.2.4 <i>Arado grada (o arado rastra).</i>	17
2.2.2.5 <i>Arado de púas o cinceles.</i>	18
2.3 El diseño mecánico	19
2.3.1 <i>Fases e interacciones del proceso de diseño.</i>	19

2.3.2	<i>Consideraciones de diseño.</i>	20
2.3.3	<i>Materiales para la construcción de aperos agrícolas.</i>	20
2.3.3.1	<i>Acero al Carbono Estructural ASTM A36.</i>	21

3. PROPUESTA TECNOLÓGICA, DISEÑO, SIMULACIÓN Y PRUEBAS DE CAMPO

3.1	Estado del arte.	24
3.2	Metodología del diseño.	24
3.3	Parámetros y requerimientos de diseño del implemento.	25
3.3.1	<i>Parámetros de campo necesarios para el diseño</i>	25
3.3.2	<i>Parámetros conceptuales de diseño</i>	26
3.3.2.1	<i>Descripción del surcador</i>	26
3.3.3	<i>Selección de Alternativas.</i>	26
3.3.3.1	<i>Propuesta tecnológica 1</i>	27
3.3.3.2	<i>Propuesta tecnológica 2</i>	28
3.3.3.3	<i>Propuesta tecnológica 3</i>	28
3.3.3.4	<i>Matriz de ventajas y desventajas de propuestas tecnológicas.</i>	28
3.3.3.5	<i>Selección de mejor propuesta tecnológica.</i>	28
3.4	Diseño del implemento surcador.	29
3.4.1	<i>Diseño de anclaje al motocultor</i>	29
3.4.2	<i>Diseño de mecanismo de soporte y regulación</i>	30
3.4.2.1	<i>Regulación de ángulo de penetración del implemento</i>	31
3.4.3	<i>Diseño del mecanismo de labranza reja – vertedera</i>	31
3.4.4	<i>Diseño de la reja</i>	32
3.4.5	<i>Diseño de las vertederas</i>	33
3.4.6	<i>Diseño de los elementos de anclaje de las vertederas</i>	33
3.4.7	<i>Ensamblaje general</i>	34
3.5	Análisis de esfuerzos del implemento surcador.	34
3.5.1	<i>Cargas verticales de diseño.</i>	34
3.5.1.1	<i>Carga Permanente</i>	34
3.5.1.2	<i>Carga de Seguridad</i>	34
3.5.1.3	<i>Carga Muerta</i>	35
3.5.1.4	<i>Carga de diseño.</i>	35
3.5.2	<i>Calculo del esfuerzo de laboreo del implemento</i>	36
3.6	Materiales utilizados en el implemento surcador	38
3.6.1	<i>Material utilizado para la estructura, reja y vertederas</i>	38
3.6.1.1	<i>Aplicaciones del Acero A36</i>	39
3.7	Análisis de materiales utilizados en las cuchillas del implemento.	39
3.7.1	<i>Ensayo de metalografía.</i>	39

3.7.1.1	<i>Granos.....</i>	39
3.7.1.2	<i>Preparación de la muestra.....</i>	40
3.7.1.3	<i>Preparación de la superficie.....</i>	41
3.7.1.4	<i>Resultados del ensayo metalográfico.....</i>	42
3.7.2	<i>Ensayo de dureza Brinell.....</i>	44
3.7.2.1	<i>Método de ensayo.....</i>	45
3.7.2.2	<i>Preparación de la probeta.....</i>	45
3.7.2.3	<i>Cálculos en el ensayo Brinell.....</i>	46
3.7.2.4	<i>Procedimiento del ensayo Brinell.....</i>	46
3.7.2.5	<i>Resultados obtenidos del ensayo de dureza Brinell.....</i>	47
3.7.3	<i>Ensayo de dureza Rockwell.....</i>	48
3.7.3.1	<i>Ensayo de dureza Rockwell en materiales Blandos.....</i>	49
3.7.3.2	<i>Ensayo de dureza Rockwell en materiales Duros.....</i>	49
3.7.3.3	<i>Ensayo de dureza Rockwell en materiales blandos pequeños espesores.....</i>	49
3.7.3.4	<i>Procedimiento para realizar el ensayo de dureza Rockwell.....</i>	50
3.7.3.5	<i>Ensayo Rockwell realizado en la cuchilla 2.....</i>	50
3.7.4	<i>Espectrometría de emisión óptica (Espectrómetro Q2 ION).....</i>	51
3.7.4.1	<i>Principio de funcionamiento del espectrómetro Q2 ION.....</i>	52
3.7.4.2	<i>Argón.....</i>	53
3.7.4.3	<i>Principales partes del espectrómetro.....</i>	53
3.7.4.4	<i>Proceso de análisis de la muestra para la espectrometría.....</i>	53
3.7.4.5	<i>Resultados del ensayo de espectrometría.....</i>	54
3.8	<i>Simulación del implemento de labranza.....</i>	56
3.8.1	<i>Pre-procesado.....</i>	57
3.8.2	<i>Solución.....</i>	57
3.8.3	<i>Simulación del mecanismo reja-vertedera.....</i>	57
3.8.3.1	<i>Cargas aplicadas al mecanismo reja - vertedera.....</i>	57
3.8.3.2	<i>Resultados de la simulación del mecanismo reja – vertedera.....</i>	58
3.8.3.3	<i>Esfuerzo soportado por el soporte y reja.....</i>	59
3.8.4	<i>Simulación del mecanismo de regulación.....</i>	59
3.8.4.1	<i>Cargas aplicadas al mecanismo de regulación.....</i>	60
3.8.4.2	<i>Resultados de la simulación del mecanismo de regulación.....</i>	60
3.8.5	<i>Simulación del acople al motocultor.....</i>	61
3.8.5.1	<i>Cargas aplicadas a acople al motocultor.....</i>	61
3.8.5.2	<i>Resultados de la simulación del acople al motocultor.....</i>	61
3.8.6	<i>Simulación del implemento en general.....</i>	62
3.8.6.1	<i>Resultados de la simulación del implemento.....</i>	63
3.9	<i>Construcción del implemento surcador.....</i>	64

3.10	Pruebas realizadas en el campo	66
3.10.1.1	<i>Etapa de adaptación y traslado del motocultor</i>	66
3.10.1.2	<i>Prueba de traslado</i>	66
3.10.1.3	<i>Prueba de peso y maniobrabilidad</i>	66
3.10.1.4	<i>Etapa de arado del suelo</i>	67
3.10.2	<i>Capacidad teórica de labrado</i>	67
3.10.2.1	<i>Verificación de la capacidad de trabajo</i>	67
3.10.3	<i>Capacidad real de trabajo</i>	68
3.10.4	<i>Rendimiento del implemento</i>	68
4.	ANÁLISIS DE COSTOS	
4.1	Costos directos	69
4.1.1	<i>Costos de placas, tubos, perfiles de acero y pernos</i>	69
4.1.2	<i>Costos de herramientas utilizadas</i>	70
4.1.3	<i>Costos mano de obra</i>	70
4.1.4	<i>Resumen de costos directos</i>	70
4.2	Costos indirectos.....	70
4.3	Costos totales	71
4.4	Análisis costo-beneficio.....	71
4.4.1	<i>El valor actual neto (VAN)</i>	71
4.4.2	<i>Costo Actual</i>	71
4.4.3	<i>Costo Proyectado</i>	72
4.4.4	<i>Amortización del proyecto</i>	72
4.4.4.1	<i>Prestación de servicios del motocultor</i>	72
4.4.4.2	<i>Ahorro de recursos aproximado</i>	72
4.4.5	<i>Tasa interna de retorno (TIR)</i>	73
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1	Conclusiones	74
5.2	Recomendaciones	75

BIBLIOGRAFÍA

PLANOS

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Comparación de la agricultura en América	1
2	Ficha técnica Motocultor YTO DF-15L.....	5
3	Tipos de implementos de labranza	10
4	Parámetros de Campo Para el Diseño del Implemento.	26
5	Matriz Morfológica.....	27
6	Ventajas y desventajas de alternativas.....	28
7	Análisis y Selección de Propuestas Tecnológicas	29
8	Resistencia específica según el tipo de suelo	37
9	Velocidad de avance del Motocultor	38
10	Propiedades del acero ASTM A36	39
11	Reactivo de ataque químico de aceros.....	42
12	Valores de F/D^2 para materiales representativos	45
13	Carga y diámetro de esfera de dureza Brinell.....	45
14	Normalización para el ensayo Rockwell	49
15	Pruebas de tiempo de labranza	68
16	Costos de los materiales	69
17	Costo de Herramientas utilizadas	70
18	Costo de mano de obra	70
19	Costos Directos.....	70
20	Costos Indirectos	71
21	Costos totales del Implemento.....	71
22	Amortización del costo proyectado 1er. trimestre	72
23	Amortización del costo proyectado 2º trimestre.....	73
24	Amortización del costo proyectado 3er trimestre.....	73
25	Costo de inversión y TIR.....	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Motocultor 5
2	Partes constitutivas de un motocultor..... 6
3	Motor de Motocultor 7
4	Diferencial y caja de cambios de un motocultor 8
5	Ruedas de motocultor 9
6	Mecanismo de arado 14
7	Partes de arado por reja - vertedera 15
8	Arado de discos 16
9	Arado de grada..... 17
10	Arado púas o cincel 18
11	Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples..... 20
12	Arados Ofrecidos Actualmente 24
13	Mapa de flujo del proyecto 25
14	Diseño de Anclaje al Motocultor..... 30
15	Diseño de Mecanismo de Soporte y Regulación 30
16	Diseño del Cilindro de Regulación..... 31
17	Diseño de Pernos de Regulación del Mecanismo de Soporte y Regulación. ... 31
18	Diseño del Mecanismo de Labranza..... 32
19	Diseño de la Reja del Implemento de Labranza 32
20	Diseño de la Cuchilla..... 32
21	Diseño de Vertederas..... 33
22	Diseño de Varilla de Sujeción tipo “L” 33
23	Diseño de Barra Agujeradas de Ajuste de Vertederas..... 33
24	Diseño del Pre-ensamble del Proyecto 34
25	Área vertical de la estructura 35
26	Ancho de labranza del implemento 36
27	Profundidad del labrado del implemento..... 37
28	Granos vistos en un análisis metalográfico. 40
29	Montaje en plástico de la muestra 40
30	Etapas de pulido: Grueso, Fino..... 41
31	Componentes básicos de un microscopio metalográfico..... 42

32	Observación de la muestra.....	43
33	Resultados de muestra 1 (AISI 1018).....	43
34	Resultado de muestra 2 (Anti Abrasivo)	44
35	Símbolos y designaciones de dureza Brinell	46
36	Secuencia de cargas y profundidades en el ensayo Rockwell.	50
37	Principio de Funcionamiento del espectrómetro Q2 ION	52
38	Material 1 para cuchilla.	55
39	Propiedades del acero AISI 1018	55
40	Material 2 para cuchilla.	56
41	Propiedades del material 2 para cuchilla	56
42	Cargas aplicadas al mecanismo reja vertedera	58
43	Deformación del mecanismo reja-vertedera.....	58
44	Factor de seguridad a Fatiga del mecanismo reja vertedera.	58
45	Esfuerzo soportado por el soporte y reja	59
46	Cargas aplicadas al mecanismo de regulación	60
47	Deformación del mecanismo de regulación	60
48	Factor de Seguridad a fatiga del mecanismo de regulación	61
49	Cargas aplicadas a acople al motocultor.....	61
50	Deformación del acople al motocultor	62
51	Coeficiente de seguridad del acople al motocultor.....	62
52	Deformación del implemento en general.....	63
53	Factor de seguridad del implemento en general	63
54	Esfuerzo equivalente del implemento en general	63
55	Construcción del mecanismo reja - vertedera.....	65
56	Implementación de cuchillas	65
57	Construcción de Vertederas.....	65
58	Implementación de Vertederas	65
59	Construcción de acople al motocultor	65
60	Adaptación del Implemento al Motocultor.....	66
61	Traslado de la máquina.....	66
62	Arado en el campo	67

SIMBOLOGÍA

μ	Resistencia específica del terreno	N/cm ²
η_r	Rendimiento del implemento	%

LISTA DE ABREVIACIONES

MAGAP	Ministerio de Agricultura, ganadería, Acuicultura y Pesca
CAD	Computer Aided Desing
MEF	Método de elementos Finitos
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
HB	Dureza Brinell
HR	Dureza Rockwell
ppm	Partes por Millón
PSI	Poundal Square Inch
KSI	Kilopoundal Square Inch
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

LISTA DE ANEXOS

- A** Resistencia a la tracción de un material según dureza Brinell.
- B** Plancha de Acero FORA 450
- C** Especificaciones de pernos y Tornillos.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad, diseñar, construir e implementar un apero de arado de tierras tipo surcadora, para ser utilizado en las parcelas agrícolas de la provincia de Chimborazo, por medio de la adaptación en un motocultor YTO DF-15L perteneciente a la flota agrícola del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP), para posteriormente ser entregado a las comunidades de la provincia. Para el planteamiento del proyecto se realizó una selección de los posibles implementos de arado utilizados en el campo agrario, identificando los materiales existentes en el mercado ecuatoriano y una evaluación de las ventajas y desventajas de cada material en referencia a la capacidad de trabajo, economía, resistencia mecánica, etc. En necesidad de realizar un proyecto funcional, sin dar paso al error, se procedió a diseñar cada uno de los componentes del apero surcador, seguidamente se diseñó un pre-ensamble 3D virtual ayudados del programa de diseño SolidWorks. Para garantizar la confiabilidad de los elementos diseñados, se procedió a realizar un estudio de los materiales con los que van a ser construidos, para esto se procedió con ensayos metalográficos y espectrométricos profundizando el estudio en las cuchillas del apero. Posteriormente se realizó una simulación mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) con la plataforma multifísica Ansys, corroborando el buen funcionamiento estructural del implemento. Posteriormente se analizó la propuesta para definir si era viable o no la construcción del implemento, en referencia a la ayuda social y económica que se les daría a todas las personas involucradas por la ayuda que entrega el MAGAP de Chimborazo. Se concluye el trabajo con las pruebas de campo respectivas, dando excelentes resultados en la labranza del suelo, y convirtiéndose en una mejora de la vida de los agricultores de la región.

PALABRAS CLAVE: <SURCADORA REJA/VERTEDERA>, <MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA ACUACULTURA Y PESCA (MAGAP)>, <DISEÑO DE SURCADORA>, <SIMULACIÓN DE SURCADORA>, <CONSTRUCCIÓN DE SURCADORA>, <ANALISIS METALOGRAFICO>, <ESPECTROMETRÍA> <MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)>

ABSTRACT

The present project has as purpose, design, construct, and implement an equipment of plough of lands type ridger, to be used in the agricultural plots of the province of Chimborazo, by adapting to a YTO-DF-15L belonging to the agricultural fleet of the Department of Agriculture Ranching Aquaculture and Fishing (MAGAP), to be later delivered to the communities of the province. For the planning of the project, a selection of the possible plow implements used in the agricultural field was carried out, identifying the existing materials in the Ecuadorian market and an evaluation of the advantages and disadvantages of each material in reference to the capacity of work, economy, mechanical resistance, etc. In need of realizing a functional project, without giving the error, we proceeded to design each of the components of the ridger equipment, followed by a virtual 3D preassembly aided by the design program Solid Works. To guarantee the reliability of the designed elements, one proceeded to realize a study of the materials with those who are going to be constructed. For this purpose, metallographic and spectrometric tests were carried out, deepening the study of the implement blades of the equipment. Later, a simulation was performed using the Finite Element Method (MEF) with the Ansys multiphysical platform, corroborating the good structural performance of the implement. Later, proposal was analyzed to determine if the construction of the implement was viable or not, in reference to the help given by MAGAP pf Chimborazo. The work is concluded with the respective field tests, giving excellent results in the tillage of the soil, and becoming an improvement of the life of the farmers of the region.

KEY WORDS: <RIDGER'S DESIGN>, <RIDGER'S SIMULATION>, <RIDGER'S CONSTRUCTION>, <MATALLIC ANALYSIS>, <SPECTROMETRY>, <METHOD OF FINITE ELEMENTS (MEF)>, <SURCADORA REJA/VERTEDERA>, <DEPARTMENT OF AGRICULTURE RANCHING ACUACULTURA AND FISHING (MAGAP)>, <METHOD OF FINITE ELEMENTS (MEF)>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La agricultura de América Latina y el Caribe según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), destaca que el crecimiento de la agricultura ha sido relativamente cambiante en los últimos 20 años. Aunque el producto agrícola no supera actualmente el 10% del producto interno bruto total, su participación no ha perdido importancia con respecto a las demás actividades en que se especializa la región.

La tecnología ha cobrado importancia en los últimos años porque, con su implementación, es posible lograr un aumento de la producción, aunque, generalmente por razones económicas, no todos los productores tienen fácil acceso a los adelantos tecnológicos. En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre los países del primer mundo y los países en desarrollo del continente americano, donde se puede verificar ciertas características con respecto a la explotación de la tierra.

Tabla 1. Comparación de la agricultura en América

AMÉRICA ANGLOSAJONA	AMÉRICA LATINA
Predominio de grandes explotaciones.	Desequilibrios en la tenencia de la tierra.
Reemplazo de mano de obra agrícola por maquinaria.	Gran cantidad de población dedicada a la actividad.
Rendimientos muy elevados.	Bajos rendimientos
Abundante inversión de capitales.	Escasa inversión de capitales.
Uso de fertilizantes y plaguicidas con cuidado del suelo.	Poco uso de fertilizantes y plaguicidas.
Alto grado de tecnificación.	Insuficiencia de recursos tecnológicos.
Asesoramiento científico constante.	Escasez de asesoramiento científico.
Relación estrecha entre la producción y la industria.	Producción comercializada directamente.
Buena calidad de vida del campesino.	Precaria calidad de vida del campesino.

Fuente:

http://www.telpin.com.ar/InternetEducativa/PeriodicoTEduca/actividadeseconomicas/la_agricultura_en_america.htm

En nuestro país, el Ecuador, los últimos gobiernos, han desarrollado sus ofrecimientos dentro de sus campañas electorales, planteando que los ecuatorianos “retornen al agro”, sin embargo, nunca se ha delineado una verdadera política agraria coherente y sustentable; siempre ha sido el sector más desprotegido de la sociedad, y consecuentemente los pequeños y medianos agricultores se encuentran en un completo abandono y en una total e inaguantable situación de pobreza.

Por esto es recomendable exigir a las principales autoridades y ministerios, como es el caso del MAGAP, dotar de infraestructura, transferencia tecnológica, líneas de crédito adecuadas (oportunas y con tasas de interés preferencial), con lo que, nuestros agricultores se comenzarían a impulsar un sostenido desarrollo socioeconómico del agro y, por consiguiente, del país.

En la provincia de Chimborazo se han venido desarrollando hasta la actualidad técnicas agrarias muy rudimentarias, de producción mínima y de procesos de labrado de tierra artesanales, para los cuales se utilizaba la fuerza animal y mecanismos de madera hechos por las mismas personas; sin estipular herramientas e implementos que faciliten el trabajo y hagan más productivas las labores del campo.

En la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se han venido desarrollado tecnológicamente el diseño y construcción de los implementos para maquinaria agrícola e industrial con el afán de vincularse al país y mejorar el estilo de vida de los agricultores.

1.2 Justificación

Con el diseño de implementos agrícolas que complementen el trabajo generado por el motocultor, se consigue aumentar la eficiencia de los procedimientos agrícolas para el arado de la tierra, debido a que estas técnicas disminuyen tiempo y mano de obra.

1.2.1 Justificación técnica.- La utilización de grandes tractores provocan grandes problemas ocasionados por sus sistemas de arado que implican debido a su peso produciendo efectos negativos como es la compactación del suelo, además con un correcto equipamiento de los motocultores se evitará la adquisición de maquinaria pesada

logrando disminuir el consumo de combustible y ahorrar espacio para el almacenamiento del motocultor y de aperos.

1.2.2 *Justificación económica.*- Cuando se adquiere un motocultor nuevo viene dotado de un único accesorio que ofrecen las casas comerciales de motocultores denominado “rotavator”, el cual es costoso y no proporciona un eficaz trabajo agrícola.

Este es un punto favorable para el desarrollo del presente proyecto, debido a que con el diseño de accesorios más adecuados aumentarán la diversificación de funciones a realizar y disminuirán los costos de producción agrícola.

1.2.3 *Justificación social.*- El ministerio de agricultura, ganadería y pesca (MAGAP), regional de Chimborazo, cuenta con un número considerable de motocultores que han sido entregados dentro del país, sin embargo, no han podido ser utilizados debido a que no cuentan con los aperos apropiados para brindar un funcionamiento eficaz, produciendo un efecto negativo en el sector campesino en cuanto tiene que ver con la versatilidad de maquinaria y mejoramiento en la producción agrícola.

1.3 Problema

En el MAGAP de la provincia de Chimborazo existen alrededor de 150 motocultores YTO DF-15L acumulados en sus patios, que se importaron para suplir las necesidades de los agricultores chimboracenses, los que presentan baja fiabilidad en su órgano de labranza denominado “rotavator” o “rototiller”, el cual presenta resistencia inferior a la que los terrenos de la provincia necesitan para ser labrados por tanto han provocado su rotura y a razón de estos quedan sin ser utilizados en busca de mejoras en sus implementos de laboreo del suelo.

Como resultado a esto, los agricultores no han adquirido la maquinaria, dado que incurriría en gastos de reparaciones e implementaciones, por lo tanto los motocultores se encuentran en bodega por no tener más accesorios adecuados para el laboreo agrícola, provocando pérdidas económicas por almacenamiento y no contribuye al desarrollo agrícola.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo General.* Diseñar y construir una surcadora para motocultor YTO DF-15L para uso de parcelas del MAGAP en la provincia de Chimborazo.

1.4.2 *Objetivos Específicos:*

- Establecer los tipos de surcadoras que sean adaptables al motocultor, para seleccionar la mejor alternativa.
- Realizar el diseño CAD del prototipo de surcadora para el motocultor y poder obtener una referencia virtual de los mecanismos y elementos.
- Simular el diseño del prototipo de surcadora mediante MEF para verificar su fiabilidad.
- Construir el prototipo de laboreo del suelo, utilizando los métodos y técnicas establecidas en la construcción de implementos agrícolas.
- Ejecutar las pruebas de campo pertinentes del implemento agrícola para verificar el funcionamiento del mismo.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Los Motocultores

Conocidos también como tractores monoeje (un sólo eje de ruedas), son máquinas polivalentes que ofrecen grandes posibilidades en la agricultura minifundista (pequeñas explotaciones), en la agricultura de ocio, en los servicios municipales o terciarios y como complemento del tractor en la agricultura profesional latifundista, sobre todo en explotaciones hortofrutícolas y vitivinícolas (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009).

Figura 1. Motocultor



Fuente: <http://dftractor.es/2b-DF-15L-walking-tractor.html>

2.1.1 *Datos generales del motocultor YTO DF-15L.* Las características técnicas de este motocultor son tomadas del catálogo del fabricante, los mismos que servirán como referencia para el diseño de implemento a diseñar.

Tabla 2. Ficha técnica Motocultor YTO DF-15L

Marca	YTO
Tipo	Eje sencillo de propósito dual para tracción.
Modelo	DF-15L
	Motor
Tanque de combustible	9 – 11 lt diésel

Tabla 2. (Continuación) Ficha técnica Motocultor YTO DF-15L

Aceite motor	3 – 3,5 lt aceite SAE 40/30 (invierno)
Velocidad del motor (rpm)	2200
Motor tipo	Monocilindro, 4 tiempos
Rototiller	
Transmisión principal	6,5 lt aceite para transmisión SAE 90
Trasmisión secundaria	0,8 lt aceite para transmisión SAE 90
Velocidad de rototiller (rpm)	211/345 baja/alta
Carrocería	
Dimensiones (L x A x Alt) (mm)	2680 x 960 x 1250
Peso (kg)	509/499
Rendimiento	
Fuerza de Tracción (kg-f)	221
Potencia de salida (kW/HP)	12/16
Torque máximo (Nm)	257
Ancho de labranza (mm)	600
Mínima distancia al suelo (mm)	185

Fuente: Manual de Operación Motocultor YTO DF-15L

2.1.2 Partes principales del motocultor. Todas las partes y órganos del motocultor son importantes, sin embargo las que diferencian un motocultor de otro son: el manubrio, palanca de velocidades, aperos, motor, trasmisión, ruedas, chasis.

Figura 2. Partes constitutivas de un motocultor.



Fuente: <http://docplayer.es/3760903-Universidad-autonoma-chapingo.html>

2.1.2.1 El motor. Determinar qué tipo de motor debe equipar el motocultor es una de las cuestiones fundamentales y a la vez es la forma de definir el dimensionado de la

máquina; en definitiva la potencia necesaria a disposición para el uso a que se destina o la superficie a trabajar.

Figura 3. Motor de Motocultor



Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/single-cylinder-engine-china-jiangdong-diesel-engine-60397369179.html?s=p>

En términos generales, se puede afirmar que para la agricultura de ocio se precisan motores de 5 a 8 CV de potencia, ya sean a gasolina o diésel. Si además de la fresa se deben usar aperos o implementos que requieren de mayor potencia, podemos fijar la potencia límite en 10 CV (barras de siega, los cortacéspedes o las turbinas quitanieves). A partir de 10 CV las potencias se consideran semi-profesionales. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

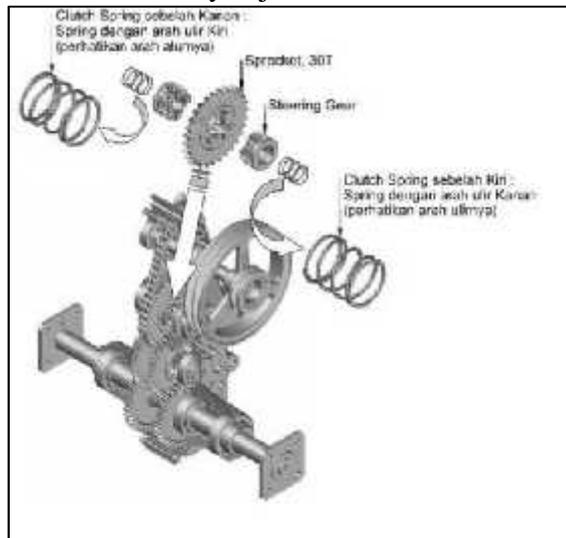
2.1.2.2 *Los motores diésel.* Si bien es cierto que por sus características los motores diésel son más caros que los motores de gasolina, también hay que valorar bajo el aspecto económico que el diésel es un combustible más barato que la gasolina.

Además, los motores diésel en general duran mucho más que los motores de gasolina. El combustible no es fácilmente inflamable ni explosivo y no sufre degradación alguna con el paso del tiempo, por lo que su almacenaje ofrece ventajas considerables. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

2.1.3 *El diferencial.* Es un mecanismo alojado en el interior de la caja de cambios que está formado por distintos engranajes y su misión consiste en permitir diferentes velocidades de giro para cada una de las ruedas.

Si la máquina no incorpora diferencial, las dos ruedas del motocultor giran a la misma velocidad como si estuvieran unidas en su transmisión interna en la Caja de Cambios.

Figura 4. Diferencial y caja de cambios de un motocultor



Fuente: <http://traktorsawahquick.blogspot.com/2016/10/cara-memperbaiki-traktor-quick-g1000.html>

La regla general es:

No es necesario el diferencial para motocultores ligeros ya que su maniobrabilidad es buena en sí misma.

Tampoco lo es para los motocultores que deben transitar por caminos de montaña, ya que si necesitamos parar la máquina sobre terreno en pendiente la ausencia del diferencial hace que ésta se mantenga estática (con diferencial sería imposible que se mantuviera inmóvil). Es totalmente imprescindible el diferencial en motocultores de tamaño medio o superior (10 o más CV de potencia) porque hace que la maniobrabilidad sea superior. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

2.1.4 Las ruedas. En el mercado se puede encontrar para un mismo modelo de motocultor ruedas de distintas dimensiones, pero en la práctica es suficiente con distinguir dos tipos.

Las ruedas de menor diámetro se emplean en los motocultores que trabajan con fresa, mientras que las ruedas de mayor diámetro se emplean cuando el motocultor se usa con remolque.

Cuando se utilizan otros aperos es aconsejable solicitar información al fabricante del motocultor o del apero en cuestión para emplear la rueda más adecuada.

Figura 5. Ruedas de motocultor



Fuente: <http://www.bcsagricola.com/blog/post/lo-que-tenemos-que-saber-para-elegir-un-motocultor>

El fabricante del motocultor ofrece para cada modelo la fresa dimensionada acorde a la potencia del mismo. Es importante resaltar que el ancho entre ruedas del motocultor debe ser igual o inferior a la anchura de trabajo de la fresa, ya que de lo contrario la huella de los neumáticos pisaría el terreno trabajado. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

2.1.5 *Factores que inciden en el laboreo del suelo.* La labranza del suelo debe proporcionar confort y seguridad, para esto es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

2.1.6 *La ergonomía.* Cuando tomamos en consideración los movimientos involucrados en la actividad diaria del operador y mejoramos su interacción con la máquina en términos de eficacia, seguridad y confort, estamos hablando de la ergonomía.

Para que sea la máquina la que se adapta a quién la usa y no al contrario, se tiene que tener en cuenta algunos aspectos importantes: Las manceras (manillar) deben ser regulables en altura para asegurar la posición correcta del utilizador, y lateralmente (p.ej. para fresar evitando que el operario pise el terreno que se está trabajando), además de ser reversibles para poder adaptar aperos frontales, tales como una barra de siega por ejemplo. También tienen que estar provistas de algún tipo de sistema anti-vibraciones mediante silentblocks, ya que la reducción de las vibraciones se traduce en menor fatiga para el operador. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

2.1.7 *La seguridad.* El motocultor es una máquina pionera en el trabajo de las

labores agrícolas que en su dilatada vida ha permitido la incorporación de muchos sistemas de seguridad. Algunos de ellos han hecho variar inclusive la arquitectura de la máquina, dado que cualquier órgano en movimiento susceptible de herir al operario o a personas próximas se ha protegido mediante carenados, de forma que los elementos en movimiento no pueden alcanzar a personas ni proyectar elementos del terreno sobre éstas.

En materia de seguridad, los principales aspectos a verificar son:

- El motocultor debe contar con un dispositivo que, en el momento de la puesta en marcha, impida el arranque en el caso de que la caja de cambios no esté en punto muerto y la toma de fuerza no esté desembragada (desacoplada), evitando de este modo el accionamiento de la máquina o del apero al arrancar el motor.
- Un mando de conexión/desconexión situado en las manceras actúa de forma que la máquina se desplaza y el apero funciona sólo si dicho mando se mantiene pulsado. Si el operario suelta el mando, un sistema de seguridad “motorstop” detiene el avance de la máquina y también el apero.
- En ningún caso la fresa debe funcionar cuando se conecta la marcha atrás.
- La fresa debe ir siempre provista de un carenado integral de protección.
- Todos los motocultores deben tener el distintivo CE y un certificado de conformidad. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

2.1.8 *Tipos de implementos de labranza.* Los aperos pueden clasificarse según:

Tabla 3. Tipos de implementos de labranza

Su forma de funcionamiento.	No accionados por el tractor.
	Arados sin volteo de suelo
	Subsolador
	Cinzel o chichel
	Arados con volteo de suelo
	De vertedera
	De discos
	Rastras

Tabla 3. (Continuación) Tipos de implementos de labranza

	De dientes
	De discos
	Cultivadores
	De dientes rígidos
	De dientes flexibles
	De dientes vibrantes
	Rodillos
Accionadas por la toma posterior de potencia.	Fresadoras
	De eje transversal (rotovátor)
	De eje vertical (azadas rotativas)
	Cavadoras
	Rastra de dientes accionadas
	Oscilante
	Rotativa
	Arados accionados
	De vertedera rotativa
	De discos accionado
	Aporcador accionado
Según el acoplamiento al tractor	Arrastrados o remolcados
	Suspendidos
	Semi-suspendidos
Según la labor que realizan los aperos	Aperos de alzar o primarios
	Aperos para labores Secundarias
	Aperos especiales
	Arados subsoladores
	Viñedos
	Aporcadores

Fuente:

https://mecanizacionagricolafca.files.wordpress.com/2013/07/arado_de_reja_botta.pdf

2.1.9 Campos de aplicación del motocultor.

- En la agricultura minifundista (pequeñas explotaciones y/o con parcelación deficiente). En las pequeñas fincas rústicas son muy comunes las parcelas de reducidas dimensiones, irregulares y con malos accesos, complicados o impracticables para los tractores (es el caso, por ejemplo, de los cultivos en terrazas en las laderas de las montañas, o en pequeños bancales).

Por otro lado, las dimensiones de estas parcelas no justifican la adquisición de un tractor, (no resultaría rentable); máquina que además sería excesivamente aparatosa y poco práctica para desenvolverse con agilidad en las condiciones apuntadas. Todo lo contrario sucede con los motocultores, que resultan más apropiados por su tamaño y capacidad de maniobra puesto que son manejados a pie. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

- En la agricultura de ocio (prácticas agrícolas de fin de semana en pequeños huertos) y en la mantención de los espacios verdes en torno a casa (uso privado, no profesional). El motocultor es el aliado ideal del agricultor a tiempo parcial, que cultiva una parcela sin considerar el tiempo empleado como un coste, sino como una actividad de ocio, un hobby.

Las posibilidades que da el motocultor permiten abarcar con menor tiempo y esfuerzo tareas excesivamente duras y penosas, evitando las grandes dosis de esfuerzo físico y las jornadas de trabajo excesivamente largas y duras propias del trabajo exclusivamente manual. Asimismo, también cabe destacar su facilidad de uso, ya que requiere pocos conocimientos técnicos. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

- En servicios municipales y/o terciarios, mantención de espacios verdes y jardinería. Para este tipo de trabajos, en los que es necesario realizar tareas muy diversas, sustituyendo el apero del motocultor obtendremos una máquina completamente versátil para múltiples usos: desbrozadora, cortacéspedes, motosegadora, quitanieves, barredora de hojas, etc.

Además, y como otra ventaja añadida, a diferencia de otras máquinas que se podrían usar para estas funciones, los motocultores se pueden transportar en una furgoneta, una pick-up, e incluso en un automóvil con portón trasero al que se puedan abatir los asientos posteriores, etc. Una utilización cada vez más extendida para este tipo de máquinas es su uso en jardinería y cuidado de huertos ornamentales. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

- En la agricultura latifundista (grandes explotaciones) como complemento del

tractor. En las grandes extensiones, donde impera el uso del tractor, también existen trabajos específicos para los que el motocultor es mucho más recomendable. Por ejemplo, cultivos que requieran maquinaria poco pesada para evitar la compactación del suelo y de ahí que se empleen los motocultores, entre otros medios. Los motocultores también se usan para completar el laboreo de los lindes y las cabeceras de las parcelas, etc. (El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz, 2009)

2.2 Labranza del suelo.

Labranza es la preparación del suelo para la siembra, también es el proceso de mantenerlo suelto y libre de malezas durante el crecimiento del cultivo. La operación básica es la roturación del suelo en la preparación de la cama de siembra. La roturación y aflojamiento del suelo es la fase más antigua de la labranza.

Se estima que en la prehistoria el hombre usó herramientas rudimentarias hechas de madera u otro material con las cuales pudiera aflojar el suelo. Posiblemente una rama de árbol fue la primera herramienta de labranza usada por el hombre.

Luego, con el uso del fuego o herramientas manuales de piedra, pudo el hombre modelar las ramas de los árboles con sus bifurcaciones, de manera que la herramienta de labranza poseía ya timón, manija de comando y una punta más o menos aguda para roturar el suelo.

Con el tiempo el hombre comenzó a usar fuerza animal para arrastrar el arado. (UNER, 2014)

2.2.1 *Objetivos de la labranza del suelo.* Los objetivos que persiguen las labores al preparar una cama de siembra son los siguientes:

- Crear una condición adecuada para el desarrollo del cultivo.
- Mezclar los residuos vegetales y animales mejorando la fertilidad al suelo.
- Enterrar y destruir malezas u otro tipo de vegetación indeseable.
- Descompactar el suelo para permitir una buena circulación de aire.
- Acondicionar el suelo para que retenga las aguas de lluvias.
- Cortar los ciclos de vida de los insectos, destruyendo sus huevos, larvas y nidos.

- Acondicionar la superficie del suelo para prevenir erosión eólica.

Los resultados de la aradura serán satisfactorios si el operador del arado sabe que condiciones de suelos se necesitan para el cultivo a implantar. El arado acondiciona una capa de suelo que constituye la cama de semillas y de raíces simultáneamente. Debemos recordar que el cultivo vive un 95% del tiempo en la cama de raíces y solo un 5% en la cama de semilla.

2.2.2 Arado del suelo. El primitivo arado romano ha venido utilizándose, apenas modificado, hasta nuestros días. El arado clásico, de vertedera, consta básicamente de una reja que abre el surco y una lámina metálica de curvatura especial que voltea la tierra levantada.

La tracción mecánica ha permitido la creación de arados de varios cuerpos (bisurcos, trisurcos, etc.). El arado de discos sustituye la reja y la vertedera por un disco cortante situado oblicuamente con relación al sentido de avance.

Hay arados con órganos de corte horizontal, que no mezclan las capas del suelo. En los países subdesarrollados, en las pequeñas parcelas, es muy común el uso de arados de manquera, como se denomina a los que empuñan con las manos, tirados por bueyes, aunque en las fincas mayores predominan los arados tirados por tractor. (ECU-RED, 2016)

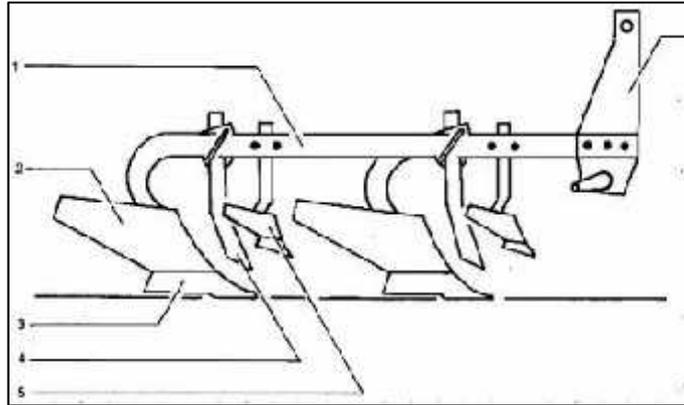
Figura 6. Mecanismo de arado



Fuente: <https://www.ecured.cu/Archivo:Vertedera.jpg>

2.2.2.1 Arado de reja y vertedera. El arado de reja y vertedera es uno de los más comunes. La reja penetra en la tierra y produce el corte de una porción de suelo que después es volteada con la vertedera, dejando abierto un surco en su recorrido.

Figura 7. Partes de arado por reja - vertedera



Fuente: <http://agroingeniero.blogspot.com/2007/06/arado-de-vertedera.html>

1. Bastidor (chasis)
2. Vertedera
3. Reja
4. Cuchilla
5. Descortezadora
6. Dispositivo para el enganche en los tres puntos

2.2.2.2 *Elementos de trabajo de los arados de reja y vertedera.* Los términos usados corrientemente para denominar los principales componentes del arado son muy variados, de manera que daremos a continuación los que son generalmente aceptados.

- **Cuerpo.-** Se aplica al conjunto completo de piezas de trabajo para labrar un surco. Los cuerpos de los arados pueden ser de uso general, para labores profundas, etc.
- **Reja.-** Es la pieza que realiza el corte horizontal del prisma de tierra y lo separa del suelo que queda por debajo. Está montada en la parte delantera del cuerpo.
- **Vertedera.-** Es una lámina de metal sujeta con tornillos y convexa en toda su longitud que tiene como función voltear el pan o prisma de tierra.
- **Dental.-** Es la pieza que recibe el empuje lateral debido al volteo del pan o prisma de tierra.
- **Cuchilla.-** Realiza un corte vertical separando el prisma de tierra de la parte que no queda labrada en ese pase.

En muchos arados se coloca una cuchilla circular (disco) en posición vertical delante del cuerpo del arado, la cual cumple con la función de realizar un corte vertical que favorece el corte de la cuchilla, sobre todo en suelos pesados (ECU-RED, 2016)

2.2.2.3 *Arado de discos.* Se trata de un arado cuyos órganos de corte y volteo son discos en forma de casquete esférico que giran alrededor de ejes unidos al bastidor. Estos ejes forman un determinado ángulo con respecto a la dirección de avance, encontrándose también inclinados con respecto al plano horizontal.

Figura 8. Arado de discos



Fuente: <https://www.ecured.cu/Arado>

La tierra cortada por el disco lo presiona y lo hace girar. El disco entonces arrastra y eleva el suelo que, al alcanzar cierta altura, desvía la trayectoria de las partículas, que caen al fondo del surco provocando de esta manera el volteo. En algunos casos a los discos les antecede una pequeña vertedera que ayuda en el volteo de la tierra. La diferencia del arado de discos del arado grada (rastra), que también utiliza discos, es que en el primero cada disco tiene su propio eje.

Los arados de discos son recomendados para:

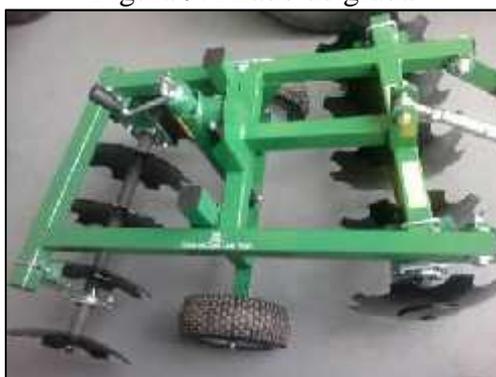
- Terrenos pesados y adherentes, en los que existe gran dificultad de deslizamiento del suelo sobre la superficie de volteo.
- Terrenos secos y duros en donde es muy difícil la penetración del arado de rejas y vertederas.
- Terrenos con gran cantidad de piedras y raíces, ya que el disco rueda sobre el

obstáculo en lugar de engancharlo como lo hace la punta de la reja.

- Terrenos en los cuales por razones tanto de su constitución, textura y/o de estructura, el arado no debe invertir totalmente la capa de tierra, en especial para evitar la erosión. Más adelante veremos que hay otros arados con los cuales puede combatirse más adecuadamente la erosión.
- Terrenos muy abrasivos en los cuales se produciría un serio desgaste de las piezas que no sean giratorias. (ECU-RED, 2016)

2.2.2.4 Arado grada (o arado rastra). Por su diseño, concepción y tipo de labor resultan intermedios entre el arado de discos y la grada (rastra) de discos, es decir, los discos están montados en un único bastidor o cuerpo (chasis), asemejándose a los arados, pero todos los discos están a menor distancia entre sí, son verticales y solidarios en un eje (no son independientes como en el arado de discos) como ocurre en las gradas (rastras). Sirven tanto para labores primarias como secundarias aunque son típicos arados rastrojeros. Hace una labor similar al arado de discos, pero se diferencia por tener menos profundidad de trabajo y porque queda una mayor cobertura en la superficie, favorecido por la mayor proximidad entre los discos.

Figura 9. Arado de grada



Fuente: <https://tiendatractoresburgos.com/2013/06/10/grada-atv-quad/>

Se utiliza para suelos livianos (arenosos o sueltos), y con la misma potencia de tractor se logra un mayor ancho de trabajo que con el arado de discos debido a la menor penetración de éstos. El diámetro de los discos varía entre 22 y 24 pulgadas, es decir de 560 a 610 mm, el espesor es de 5 mm. La separación entre ellos de 200 a 250 mm. El eje toma un ángulo de 35° a 45° respecto a la dirección de avance. Es utilizado frecuentemente

combinado con una tolva sembradora (cajón sembrador) para arar y sembrar en una sola operación, en lo que se llama *mínima labranza*. La ventaja del uso de este arado es que deja mayor cantidad de residuos en superficie, de manera que evita la erosión eólica por dejar el suelo cubierto de residuos vegetales y por la misma razón reduce la erosión hídrica (efecto golpeteo) ya que protege al suelo de la acción erosiva de las gotas de agua (planchado del suelo).

2.2.2.5 Arado de púas o cinceles. El arado de cinceles está formado por púas verticales que penetran en el suelo y que al ser arrastradas por el tractor lo remueven sin invertir el pan de tierra. Por ello incorpora poco material superficial, entre el 20 al 30%. Este arado debe utilizarse con suelo seco, en cuyas condiciones las púas, que son flexibles y vibran, resquebrajan el suelo no solo verticalmente sino también horizontalmente y por lo tanto no queda un límite definido entre lo trabajado y el que no lo fue, lo cual no ocurriría si el suelo estuviera húmedo.

Figura 10. Arado púas o cincel



Fuente: <http://yomel.viarural.com/?p=251>

Elementos de trabajo de los arados de cinceles. El órgano de roturación de un arado de cinceles está compuesto por dos elementos fundamentales, el cincel y el arco. Generalmente los arados de cinceles tienen varios de estos elementos.

- Cincel: Es la pieza que se fija en el extremo del arco y produce la penetración y corte del suelo. Es de acero y en algunos casos está reforzada (acorazada) para evitar un rápido desgaste.
- Arco: Es la pieza, generalmente de acero de muelle, que se sujeta al chasis del arado de modo tal que le sea posible vibrar para resquebrajar el suelo.

2.3 El diseño mecánico

El diseño mecánico es una tarea compleja que requiere muchas habilidades. Es necesario subdividir grandes relaciones en una serie de tareas simples. La complejidad del tema requiere una secuencia en la que las ideas se presentan y se revisan.

Primero se aborda la naturaleza del diseño en general, luego el diseño en la ingeniería mecánica en particular. El diseño es un proceso iterativo con muchas fases interactivas. Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, entre los que se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de diseño por computadora.

El ingeniero de diseño no sólo necesita desarrollar competencia en su campo, sino que también debe cultivar un fuerte sentido de responsabilidad y ética de trabajo profesional. (Richard G. Budynas, 2008)

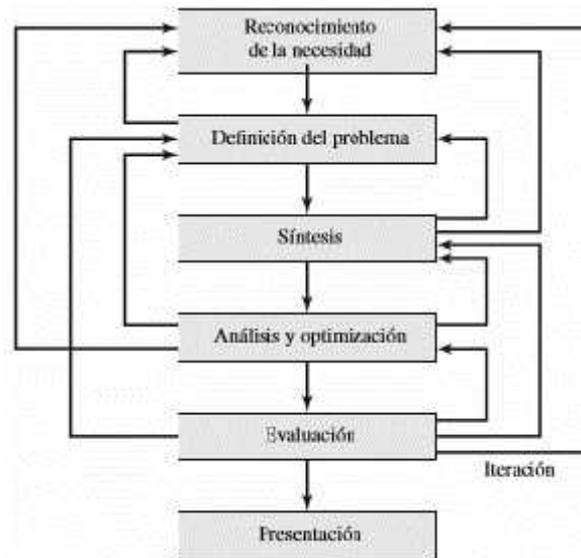
Hay funciones que deben realizarse mediante códigos y normas, por la siempre presente economía, por seguridad y por consideraciones de responsabilidad legal del producto. La supervivencia de un componente mecánico está frecuentemente relacionada con el esfuerzo y la resistencia.

Los aspectos de incertidumbre siempre han estado presentes en el diseño en la ingeniería y se abordan de manera típica mediante el factor de diseño y el factor de seguridad, ya sea en la forma determinista (absoluta) o en un sentido estadístico. El enfoque estadístico se refiere a la confiabilidad del diseño y necesita buenos datos estadísticos.

2.3.1 *Fases e interacciones del proceso de diseño.* El proceso completo, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la figura 11, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad.

De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño, algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación. En las siguientes secciones se examinarán estos pasos del proceso de diseño con más detalle (Richard G. Budynas, 2008).

Figura 11. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones.



Fuente: (Richard G. Budynas, 2008)

2.3.2 Consideraciones de diseño. Cuando se emplea la expresión consideración de diseño se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema (Richard G. Budynas, 2008).

- Funcionalidad
- Superficie
- Ruido
- Manufacturabilidad
- Resistencia/esfuerzo
- Lubricación
- Estilo
- Utilidad
- Comercialización
- Forma
- Costo, mantenimiento
- Desgaste
- Fricción
- Tamaño
- Volumen
- Corrosión
- Peso
- Control

2.3.3 Materiales para la construcción de aperos agrícolas.

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0,03 y 2%. Pero se le pueden añadir otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades. Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución.

- Aceros al carbono. El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre. Con este tipo de acero se fabrican máquinas,

carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, pasadores de pelo, etc.

- Aceros aleados. Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.
- Aceros de baja aleación ultrarresistentes. Es la familia de aceros más reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.
- Aceros inoxidables. Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina, como pucheros, gracias a que no oscurece alimentos y es fácil de limpiar.
- Aceros de herramientas Estos aceros se emplean para fabricar herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas. Contiene wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad (CAJAS, y otros, 2012).

2.3.3.1 *Acero al Carbono Estructural ASTM A36.* Se produce bajo la especificación ASTM A36. Abridando los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para clavados, atornillados, o soldados de la construcción de puentes,

edificios, y estructuras de diferente propósitos. El acero estructural A36 o acero estructural con carbono, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios, puentes y máquinas.

- **Aplicaciones del Acero A36:** Las aplicaciones comunes del acero estructural A36 es en la construcción, y es moldeado en perfiles y láminas, usadas en edificios e instalaciones industriales; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado; varillas y mallas electrosoldada para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos.
- **Requerimientos de tensión.** El acero A36 tiene como esfuerzo de fluencia mínimo de 36 ksi. Además, es el único acero que puede obtenerse en espesores mayores a 8 pulgadas, aunque estas placas como excepción, solo están disponibles con esfuerzo de fluencia mínimo inferior especificado, siendo este 32 ksi. Normalmente, el material de conexión se especifica como A36, sin importar el grado de sus propios componentes primarios. El esfuerzo último de tensión de este acero varía de 58 ksi a 80 ksi; para cálculos de diseño se utiliza el valor mínimo especificado.
- **Composición química del acero A36:** Tiene un contenido máximo de carbono que varía entre 0.25% y 0.29%, dependiendo del espesor (CAJAS, y otros, 2012).

2.3.4 *Definiciones fundamentales de diseño.* Es necesario describir ciertos criterios necesarios para entender de mejor manera el comportamiento y garantías que ofrecen los materiales.

2.3.4.1 *Carga (fuerza).* En física se la define como la capacidad física para realizar un trabajo o un movimiento. Es aplicada sobre un punto o una superficie de un cuerpo sus unidades son: [N, kgf]

2.3.4.2 *Momento.* Es analizado en un punto respecto de otro donde se está aplicando una fuerza capaz de producir un giro en el cuerpo en estudio, matemáticamente, igual al producto de la intensidad de la fuerza por la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el eje de giro.

2.3.4.3 *Esfuerzo y resistencia.* La supervivencia de muchos productos depende de la forma en que el diseñador ajusta el esfuerzo inducido por la carga para que sea menor que la resistencia en un punto de interés. En resumen, debe permitir que la resistencia exceda al esfuerzo por un margen suficiente, de manera que a pesar de las incertidumbres, la falla no sea frecuente.

- La resistencia es una propiedad de un material o de un elemento mecánico. La resistencia de un elemento depende de la elección, el tratamiento y el procesamiento del material.
- El esfuerzo es una propiedad de estado en un punto específico dentro de un cuerpo, la cual es una función de la carga, la geometría, la temperatura y el proceso de manufactura (Richard G. Budynas, 2008).

2.3.4.4 *Factor de seguridad.* Es la relación entre la carga a la que se encuentra sometido un material de cierta sección, sobre la carga máxima que acepta dicho material, el valor del factor de seguridad debe ser siempre mayor a 1.

2.3.4.5 *Fatiga.* La fatiga de los materiales es una reducción gradual de la capacidad de carga del componente, por la ruptura lenta de ese material, consecuencia del avance casi infinitesimal de las fisuras que se forman en su interior que son provocadas por el cambio de dirección de las cargas.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA TECNOLÓGICA, DISEÑO, SIMULACIÓN Y PRUEBAS DE CAMPO.

3.1 Estado del arte.

El motocultor YTO DF-15L cuenta con el elemento de labranza llamado rotocultivador o rotovalor, el cual recibe el movimiento del motor mono cilíndrico diésel de cuatro tiempos, además cuenta con dos ruedas de tracción, sus manubrios izquierdo para el frenado de la rueda y permitir el giro más el control del embragado; el manubrio derecho tiene la función de control de giro del motocultor y el acelerador del motor.

El rotovalor es arrastrado por la parte trasera del motocultor en la tapa de la transmisión, actualmente se ofrecen distintos tipos de aperos para motocultores, como se pueden apreciar en la figura 12.

Figura 12. Arados Ofrecidos Actualmente



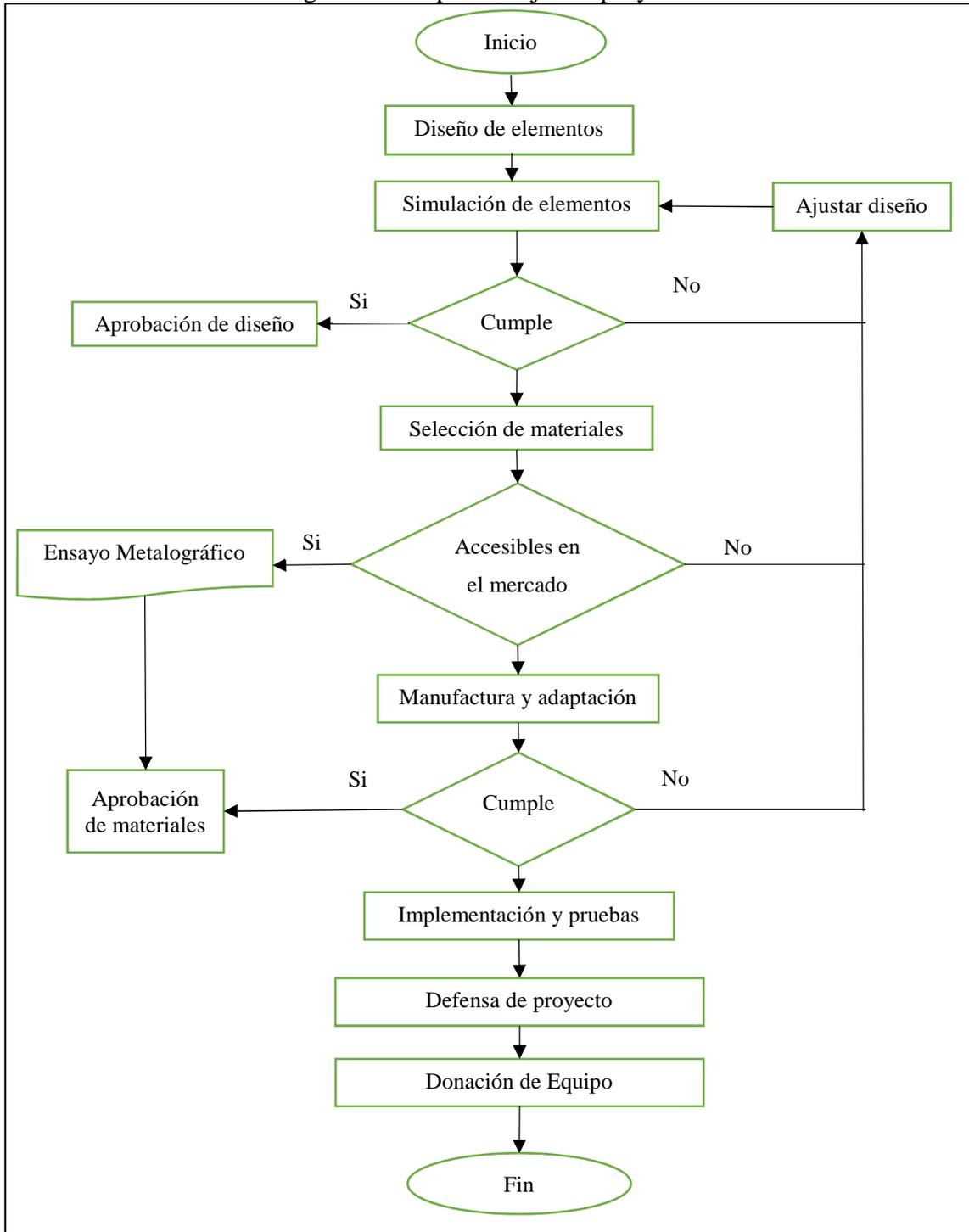
Fuente: http://www.ilgaimportadora.com/?page_id=317

La importancia de implementar nuevos aperos para el motocultor YTO DF-15L radica en la necesidad de labrar el suelo de diferentes maneras, ya que los vegetales requieren de diferentes tipos de siembra.

3.2 Metodología del diseño.

Se tomó en cuenta ciertos métodos y condiciones para llegar a la construcción e implementación del apero surcador, para esto se realizó un mapa de flujo para evidenciar el proceso.

Figura 13. Mapa de flujo del proyecto



Fuente: Autores

3.3 Parámetros y requerimientos de diseño del implemento.

3.3.1 *Parámetros de campo necesarios para el diseño.* Es necesario saber las necesidades que se presentan al momento del laboreo del suelo, por lo tanto se recopiló información acerca de los requerimientos y restricciones que debería tener el implemento.

Tabla 4. Parámetros de Campo Para el Diseño del Implemento.

Parámetro	Requerimiento	Necesidad / Restricción
Usos Comunes	Labranza de Tierra	El terreno no todas las veces es el apropiado
	Estado del suelo	El terreno a trabajar puede presentarse, muy seco y duro.
Herramientas Actuales	Surcadora Manual/Animal	Mecanismos de madera, Animales no controlables
	Azadón	Herramienta filosa, insegura
	Tractor Agrícola	Compactación del Suelo, cantidad de terreno grande
Costos de Labranza	Manual/Animal	Bajo Costo
	Tractor	Alto costo
	Motocultor	Bajo costo
Estado del Agricultor	Azadón	Mayor esfuerzo de trabajador
	Tractor/Motocultor	Menor Esfuerzo del Trabajador
Cantidad de Trabajo	Latifundios	Surcadoras Múltiples
	Minifundios	Surcadora Única

Fuente: Autores

3.3.2 *Parámetros conceptuales de diseño.* Es necesario definir las fases y/o etapas del proceso para el diseño del implemento tomando en cuenta el planteamiento del problema en el proceso del laboreo del suelo, para posteriormente generar amplias soluciones de manera esquematizada (Figura 13).

3.3.2.1 *Descripción del surcador.* El diseño de un implemento de surcos de tierras empleando un modelado 3D y posteriormente un análisis de resistencia mecánica mediante MEF, conllevará al implemento labrar la tierra de forma confiable, construyéndose la mayoría de sus partes en acero existente en el mercado ecuatoriano. El implemento debe ser lo más simplificado posible debido a que será acoplado al motocultor y es necesario mantener el peso que tiene el implemento a extraer, en este caso, el rotovator.

3.3.3 *Selección de alternativas.* Se utiliza la matriz morfológica para hacer una comparación de las opciones de diseño del implemento para el motocultor. La comparación de soluciones es, el motivo central del diseño, que agrupa y esquematiza las ideas, para lo cual se recurre al análisis morfológico.

Tabla 4. Matriz Morfológica

IMPLEMENTO	OPCIONES		
	1	2	3
TIPO DE SURCADORA	Reja 	Reja/ Vertedera 	Cinzel 
TIPO DE CUCHILLA	Soldada tipo V 	Fijación con pernos en V 	Fijación con pernos plana 
MATERIAL ESTRUCTURAL	Acero bajo contenido de carbono AISI 1020	Acero con medio contenido de carbono ASTM A36	Aleaciones AISI 4140
MATERIAL DE CUCHILLA	Acero medio contenido de carbono AISI 1030	Acero medio contenido de carbono AISI 1018	Aleaciones especiales AISI A2
ACCIONAMIENTO	Manual/ Animal 		Autopropulsado 
PENETRACION AL SUELO	Contrapesas 		Fuerza Operario 

Fuente: Autor

Propuesta 1

Propuesta 2

Propuesta 3

3.3.3.1 *Propuesta tecnológica 1.* Se puede diferenciar un mecanismo de arado tipo reja cuya estructura se construiría en acero ASTM A36, la cual se va a fijar mediante pernos a una cuchilla tipo V elaboradas con acero AISI 1030 para implementarla en un mecanismo de accionamiento manual y animal; la fuerza de penetración al suelo va a ser del operario.

3.3.3.2 *Propuesta tecnológica 2.* Se propone la construcción de una surcadora tipo reja – vertedera, cuya cuchilla va a ser anclada mediante pernos a la estructura. El material de la estructura es ASTM A36 y el material de la cuchilla es AISI 1018. El accionamiento del implemento es autopropulsado por un motor térmico y la fuerza de penetración al suelo es proporcionada por el operario.

3.3.3.3 *Propuesta tecnológica 3.* Se considera la implementación de un mecanismo de arado tipo cincel en una estructura de acero ASTM A36, la cuchilla de material AISI 1080 se va a fijar a la estructura mediante pernos. El implemento es autopropulsado y la fuerza de penetración la proporciona el operario.

3.3.3.4 *Matriz de ventajas y desventajas de propuestas tecnológicas.*

Tabla 6. Ventajas y desventajas de alternativas.

ALTERNATIVAS	VENTAJAS	DEVENTAJAS
PROPUESTA 1	<ul style="list-style-type: none"> • Material existente en el mercado. • Elementos de fácil construcción. • Costos de construcción aceptables. • Alta resistencia al desgaste de las cuchillas. • Alta resistencia al impacto de cuchillas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de apriete de los pernos. • Durabilidad menor.
PROPUESTA 2	<ul style="list-style-type: none"> • Material existente en el mercado. • Alta resistencia al desgaste de las cuchillas (Aceros anti abrasivos). • Alta resistencia al impacto de cuchillas. • Durabilidad aceptable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de apriete de los pernos.
PROPUESTA 3	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales no comunes en mercado. • Alta resistencia al desgaste. • Durabilidad mayor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de apriete de los pernos. • Peligro de rotura por impacto de cuchillas. • Costos de construcción elevados. • Materiales especiales.

Fuente: Autor

3.3.3.5 *Selección de mejor propuesta tecnológica.* Las alternativas están sujetas a un análisis técnico y económico; Se escogerá la alternativa que logre obtener el mayor

puntaje. Para poder realizar la estimación o valoración se acude a una escala valorada de 1 a 4, siendo de la siguiente forma:

- 1 = Malo o muy costoso.
- 2 = Bueno o costo alto.
- 3 = Muy Bueno o costo medio.
- 4 = Excelente o costo bajo.

Tabla 7. Análisis y Selección de Propuestas Tecnológicas

Característica	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Costo materiales	2	4	2
Durabilidad elementos	2	2	3
Costo construcción	3	3	2
Costo implementación	3	3	3
Seguridad	4	4	4
Costo reparaciones	1	3	2
Facilidad de Operación	4	4	4
Rendimiento de trabajo	3	3	1
TOTAL	22	26	21

Fuente: Autores

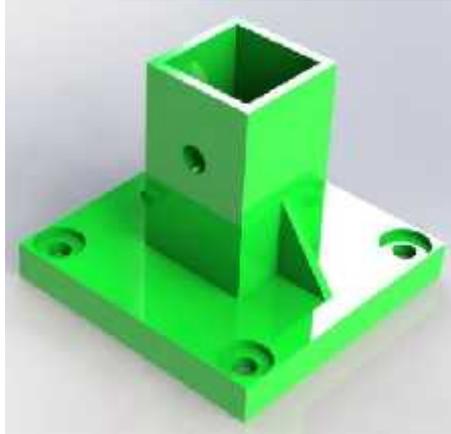
Se procedió a analizar las alternativas a partir de los resultados obtenidos, por lo cual se concluye que la mejor alternativa a seguir y en la cual será basado el proyecto para la construcción del implemento para el motocultor es la **propuesta tecnológica 2**.

3.4 Diseño del implemento surcador.

Para proceder al diseño geométrico de los elementos de soporte y labranza del implemento se procedió a utilizar la plataforma de modelado 3D “SolidWorks”, la cual también nos ayudará a evidenciar el ensamblado de todas las piezas.

3.4.1 *Diseño de anclaje al motocultor.* Se procedió a diseñar el elemento principal de anclaje de todo el implemento, el cual va sujetado por 4 pernos a la parte trasera de la transmisión del motocultor, en vez del anclaje del “rotovator”, brindando facilidad de ensamblaje, siendo también diseñado para que se puedan implementar otros aperos de arrastre.

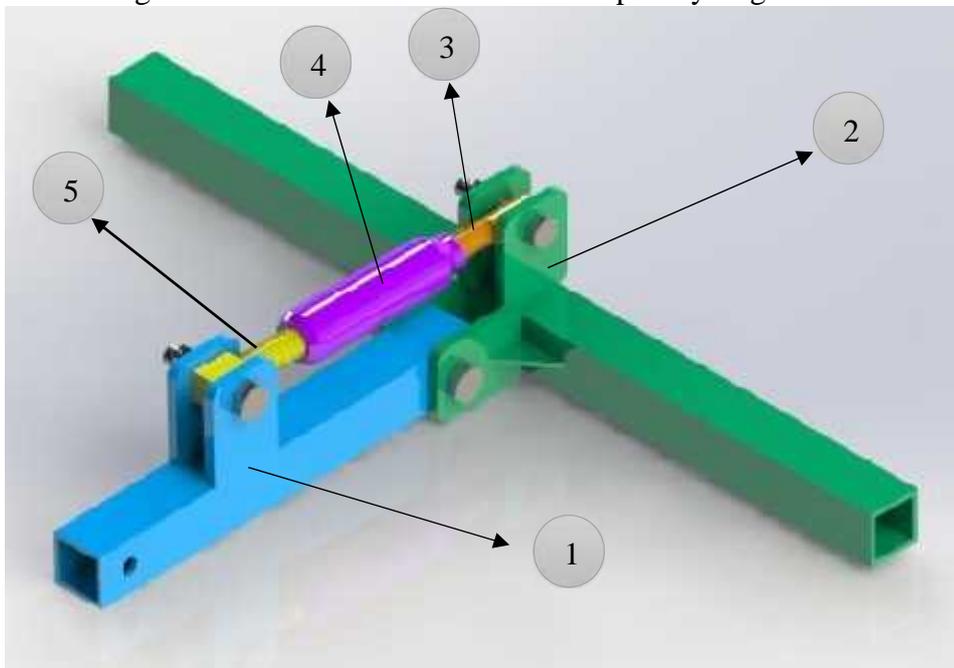
Figura 14. Diseño de Anclaje al Motocultor



Fuente: Autores

3.4.2 *Diseño de mecanismo de soporte y regulación.* Este mecanismo cumple con la función de sostener todo el implemento y está dotado de los soportes principales, el soporte (1) de color azul para el ensamble en el soporte de anclaje al motocultor y el soporte (2) de color verde tendrá la misión de sostener los dos surcadores de tipo reja – vertedera, también dispone de un mecanismo de regulación (3), (4) y (5) del ángulo de enclavamiento del implemento.

Figura 15. Diseño de Mecanismo de Soporte y Regulación



Fuente: Autores

Este mecanismo fue diseñado con la finalidad de proporcionar facilidad y rapidez al momento de la calibración del ángulo de incidencia del implemento al momento de labrar el suelo.

El giro del cilindro regulador proporcionará el ajuste de los pernos, si el giro del cilindro es en sentido horario los pernos se unirán axialmente provocando un movimiento hacia atrás del apero, por el contrario si el giro del cilindro regulador es en forma antihoraria los pernos se separarán axialmente y el apero se va hacia adelante.

3.4.2.1 *Regulación de ángulo de penetración del implemento.* Su papel es de regular la inclinación que va a tener el mecanismo de reja – vertedera del implemento, para adaptarlo a los requerimientos de labranza del suelo, para lo cual consta de las siguientes partes:

Figura 16. Diseño del Cilindro de Regulación



Fuente: Autores

Figura 17. Diseño de Pernos de Regulación del Mecanismo de Soporte y Regulación.

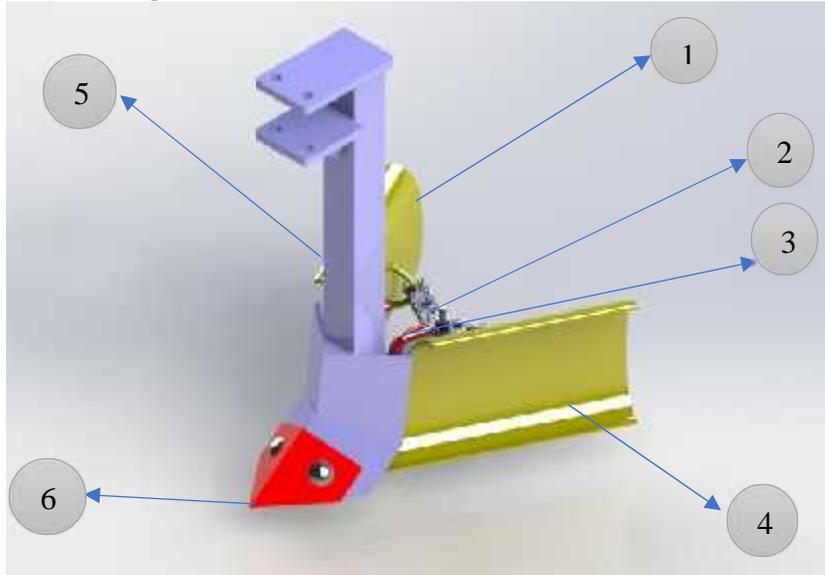


Fuente: Autores

3.4.3 *Diseño del mecanismo de labranza reja – vertedera.* Acoplan dos vertederas (derecha (1) e izquierda (4)) a cada mecanismo de labranza, para mejorar el acomodamiento de la tierra suelta para formar los surcos de siembra, éstas vertederas se acoplan a un tubo cuadrado de soporte (5) y a unas varillas tipo “L” (3), también se sujetan a dos barras perforadas (2) para ajustar su abertura .

El mecanismo se complementa con una cuchilla tipo “V” (6) en la parte frontal, el cual es el encargado de la penetración y desgarrado del suelo.

Figura 18. Diseño del Mecanismo de Labranza



Fuente: Autores

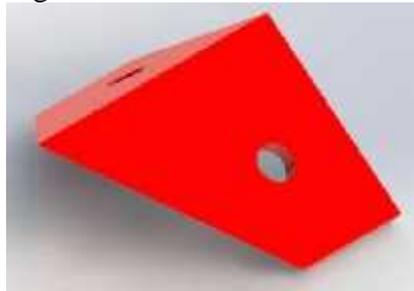
3.4.4 *Diseño de la reja.* La reja forma parte del soporte principal del mecanismo reja – vertedera, su función principal es romper la tierra y direccionarla hacia las vertederas, lleva anclada la cuchilla mediante dos pernos en su parte frontal.

Figura 19. Diseño de la Reja del Implemento de Labranza



Fuente: Autores

Figura 20. Diseño de la Cuchilla



Fuente: Autores

3.4.5 *Diseño de las vertederas.* Se adoptó la forma de arco para permitir que los sedimentos se orienten hacia los extremos y no exista derramamiento de tierra hacia el interior de las vertederas. Su punto de anclaje es un cilindro hueco que sirve para el alojamiento de la varilla tipo “L” para sostenerlas hacia el la reja, además llevan una oreja de sujeción de la barra perforada de ajuste de las vertederas.

Figura 21. Diseño de Vertederas



Fuente: Autores

3.4.6 *Diseño de los elementos de anclaje de las vertederas.* Se diseñó dos barras agujeradas de acuerdo a las aperturas requeridas para el labrado, además de las varillas tipo “L” que también servirá de soporte.

Figura 22. Diseño de Varilla de Sujeción tipo “L”



Fuente: Autores

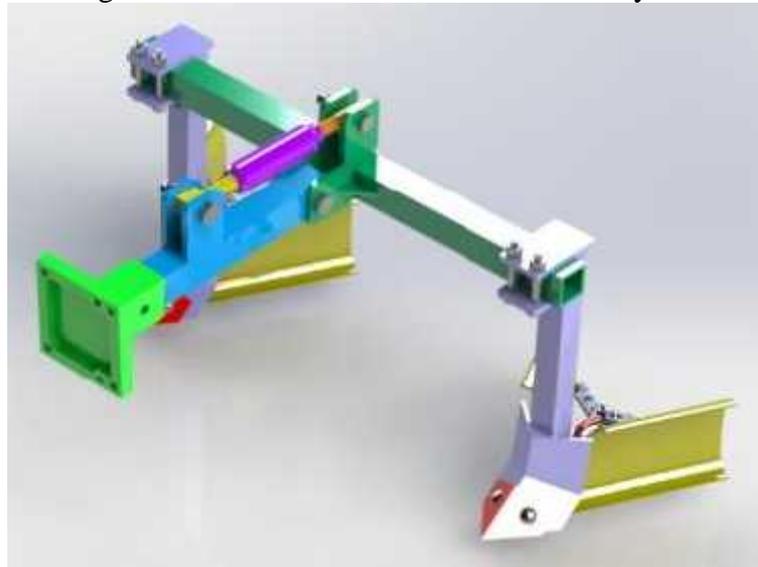
Figura 23. Diseño de Barra Agujeradas de Ajuste de Vertederas



Fuente: Autores

3.4.7 *Ensamblaje general.* Siguiendo la metodología del diagrama de flujo, se procedió a un pre ensamble virtual de los componentes para poder llegar a la implementación y garantizar que los elementos diseñados, construidos y seleccionados van a funcionar de manera correcta.

Figura 24. Diseño del Pre-ensamble del Proyecto



Fuente: Autores

3.5 Análisis de esfuerzos del implemento surcador.

3.5.1 *Cargas verticales de diseño.* Se efectúa un estudio de las cargas y esfuerzos a los que estará sometido el implemento surcador de forma vertical.

3.5.1.1 *Carga Permanente.* Para determinar la carga permanente total (C_p) del prototipo se toma los datos del peso propio del motocultor tomados del manual del motocultor (AINGLA, y otros, 2012).

El peso de todos los elementos del implemento surcador es de 43,84 kgf.

$$C_p = 43,84 \text{ k} \quad (1)$$

3.5.1.2 *Carga de Seguridad.* Constituye aquella carga que se concibe con el objeto de evitar posibles fallas en la estructura debido a sobrecargas. Según el Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha se recomienda asignar un valor 20 kgf/m^2 como carga de seguridad adicional para estructuras metálicas convencionales (AINGLA, y otros, 2012).

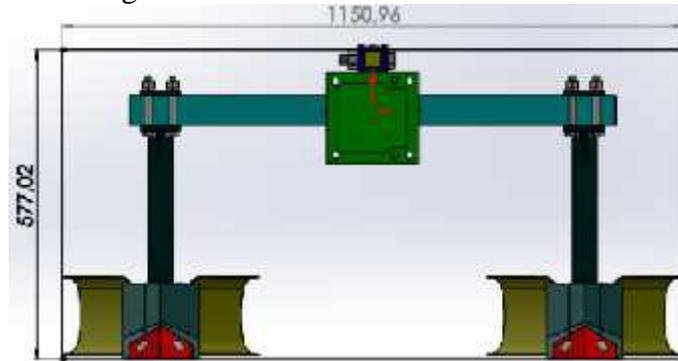
$$C_s = 20 \frac{\text{k}}{\text{m}^2} * A \quad (2)$$

Donde:

C_s = Carga de seguridad [kgf]

A_e = Área de la estructura [m^2]

Figura 25. Área vertical de la estructura



Fuente: Autores

$$C_s = 20 \frac{k}{m^2} * (0,577 * 1,15) m^2$$
$$C_s = 13,11 k$$

3.5.1.3 Carga Muerta. Generalmente la carga muerta es el peso propio de la estructura sumada la carga de seguridad (AINGLA, y otros, 2012).

$$C_m = C_p + C_s \quad (3)$$
$$C_m = 43,84 k + 13,11 k$$
$$C_m = 56,95 k$$

3.5.1.4 Carga de diseño. Constituye la carga con la que se efectúa el diseño estructural (AINGLA, y otros, 2012).

$$C_d = C_m + C_i \quad (4)$$

Donde:

C_i = Carga de impacto [kgf]

- Nota: La carga de impacto se la considera con un valor de cero, puesto que el prototipo va a trabajar en un terreno que ya debe ser arado, por lo que la tierra se encuentra floja.

$$C_d = C_m + C_i$$

$$C_d = 54,34 \text{ k} + 0 \text{ k}$$

$$C_d = 5,9 \text{ k}$$

3.5.2 *Calculo del esfuerzo de laboreo del implemento.* Para realizar el cálculo se empieza determinando la fuerza necesaria para realizar el surco en un terreno previamente preparado, para esto se realizan los cálculos siguientes:

$$F = \mu * S \quad (5)$$

Donde:

F = Fuerza de tracción del implemento [N]

μ = resistencia específica del terreno [N/cm²]

S = Sección de laboreo [cm²]

- Para un arado de vertedera la sección de laboreo se calcula mediante la ecuación siguiente (CAÑAVATE J, 2012):

$$S = n * a * p \quad (6)$$

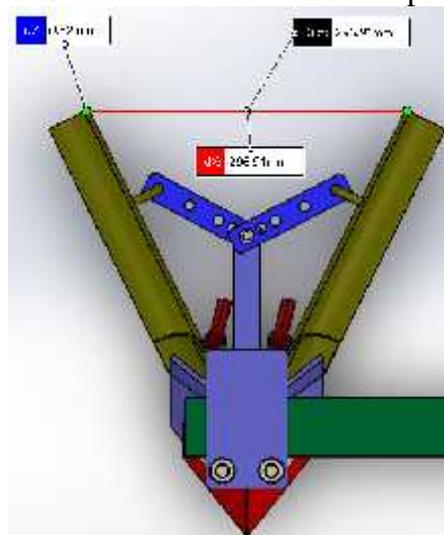
Donde:

n = Número de cuerpos del arado

a = anchura de cada cuerpo [cm]

p = profundidad de trabajo [cm]

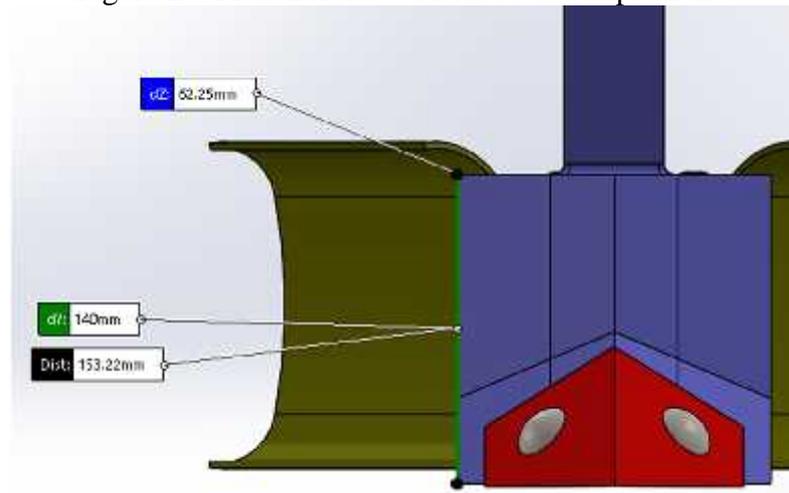
Figura 26. Ancho de labranza del implemento



Fuente: Autores

Para determinar la profundidad de trabajo se realiza una medición de la altura de la reja.

Figura 27. Profundidad del labrado del implemento



Fuente: Autores

Datos:

n = número de cuerpos de arado: 2

a = anchura del cuerpo: 30 cm

p = profundidad de trabajo: 10 cm (se toma este valor de las pruebas de campo realizadas)

$$S = 2 * 30 \text{ cm} * 10 \text{ cm}$$

$$S = 600 \text{ cm}^2$$

Tabla 8. Resistencia específica según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Resistencia específica [N/cm ²]
Arcillo-limoso	$\mu = 7 + 0,049 * v^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0,049 * v^2$
Franco-arcillo-limoso	$\mu = 4,8 + 0,024 * v^2$
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: (CAÑAVATE J, 2012)

Se toma el valor de suelo franco para el cálculo debido a que en la Provincia de Chimborazo la mayoría de los suelos son de elevada productividad agrícola, debido a su textura relativamente suelta, heredada de la arena, a su fertilidad y al mismo tiempo con adecuada retención de humedad por la arcilla presente.

Las velocidades del implemento van a estar condicionadas por las velocidades que ofrece el motocultor según sus marchas, tomadas del manual del motocultor en la tabla siguiente:

Tabla 9. Velocidad de avance del Motocultor

Marcha	Velocidad [km/h]
1 ^a	1,6
2 ^a	2,8
3 ^a	4,6
4 ^a	5,9
5 ^a	10,5
6 ^a	17,1

Fuente: Manual de operación del motocultor YTO DF-15L

Se toma el valor de la segunda marcha de avance hacia adelante (2,8 km/h) del motocultor, debido a que se requiere un velocidad de avance moderada para que el implemento surcador pueda mover la tierra de forma adecuada, además se requiere que el motocultor no tenga ningún inconveniente en el avance del arado, aprovechando un torque adecuado que es erogado por el motor de combustión del motocultor.

Se concluye que la fuerza de tracción que debe ejercer el implemento en segunda marcha será:

$$F = \mu * S \tag{7}$$

$$F = (3 + 0,020 * 2,8^2) \frac{N}{cm^2} * 600 cm^2$$

$$F = 1894,08 N$$

Se puede distinguir que el motocultor debe ejercer una fuerza de tracción de 1894,08 N para poder ejercer el labrado del suelo, haciendo una comparativa con el manual de operación del motocultor, se puede verificar que éste ofrece 221 kgf para la fuerza de tracción, esto quiere decir **2167,27 N**. por lo tanto el motocultor va a trabajar sin problemas.

3.6 Materiales utilizados en el implemento surcador

3.6.1 *Material utilizado para la estructura, reja y vertederas.* Para seleccionar el material con el que se va a construir la estructura, se realizó una investigación de los aceros más comunes en las casas comerciales ecuatorianas como: Dipac, Ipac, Novacero, Import Aceros, Proacero.

De los cuales se ha concluido que el acero estructural más adecuado para el implemento

es el ASTM A36, que se lo puede encontrar en todo el país en forma de barras, planchas, tubos, cilindros macizos, etc. cuenta con las siguientes características:

3.6.1.1 Aplicaciones del Acero A36. Las aplicaciones comunes del acero estructural A36 es en la construcción, y es moldeado en perfiles y láminas, usadas en edificios e instalaciones industriales; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado; varillas y mallas electro soldada para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos.

Tabla 10. Propiedades del acero ASTM A36

Composición Química (Valores Típicos)				
%C	%Mn	%Si	%P	%S
0,26	0,80 -1,20	0,40	0,04	0,05
Propiedades Mecánicas				
Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción (Kg/mm ²)		Elongación
(Kg/mm ²)	MPa	(Kg/mm ²)	MPa	%
25,5 (mín.)	250 (mín.)	40,8 (mín.)	400 (mín.)	20 (mín.)

Fuente: http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html

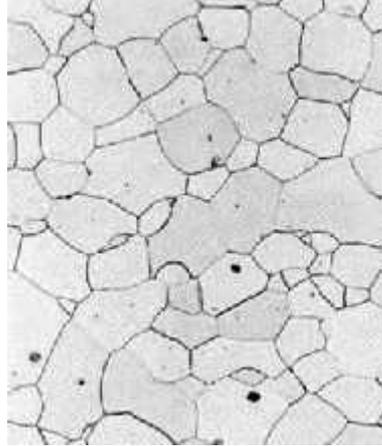
3.7 Análisis de materiales utilizados en las cuchillas del implemento.

Se realizaron dos propuestas de construcción para las cuchillas y poder comparar sus características en el campo de aplicación (labranza), para lo cual se han desarrollado estudios metalográficos a los materiales.

3.7.1 Ensayo de metalografía. El ensayo consiste en relacionar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los metales. La importancia del ensayo metalográfico radica en que, aunque con ciertas limitaciones, es capaz de revelar la historia del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material. A través de este estudio se pueden determinar características como el tamaño de grano, distribución de las fases que componen la aleación, inclusiones no metálicas como sopladuras, micro cavidades de contracción, escorias, etc.

3.7.1.1 Granos. Los metales son materiales de estructura policristalina, este tipo de materiales están compuestos por una serie de pequeños cristales los cuales se conocen convencionalmente como granos. Cada tipo de grano desde su concepción obtiene diferentes características físicas, por ejemplo, la orientación del mismo y la rugosidad en la superficie.

Figura 28. Granos vistos en un análisis metalográfico.



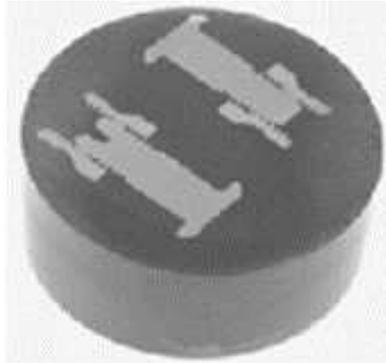
Fuente: (E.C.I. JULIO JARAVITO, 2011 págs. 2-3)

3.7.1.2 Preparación de la muestra. Consiste en los pasos necesarios para poder analizar la misma de forma correcta. Específicamente se describen a continuación, los pasos para la preparación de muestras observadas en microscopio.

- Seccionar. Consiste en remover una muestra del material analizado, teniendo en cuenta las convenciones en tamaño y qué tan representativa es dicha porción del total a analizar.
- Montaje de la muestra. Consiste en proporcionar una base que sostenga la muestra, lo anterior brinda facilidad de uso. Por ejemplo, en la manipulación de especímenes pequeños o cortantes.

Montaje en plástico. Es el tipo de montaje más usado. Básicamente se usa el moldeo por compresión o montaje en caliente. Requiere de calor, presión y por tanto algún tipo de prensa especializada.

Figura 29. Montaje en plástico de la muestra

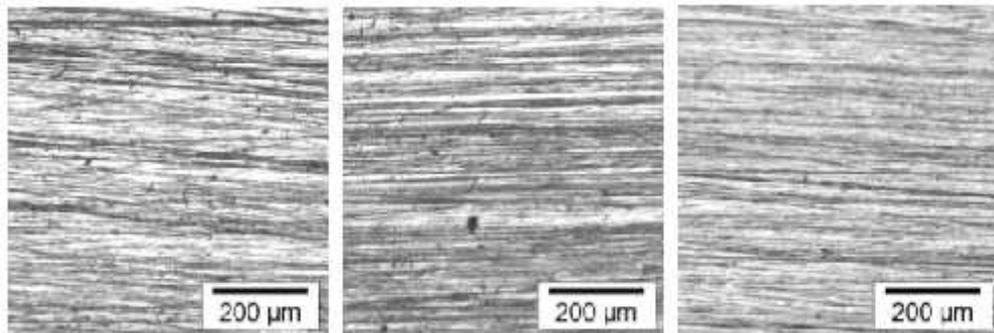


Fuente: (E.C.I. JULIO JARAVITO, 2011)

3.7.1.3 Preparación de la superficie. Durante el montaje de muestras generalmente el objeto de estudio es solamente una superficie, los tipos de preparación son:

- Maquinado. Uso de herramientas con filos de diferentes formas, ejemplo torneado y fresado. Se utilizó una cortadora circular (Discotom) para extraer la probeta de pruebas.
- Rectificado y abrasión. Arreglo de partículas abrasivas fijas que actúan como herramientas de corte. Se utilizó láminas de lijas de grado 240, 320, 600; de esta forma se empieza con la de menor grado (más gruesa) para dar un desbaste burdo a la probeta, hasta culminar con un desbaste fino con los grados posteriores de lija.
- Pulimento. Arreglo de partículas abrasivas suspendidas entre las fibras de un paño, generalmente se utiliza una maquina con un platillo donde se ubica el paño y produce un movimiento giratorio, para completar el proceso de pulido se añade alúmina líquida que sirve como pulimento. (ASM INTERNATIONAL, 1985).

Figura 30. Etapas de pulido: Grueso, Fino



Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/6713/PREPARACION%20METALOGRAFICA.pdf>

Para la preparación de superficies típicamente se utiliza una secuencia de maquinado o rectificado y luego de pulimento. La operación se compone de distintas etapas que van incrementando su fineza para proporcionar un mejor acabado.

- Ataque químico. Luego de la última pasada de pulimento, la superficie es tratada químicamente. El ataque químico es un proceso de corrosión controlada de la muestra, se realiza sumergiendo la superficie en algún tipo de solución adecuada. La solución química usada depende del material que compone la muestra, la temperatura y tiempo del ataque, el efecto deseado en la superficie entre otros. La

siguiente tabla muestra soluciones químicas para realizar el ataque en algunos metales típicos.

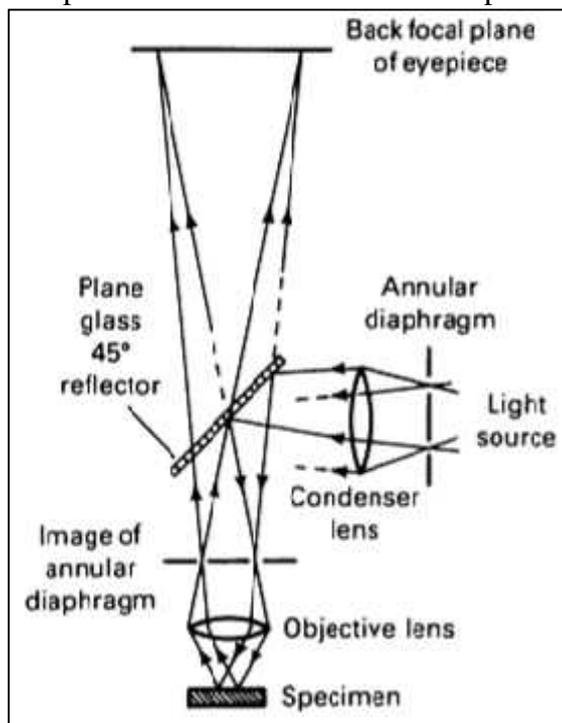
Tabla 11. Reactivo de ataque químico de aceros

METALES	REACTIVO	COMPOSICIÓN	OBSERVACIONES
Hierro y acero al carbono	Nital	2 a5% de ácido nítrico en alcohol metílico	Obscurece la perlita en aceros al carbono. Diferencia la perlita de la martensita; revela los límites de grano de la ferrita; muestra la profundidad del núcleo en los aceros nitrurados. Tiempo 5 a 60 segundos.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos67/metalografia/metalografia2.shtml>

- Microscopio metalúrgico. La metalografía es opaca a la luz, esta se ilumina por un reflejo, este reflejo se obtiene por medio de un reflector de vidrio plano hacia abajo del microscopio sobre la superficie de la muestra (AULLA, y otros, 2016).

Figura 31. Componentes básicos de un microscopio metalográfico.



Fuente: (ASM INTERNATIONAL, 1985)

3.7.1.4 Resultados del ensayo metalográfico. Una vez concluido con la preparación de las muestras se procedió a visualizar las imágenes a 100x y 500x, mientras que el material fue atacado con nital al 2%.

Figura 32. Observación de la muestra.



Fuente: Autores

- Muestra 1 (AISI 1018). Los resultados obtenidos luego de la realización de la prueba metalográfica a 500X en la primera muestra de la cuchilla del implemento surcador se muestra en la figura siguiente.

Figura 33. Resultados de muestra 1 (AISI 1018)



Fuente: Autores

Se observó una microestructura muy sólida (sin presencia de fracturas ni porosidades), además se evidenció algunos puntos negros que se los consideran como carburos que lo hacen resistentes al desgaste al momento de realizar la labor de labranza.

Por tratarse de acero al carbono bajo, se observó la presencia aproximada de 75% de ferrita y un 25 % de perlita lo que es característicos en los aceros al carbono. Se descarta visualmente que el material haya sido sometido a tratamiento térmico.

- Muestra 2 (Acero Anti abrasivo). Se realizó la visualización de los resultados a un aumento de 500X, para lo cual se realiza el análisis siguiente:

Figura 34. Resultado de muestra 2 (Anti Abrasivo)



Fuente: Autores

La forma de los granos es de forma puntiaguda, lo que nos da como resultado un acero de tipo martensítico, el cual tiene una dureza superior a un acero de medio carbono, por lo tanto sus propiedades anti abrasivas son mejores y su dureza sería mayor. La microestructura es estable porque no existe fisura entre los granos del material.

3.7.2 *Ensayo de dureza Brinell.* Es el cociente obtenido de dividir la carga de ensayo (Fuerza) F, expresada en kilogramos fuerza [kgf], por el área de impresión, expresada en milímetros cuadrados [mm²], considerando la superficie de ésta como un casquete esférico de una esfera de diámetro D. La dureza Brinell se representa por el símbolo HB, precedido del valor de dureza e indicando el diámetro de la esfera usada, así como la carga aplicada (INEN, 1984).

La selección de la carga y diámetro de la esfera a usarse en el ensayo está determinada por dos factores:

- El valor de la relación F/D^2 , el tamaño de la impresión. El valor de F/D^2 dependerá de la naturaleza y dureza del material que debe ensayarse, para lo cual se han adoptado cuatro valores normalizados de F/D^2 , así: 30, 10, 5, 1.
- El valor de F/D^2 usado estará de acuerdo con la especificación del material, sin embargo, en la Tabla 11 se establecen valores para los materiales representativos.

Tabla 12. Valores de F/D^2 para materiales representativos

MATERIAL	DUREZA BRINELL APROX.	RELACION F/D^2
Aceros y fundición de hierro	Alrededor de 100	30
Cobre, aleaciones de cobre y aluminio	30 a 200	10
Aluminio	15 a 100	5
Plomo, estaño y otras aleaciones	3 a 20	1

Fuente: (INEN, 1984)

3.7.2.1 Método de ensayo. Se imprime en la pieza de ensayo una esfera de acero endurecido de diámetro D , mediante la acción de una carga F , durante un tiempo determinado, se retira la carga y se mide el diámetro promedio " d " de la impresión dejada sobre la superficie ensayada.

Normalmente se usan esferas con diámetros de 1; 2; 2,5; 5 y 10 milímetros cuyas tolerancias están establecidas en la Tabla 12.

Tabla 13. Carga y diámetro de esfera de dureza Brinell

Diámetro de la esfera (mm)	Carga [kgf]			
	$F/D^2=1$	$F/D^2=5$	$F/D^2=10$	$F/D^2=30$
10	100	500	1 000	3 000
5	25	125	250	750
2,5	6,25	31,25	62,50	187,50
2	4	20	40	120
1	1	5	10	30

Fuente: (INEN, 1984)

La esfera de acero endurecido debe tener una dureza no menor de 850 HV (Hardness Vickers). Debe, además, estar pulida y libre de defectos superficiales.

3.7.2.2 Preparación de la probeta. La superficie de la probeta de ensayo debe ser plana, pulida y exenta de óxidos y materias extrañas, para que permita determinar con exactitud el diámetro de la impresión.

La preparación de la probeta de ensayo debe realizarse sin alterar las condiciones originales del material, evitando calentamientos apreciables o endurecimientos superficiales.

El espesor de la probeta debe ser, por lo menos, ocho veces la profundidad h de la impresión. Sobre la cara opuesta de la superficie ensayada no debe aparecer deformación alguna, después de efectuado el ensayo (INEN, 1984).

3.7.2.3 Cálculos en el ensayo Brinell. Para determinar la dureza Brinell de un material se utiliza la siguiente ecuación (INEN, 1984):

$$H = \frac{C}{A} = \frac{F}{A} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (8)$$

Donde:

HB = Dureza Brinell [kgf/mm²]

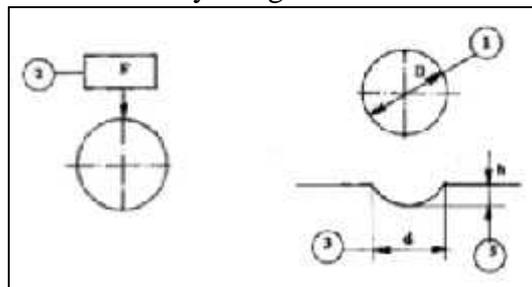
D = Diámetro del indentador (esfera) [mm]

F = Carga del ensayo [kgf]

d = Diámetro medio de la impresión [mm]

h = Profundidad de la impresión [mm]

Figura 35. Símbolos y designaciones de dureza Brinell



Fuente: (INEN, 1984)

3.7.2.4 Procedimiento del ensayo Brinell. El ensayo generalmente se realiza a temperaturas ambientales entre 0° y 40°C. Cuando se considere necesario realizar del ensayo bajo condiciones controladas, éste deberá llevarse a cabo a una temperatura de 20 ± 2°C en climas moderados, y 27 ± 2°C en climas tropicales.

- Colocar la probeta de ensayo sobre un soporte rígido. Las superficies de contacto deben estar limpias y libres de materias extrañas (aceite, óxido, polvo, etc). La probeta debe apoyarse perfectamente sobre el soporte, de manera que no ocurran desplazamientos.
- Durante todo el ensayo, el aparato debe estar protegido contra vibraciones o

choques.

- Por regla general, la distancia del centro de la impresión al borde de la probeta debe ser lo menos 2,5 veces el diámetro de la impresión y la distancia entre los centros de dos impresiones adyacentes por lo menos cuatro veces el diámetro de la impresión. El ensayo deberá realizarse de modo que se evite cualquier factor que pueda alterar el resultado del ensayo (como pandeo en los bordes o distorsión de la probeta).
- Colocar la esfera en contacto con la superficie de la probeta y aplicar la carga normalmente a esta superficie en forma gradual y sin choques ni vibraciones, hasta alcanzar la de ensayo.
- Mantener la carga por espacio de 10 a 15 segundos.
- Sobre cada impresión, medir dos diámetros perpendiculares entre sí y tomar el valor medio de estas medidas.
- Para que el ensayo sea válido, el diámetro medio de la impresión será: $0,25 D < d < 0,50 D$.
- Para medir el diámetro de la impresión se usará un microscopio u otro instrumento apropiado, capaz de garantizar una lectura con una precisión de $\pm 0,25 \%$.
- Se puede emplear cualquier método que permita una mejor medición del diámetro de la huella, siempre que no afecte a la misma.
- El número de mediciones para un ensayo de precisión nunca será inferior a tres. Cuando un valor es muy diferente a los otros, debe ser descartado y tomado una nueva medición.

3.7.2.5 *Resultados obtenidos del ensayo de dureza Brinell.* El material sometido al ensayo Brinell fue AISI 1018 que pertenece una de las cuchillas del implemento, se utilizó un indentador (esfera) de 2,5mm de diámetro, para lo cual se aplicó una carga de

187,5 kgf, realizando tres pruebas consecutivas, dado los siguientes resultados.

- Prueba 1.

Datos:

d = 1,250 mm

$$H = \frac{2 * 187,5}{\pi * 2,5 * \left(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,250^2}\right)} = 142,55$$

- Prueba 2

Datos:

d = 1,227 mm

$$H = \frac{2 * 187,5}{\pi * 2,5 * \left(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,227^2}\right)} = 148,36$$

- Prueba 3

Datos:

d = 1,195 mm

$$H = \frac{2 * 187,5}{\pi * 2,5 * \left(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,195^2}\right)} = 157,01$$

Para establecer el valor final de la dureza Brinell del acero AISI 1018, se procedió a realizar un promedio entre los resultados obtenidos.

$$H = \frac{142,5 + 148,3 + 157,0}{3} = 149,3$$

La dureza Brinell es 149,30 comparándolo con las tablas de dureza (Anexo A), se establece una **resistencia a la tracción** aproximada de 51 kg/mm² esto es **510 MPa**.

3.7.3 *Ensayo de dureza Rockwell.* En los ensayos de dureza Rockwell, las unidades de dureza se establecen por la medida de la profundidad y de la huella de acuerdo con el modelo (UPV, 2017):

$$H = A - \frac{e}{0.0} \quad (9)$$

Donde:

A = cte. (según el tipo de ensayo A, B, C)

e = profundidad [mm]

El ensayo es aplicable a todo tipo de materiales metálicos:

3.7.3.1 *Ensayo de dureza Rockwell en materiales Blandos.* Se utiliza como penetrador una bola de acero templado, similar al del ensayo Brinell. En la tabla 13 se observan diámetros y cargas normalizados para este tipo de ensayos. En este ensayo, el parámetro A de la Ecuación 9 es 130.

3.7.3.2 *Ensayo de dureza Rockwell en materiales Duros.* Se utiliza como penetrador un cono de diamante de 120° de ángulo de vértice redondeado en la punta. Se usan cargas normalizadas de 60, 100 y 150 kilogramos, con el subíndice indicado en la Tabla 13. El parámetro A de la Ecuación 9 es 100

3.7.3.3 *Ensayo de dureza Rockwell en materiales blandos o duros de pequeños espesores.* Es el caso de flejes, chapas delgadas o también sobre capas endurecidas, cementadas o nitruradas. En este supuesto se usa la modalidad de pequeñas cargas especificadas en la norma, 3 kilogramos de precarga y 15, 30 o 45 kilogramos de carga. Se conoce este tipo de ensayos como Rockwell superficial (UPV, 2017).

Tabla 14. Normalización para el ensayo Rockwell

ESCALA	CARGA [kg]	PENETRADOR	MATERIALES TÍPICOS PROBADOS
A	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de wolframio, etc.
B	100	Bola de 1/16''	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce, etc.
C	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas.
D	100	Cono de diamante	Acero superficialmente sementado
E	100	Bola de 1/8''	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio.
F	60	Bola de 1/16''	Bronce y cobre fosfóricos
G	150	Bola de 1/16''	Cobre al berilio, bronce fosforoso, etc.
H	60	Bola de 1/8''	Placa de aluminio.

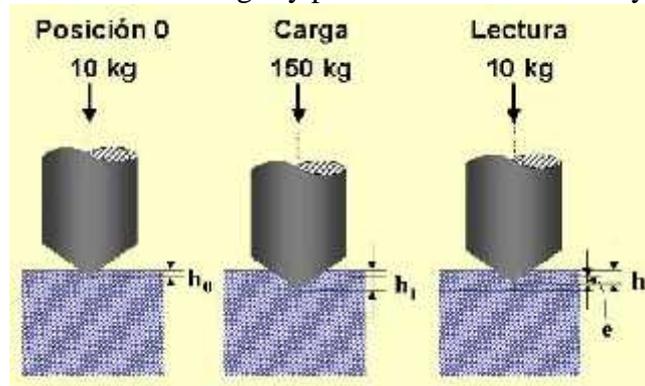
Tabla 14. (Continuación) Normalización para el ensayo Rockwell

K	150	Bola de 1/8''	Hierro fundido, aleaciones de aluminio
L	60	Bola de 1/4''	Plásticos y metales suaves, como el plomo.

Fuente: (UPV, 2017)

3.7.3.4 *Procedimiento para realizar el ensayo de dureza Rockwell.* Con el objeto de obtener ensayos reproducibles, la máquina obtiene el valor "e", por incrementos de las cargas aplicadas de acuerdo con la secuencia de la Figura 36.

Figura 36. Secuencia de cargas y profundidades en el ensayo Rockwell.



Fuente: (UPV, 2017)

1. Aplicación de una carga previa, $F_0 = 10 \text{ kg}$. Esta sirve para tomar una referencia h_0 , independiente del estado superficial.
2. Aplicación de la sobrecarga de ensayo, F_1 , con lo que se alcanza h_1 .
3. Eliminación de la sobrecarga F_1 , con lo que se recupera la deformación elástica y se conserva la remanente. La profundidad alcanzada es h .
4. La profundidad de la huella viene definida por:

$$e = h - h_0 \quad (10)$$

La denominación de la dureza Rockwell ensayada es por escalas, de A a L, que identifica la precarga, carga y tipo de penetrador. En la Tabla 13 se especifica distintas variantes del ensayo Rockwell existentes (UPV, 2017).

3.7.3.5 *Ensayo Rockwell realizado en la cuchilla 2.* El durómetro utilizado muestra

directamente el valor de la dureza Rockwell, en el cual se obtuvo los siguientes datos.

- Prueba 1: **43**
- Prueba 2: **43**
- Prueba 3: **41**

Para establecer el valor real de la dureza Rockwell se debe establecer un promedio de las lecturas tomadas.

$$H = \frac{43 + 43 + 41}{3} = 43$$

Comparando con la tabla de durezas y resistencias del Anexo A se puede determinar que el material observado con una dureza Rockwell C tiene una resistencia a la tracción de 144 kg/mm². Esto significa **1440 Mpa**.

3.7.4 *Espectrometría de emisión óptica (Espectrómetro Q2 ION)*. Basado en los conocimientos técnicos de muchas décadas de experiencia, Bruker Elemental ofrece un amplio rango de productos para el análisis elemental.

Las soluciones innovadoras permiten a nuestros clientes en la industria metalúrgica, la industria del automóvil, la industria química, la industria farmacéutica y la industria de los semiconductores alcanzar niveles más altos de control de calidad y procesos.

Desde el análisis de trazas en un metal puro hasta altas aleaciones, los espectrómetros de emisión óptica cubren todo el rango espectral al analizar rangos desde el sub-ppm hasta altos niveles de concentración. Todos los elementos importantes pueden ser analizados directamente de manera simultánea.

Hoy en día, el Q2 ION es uno de los más pequeños y ligeros espectrómetros de emisión ultra-compactos disponibles para el análisis de metales. La nueva generación del espectrómetro OES Q2 ION lleva el análisis de metales a nuevos niveles de sencillez y facilidad de uso. Es un versátil sistema multi-matriz para la inspección integral del material entrante y para garantía de calidad de aleaciones metálicas. Sus principales

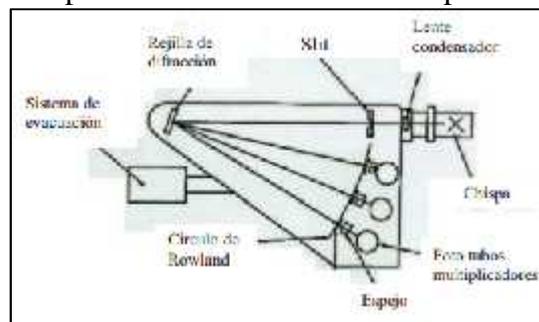
aplicaciones y matrices metálicas incluyen el cobre, aluminio y hierro, ideal para su uso en pequeñas fundiciones, empresas de inspección, reciclaje de metales y fabricantes de piezas metálicas.

Aplicaciones:

- Hierro y Acero y sus aleaciones
- Aluminio y sus aleaciones
- Cobre y sus aleaciones
- Otras aplicaciones bajo petición (BRUKER, 2017).

3.7.4.1 *Principio de funcionamiento del espectrómetro Q2 ION.* Una vez colocada la muestra en el soporte de análisis el espectrómetro comienza su proceso dentro una atmosfera de gas inerte como es el argón grado AP “5.0”, luego, un arco de chispa incide sobre la muestra la cual se funde donde se produjo la chispa dando lugar a la excitación de los electrones de los átomos lo que hace que cada átomo genere una longitud de onda.

Figura 37. Principio de Funcionamiento del espectrómetro Q2 ION



Fuente: (GAMBOA, y otros, 2009)

Con la radiación generada esta se traslada a un condensador y entra a la cámara de análisis en donde se separa por una rejilla de difracción (2400/mm), (GAMBOA, y otros, 2009) que descompone el haz de luz en forma de prisma, cada longitud de onda posee un color, la longitud de onda es reflejada en la cámara de vacío hasta los tubos fotomultiplicadores.

En este punto los fotomultiplicadores tienen una distribución tal que cada uno coincide con un elemento químico y estos son los encargados en recibir las longitudes de onda. Estos fotomultiplicadores emiten una corriente eléctrica dependiendo de la intensidad de la radiación, estos impulsos son llevados al ordenador donde se transforman en valor de porcentajes de los elementos químicos (AULLA, y otros, 2016).

3.7.4.2 *Argón.* El gas inerte se convierte en una parte fundamental para el proceso de espectrometría porque crea una atmosfera inerte que facilita la formación de arco evitando la absorción de los elementos presentes en la radiación y además evita que el aire y sus elementos se mezclen lo que ocasionaría que la composición química exceda, esto también se logra con ayuda de una bomba de vacío que funciona en todo momento.

En el proceso de espectrometría el argón es utilizado a una razón de 10 *lt/min* una vez terminado el proceso el gas y el hollín generado por el arco de chispa se descargan en un recipiente de agua (AULLA, y otros, 2016).

3.7.4.3 *Principales partes del espectrómetro.* Aquí se detallaran las partes más fundamentales para que el espectrómetro cumpla su función.

- Control de temperatura. Este previene la desviación en el sistema óptico debido a un aumento de temperatura, la temperatura de trabajo del espectrómetro esta entre $40 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Condensador. Sirve como el límite entre el vacío del espectrómetro y el aire externo de la cámara de destello, este condensador cuenta con un lente hecho de cuarzo fundido que atraviesa fácilmente la radiación ultravioleta.
- Tubo fotomultiplicador. Es un detector de luz que convierte la intensidad de la misma en una intensidad de corriente para que el ordenador pueda dar lectura y emitir los datos porcentuales de los elementos químicos. Estos tubos se encuentran al vacío o rellenos de un gas inerte que puede ser el argón u otro similar.
- Sistema de evacuación. Este sistema emite una longitud de onda de 200nm o menos que toma el nombre de área de vacío ultravioleta y está libre de oxígeno del aire, además genera una presión de 5Pa dentro del espectrómetro gracias una bomba de vacío (GAMBOA, y otros, 2009).

3.7.4.4 *Proceso de análisis de la muestra para la espectrometría.* Se tomó en cuenta algunos aspectos mencionados en la norma ASTM E-415 la cual hace mención a la composición química del acero al carbono y además procedimiento a seguir para realizar

el ensayo de espectrometría.

- Preparación de la muestra. Se ha tomado una pequeña partícula de material con el que se han de construir las cuchillas izquierda y derecha respectivamente, para esto se procedió a lijar el material para retirar las impurezas presentes, tratando de quitar todos los residuos de carbono presente en la probeta para obtener una mejor apreciación de los resultados, sin necesidad de realizar un pulido tipo especular.
- Procedimiento. Se debe colocar la probeta en la parte superior del plato del espectrómetro con la cara pulida hacia abajo sin dejar descubierto el orificio del electrodo, luego desplazar hacia la varilla de contacto y colocar encima de la probeta en la cara no pulida, con el fin de lograr el arco de chispa.

Finalmente se enciende el espectrómetro y observamos que el proceso siga su curso dentro de los parámetros adecuados, según el instructivo del espectrómetro.

Para obtener una mejor apreciación se deben hacer varios análisis para obtener un promedio.

La temperatura de la habitación donde se encuentra el espectrómetro, debe estar dentro de un rango de 23 ± 5 °C, es decir, si el termómetro del espectrómetro excede los 40 °C, el resultado de los ensayos realizados serán incoherentes.

Si la temperatura de la máquina excede los 60 °C se dará la advertencia respectiva. Es muy importante la recalibración de la máquina, ya que es necesario comprobar si los resultados que se está obteniendo son precisos.

Recalibrar la máquina no implica que se cambie los valores de la curva de valores admitidos por la norma y calibrados inicialmente por personal calificado (GAMBOA, y otros, 2009).

3.7.4.5 *Resultados del ensayo de espectrometría.* Luego de realizar todos los procedimientos anteriormente detallados, además de tomar en cuenta las indicaciones de seguridad e higiene, se apreció los elementos que conforman el material estudiado.

Figura 38. Material 1 para cuchilla.

Bruker Analysis Report					
Sample:					
Analysis Time: 09.02.2017 12:20:15			Method: Fe110		
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,212	0,163	0,663	<0,0030	0,014
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,109	0,044	0,082	0,144	0,017
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,0058	0,0090	0,0031	0,0058	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0015	0,011	98,50		

Fuente: Autores

Se concluye que el acero empleado es un AISI 1018, medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria. Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina.

Figura 39. Propiedades del acero AISI 1018

Normas involucradas:	ASTV A 108
Propiedades mecánicas:	Dureza 126 HB (71 HRb) Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI) Esfuerzo máximo 440 MPa (63300 PSI) Elongación máxima 15% (en 50 mm) Reducción de área 40% Modulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI) Maquinabilidad 75% (AISI 1212 = 100%)
Propiedades físicas:	Densidad 7.67 g/cm ³ (0.234 lb/in ³)
Propiedades químicas:	0.15 – 0.20 % C 0.60 – 0.90 % Mn 0.04 % P máx 0.05 % S máx

Fuente: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201018.pdf>

Figura 40. Material 2 para cuchilla.

Bruker Analysis Report					
Sample:					
Analysis Time: 14.02.2017 12:54:33			Method: Fe110		
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,266	0,486	1,391	0,010	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,131	0,036	0,048	0,028	0,043
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,0050	0,023	0,029	0,0085	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0022	0,0091	97,48		

Fuente: Autores

El acero ensayado corresponde a un acero inoxidable de aparente a los aceros AISI 1024 AISI 12L14. También se lo puede encontrar en el catálogo de productos IVAN BOHMAN como FORA 450, tratándose de un acero martensítico anti abrasivo templado en agua de alta dureza y resistencia mecánica con muy buena resistencia a la deformación plástica y al desgaste por impacto o deslizamiento del material abrasivo. Tiene buena soldabilidad y buenas características para conformado. Puede ser aplicado en la industria de construcción, minería, plantas cementeras, acerías, etc.

Figura 41. Propiedades del material 2 para cuchilla

Composición Química	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Fora 450	0,20	1,5	0,02	0,003	1,0	0,7	0,2	0,003
Fora 500	0,30	1,50	0,02	0,003	2,0	0,7	0,3	0,003

Fuente: Catálogo de productos IVAN BOHMAN

3.8 Simulación del implemento de labranza

Para realizar una simulación de un proyecto cualquiera se necesita saber que plataforma se va utilizar y conocer el proceso de la simulación. En el caso del implemento surcador, se eligió la plataforma de simulación multifísica mediante el Método de Elementos Finitos, ANSYS.

Esta plataforma basa su funcionamiento en el método de elementos finitos, que actualmente es muy utilizado para determinar el comportamiento mecánico de componentes de máquinas, estructuras, etc. El procedimiento de análisis en ANSYS se divide en tres fases: Pre-procesado, Solución y Post-procesado.

3.8.1 *Pre-procesado.* Se introducen las características físicas y geométricas del modelo, además de las condiciones de contorno, es decir las limitaciones que tendría la simulación. Entre los parámetros más importantes del pre-proceso, mencionamos los siguientes:

- Definición del tipo de elemento a utilizar.
- Definición de propiedades de la sección:
- Modelización del material
- Creación de la geometría del modelo
- Mallado del modelo
- Definición del tipo de análisis

3.8.2 *Solución.* En la fase de solución se aplica las cargas elegidas (fuerzas), sujeciones, deslizamientos, se asigna los materiales que se introdujeron en el pre-proceso el sistema de cargas al modelo y se eligen los parámetros de solución del sistema de ecuaciones que genera el problema (métodos iterativos).

Post-procesado. Es la fase de la simulación en la cual se obtienen los resultados del análisis y se presentan de diferentes formas: texto, grafico, animación, etc.

En la fase de post-procesado se presentan y manipulan los resultados obtenidos en la fase de solución. Es necesario elegir visualizaciones que presenten aquellos aspectos que se deseen estudiar del modelo, con el fin de obtener las conclusiones apropiadas.

3.8.3 *Simulación del mecanismo reja-vertedera.* Es el mecanismo que se encarga de realizar la penetración en la tierra, la simulación de este elemento nos definirá si el elemento es confiable para el objetivo al cual ha sido diseñado.

3.8.3.1 *Cargas aplicadas al mecanismo reja - vertedera.* El mecanismo reja - vertedera se encuentra anclado hacia el mecanismo de regulación por la parte superior

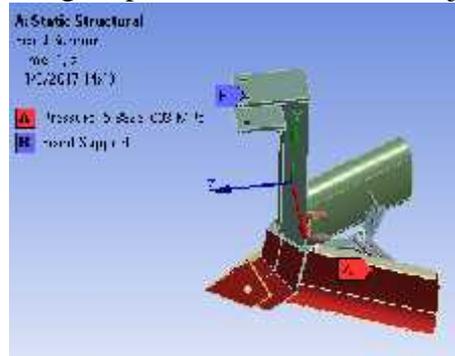
donde se encuentran dos pernos pasantes.

Datos:

Fuerza de arado: 1894,08 N

Fuerza aplicada al implemento = 947 N

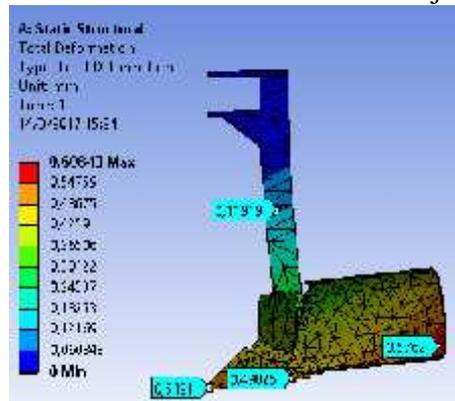
Figura 42. Cargas aplicadas al mecanismo reja vertedera



Fuente: Autores

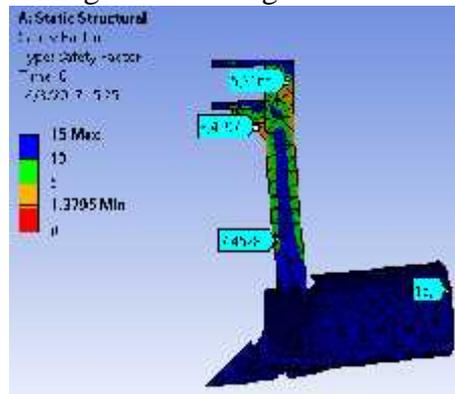
3.8.3.2 Resultados de la simulación del mecanismo reja – vertedera.

Figura 43. Deformación del mecanismo reja-vertedera



Fuente Autores

Figura 44. Factor de seguridad a Fatiga del mecanismo reja vertedera.

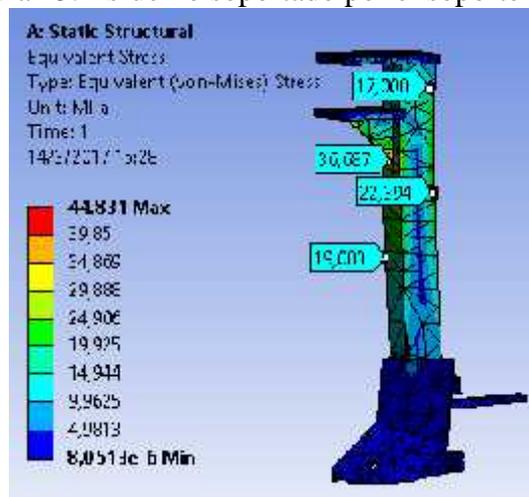


Fuente Autores

Las Figuras 43 y 44 nos muestran que el mecanismo de reja – vertedera elegida para el implemento surcador, es totalmente confiable ya que muestra una deformación de 0,6mm, también se analizó el mecanismo en condiciones de fatiga, simulando un trabajo aproximado al de labranza, de esta manera se puede observar un factor de seguridad de 1,38 aproximadamente.

3.8.3.3 *Esfuerzo soportado por el soporte y reja.* En la Figura 44 se puede diferenciar que el elemento más afectado es el soporte de las vertederas, es por esta razón que se lo ha sometido a un análisis más profundo.

Figura 45. Esfuerzo soportado por el soporte y reja



Fuente: Autores

Se puede diferenciar que el soporte-reja está sometido a un esfuerzo máximo de trabajo de 44,83 MPa, sin embargo este elemento se encuentra construido con acero ASTM A36, el cual tiene una resistencia a la fluencia de 250MPa, por lo cual se garantiza su funcionamiento y confiabilidad.

3.8.4 *Simulación del mecanismo de regulación.* Es el mecanismo encargado de regular la inclinación de los mecanismos de reja – vertedera izquierda y derecha respectivamente.

El objetivo de la regulación es llevado a cabo a través de los dos pernos en la parte superior que se contraen y separan según el giro del cilindro de regulación al que se encuentran roscados.

3.8.4.1 *Cargas aplicadas al mecanismo de regulación.* Este mecanismo se encuentra sometido al momento provocado por la fuerza de labrado aplicados al mecanismo reja – vertedera, además se debe incrementar la carga de diseño, por ser la estructura que soporta el peso del implemento.

Datos:

Carga de diseño = 54,34kgf = 533,08N

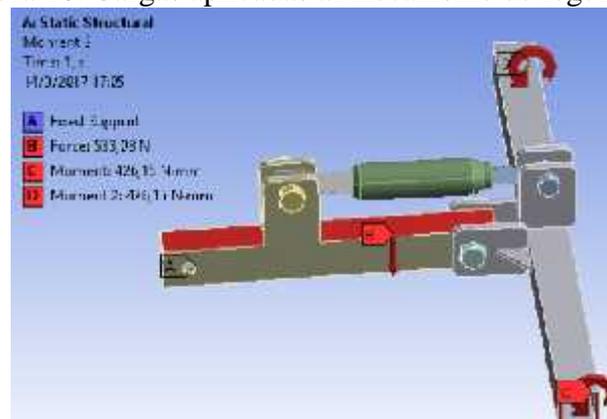
- Momento generado en el mecanismo reja vertedera

$$M_x = F * d \quad (11)$$

$$M_x = 947N * 0.45m$$

$$M_x = 426,15N$$

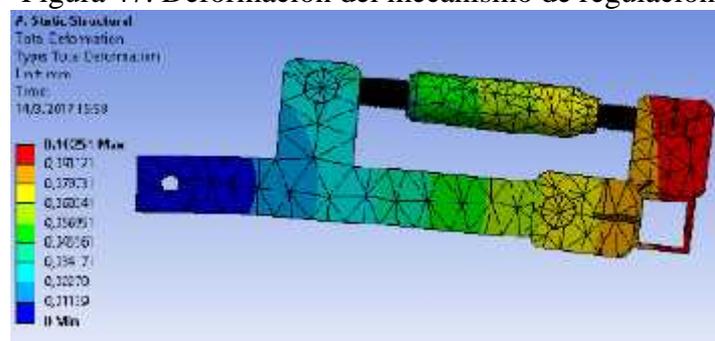
Figura 46. Cargas aplicadas al mecanismo de regulación



Fuente: Autores

3.8.4.2 *Resultados de la simulación del mecanismo de regulación.*

Figura 47. Deformación del mecanismo de regulación

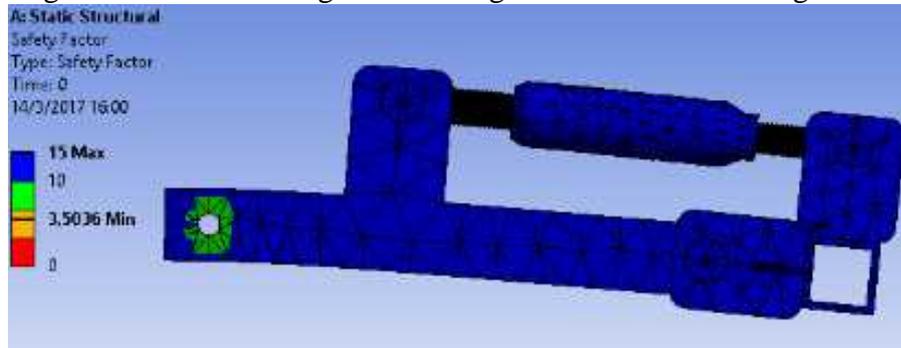


Fuente: Autores

La simulación manifiesta que el mecanismo de regulación tiene una deformación total de 0,10mm, este valor no es significativo y se podría corroborar con el resultado de la

simulación en el factor de seguridad.

Figura 48. Factor de Seguridad a fatiga del mecanismo de regulación



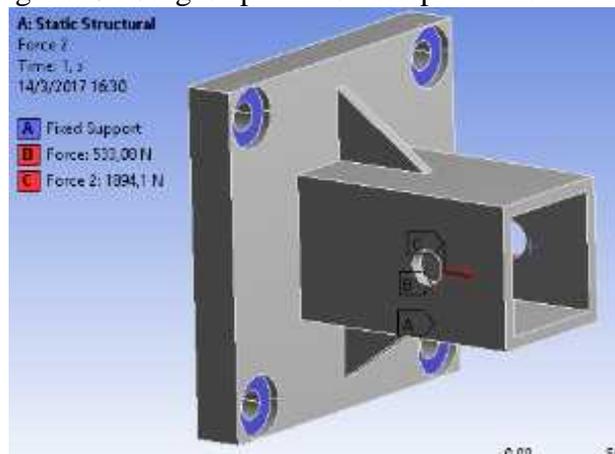
Fuente: Autores

El factor de seguridad a fatiga del mecanismo es 3,50 lo que significa que este mecanismo no va a presentar problemas al momento de la labranza del suelo, este mecanismo puede soportar aún más carga, lo que se podría pensar en agregar contrapesas para que el mecanismo penetre el suelo y el operario se mantenga más cómodo.

3.8.5 *Simulación del acople al motocultor.* Es el acople principal del implemento, es aquel que cumple con la función de arrastrar el apero para proceder con el laboreo del suelo y es en éste elemento donde se concentran todas las cargas.

3.8.5.1 *Cargas aplicadas a acople al motocultor.* Las cargas se analizaron en el apartado 3.5.1 y se las coloco en el programa como muestra la figura siguiente:

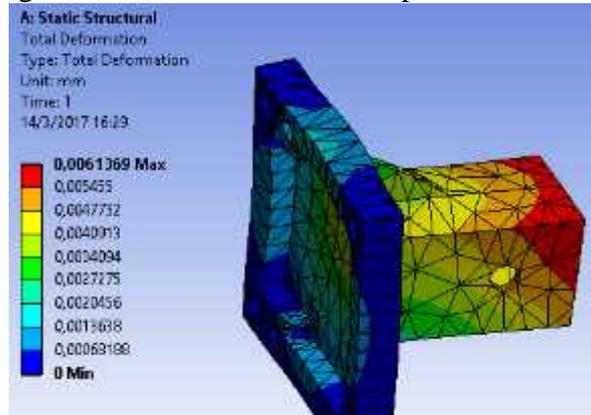
Figura 49. Cargas aplicadas a acople al motocultor



Fuente: Autores

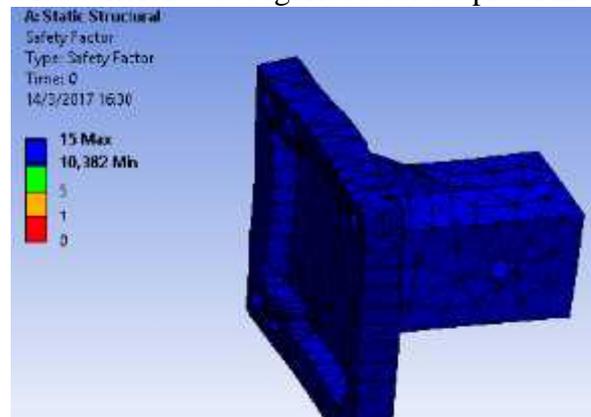
3.8.5.2 *Resultados de la simulación del acople al motocultor.* Luego de colocar las cargas correspondientes se pueden observar los siguientes resultados.

Figura 50. Deformación del acople al motocultor



Fuente: Autores

Figura 51 Coeficiente de seguridad del acople al motocultor



Fuente: Autores

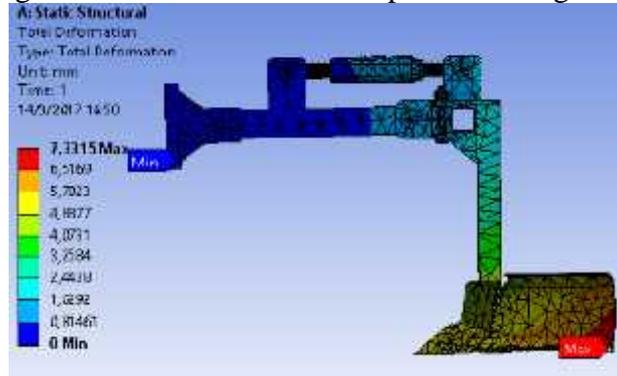
Se puede diferenciar en las Figuras 50 y 51 que el elemento principal de acople al motocultor es confiable por encontrarse una deformación de 0,006mm y un factor de seguridad a fatiga de 10,38. Esto implica que se pueden añadir elementos o mecanismos adicionales, si se requiere el caso.

3.8.6 *Simulación del implemento en general.* Es necesario realizar una simulación de todo el elemento debido a las siguientes características que se mencionan.

- Holgura de los elementos.
- Los esfuerzos se combinan.
- Analizar la armonía de los elementos
- Observar la deformación total del implemento
- Observar el esfuerzo al que se encuentra sometido el implemento en general.

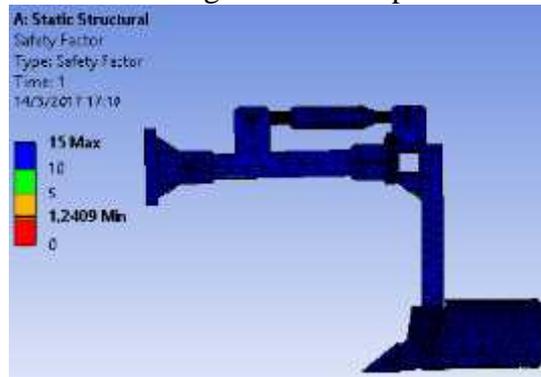
3.8.6.1 Resultados de la simulación del implemento. Los resultados generados por la simulación del implemento en conjunto se muestran de la siguiente manera:

Figura 52. Deformación del implemento en general



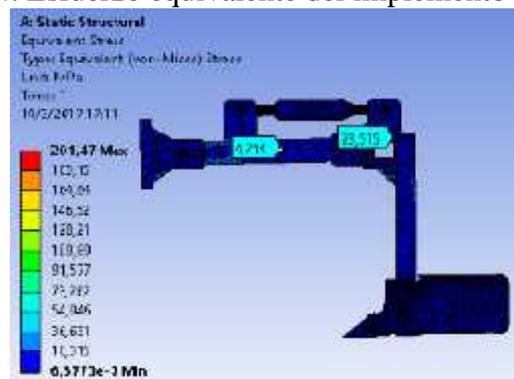
Fuente Autores

Figura 53. Factor de seguridad del implemento en general



Fuente: Autores

Figura 54. Esfuerzo equivalente del implemento en general



Fuente: Autores

Se puede observar una deformación total de implemento de 7,33mm, este resultado se da por la holgura que existe entre los elementos, además su puede evidenciar que el implemento tiene un factor de seguridad total a fatiga de 1,24. Cabe recalcar que los cálculos realizados anteriormente fueron realizados para un suelo franco – arenoso sin el

proceso de arado, por lo que el implemento se lo podría utilizar para el descortezamiento de tierras suaves sin dar problema.

También se puede evidenciar un esfuerzo equivalente de 201,47Mpa, comparado con el acero estructural con el que fue diseñado ASTM A36 que tiene una resistencia mecánica de 250Mpa, concluyendo que el mecanismo es confiable.

Las cuchillas de arado que fueron diseñadas con acero AISI 1018 y FORA 450 (AISI 1024), no presentan inconveniente alguno, ya que en la simulación no se muestran deformaciones, además el esfuerzo equivalente mostrado en la simulación es muy inferior a la resistencia de cada cuchilla, con estas consideraciones finales se procedió a la construcción del implemento. Cabe recalcar que se tomó una cuchilla con un material adicional al planificado con la finalidad de realizar un seguimiento al proyecto para verificar la durabilidad de los materiales a mediano y largo plazo.

3.9 Construcción del implemento surcador

Una vez creado las geometrías en 3D y simulado, se procedió a la construcción, aprovechando los datos arrojados para la selección clasificación y corte de los materiales para la construcción de los mecanismos ya estudiados.

Para realizar esta tarea se requirió de personal de ayuda y de las siguientes herramientas:

- Entenalla
- Amoladora
- Taladro
- Torno
- Sierra circular
- Soldadora
- Otros

Se tomó en cuenta todas las medidas de seguridad de manejo de máquinas y herramientas de taller mecánico, finalmente se muestra el implemento en su fase de construcción en las siguientes figuras:

Figura 55. Construcción del mecanismo reja - vertedera



Fuente: Autores

Figura 56. Implementación de cuchillas



Fuente: Autores

Figura 57. Construcción de Vertederas



Fuente: Autores

Figura 58. Implementación de Vertederas



Fuente: Autores

Figura 59. Construcción de acople al motocultor



Fuente: Autores

3.10 Pruebas realizadas en el campo

3.10.1.1 *Etapa de adaptación y traslado del motocultor.* Una vez realizado el acoplamiento de todos los elementos del apero, se procedió implementarlo; para esto se tuvo que retirar el accesorio que viene por defecto (rotovator).

Figura 60. Adaptación del Implemento al Motocultor



Fuente: Autores

3.10.1.2 *Prueba de traslado.* Se comprobó que el traslado de la máquina es similar a cuando el rotovator está acoplado al motocultor, de esto se definió que el implemento otorga una mejor visibilidad para el operario al momento de caminar.

Figura 61. Traslado de la máquina



Fuente: Autores

3.10.1.3 *Prueba de peso y maniobrabilidad.* En esta prueba se comprobó si el implemento mantiene la misma operatividad que cuando el motocultor tiene adaptado el rotovator, para esto se comprobó los pesos.

Peso del rotovator: 45 kg aprox.

Peso del surcador: 43,84 kg.

Dando una diferencia de 1,16 kg aproximadamente, esto quiere decir que mejorará la maniobrabilidad en el traslado de la maquina por una reducción de peso, sin embargo el operario debe realizar un mayor empuje contra el suelo al momento de la labranza.

3.10.1.4 *Etapa de arado del suelo.* Para realizar esta prueba se acondicionó una parcela de cultivo de alimentos, se realizó un arado previo al procedimiento de surco.

Figura 62. Arado en el campo



Fuente: Autores

3.10.2 *Capacidad teórica de labrado.* La eficiencia de labrado, significa la superficie de tierra movida por unidad de tiempo, viene expresada en hectáreas por hora [ha/h] para todo tipo de máquinas en el campo (CAÑAVATE J, 2012).

$$S = \frac{a \cdot v}{1} \quad (12)$$

Donde:

S = Capacidad de labrado [ha/h]

a = anchura de trabajo del implemento [m]

v = Velocidad de trabajo [km/h]

Para determinar el cálculo se toma los datos de la Figura 25 y la Tabla 8, siendo el ancho de trabajo 1,15m y la velocidad de trabajo es de 2,8 km/h tomados de la segunda velocidad del motocultor.

$$S = \frac{1,15 \text{ m} * 2,8 \text{ k} / \text{h}}{10}$$

$$S = 0,32 \text{ ha/h}$$

3.10.2.1 *Verificación de la capacidad de trabajo.* Se realizó una medición de tiempo

y de superficie para verificar la eficiencia de la maquina en el arado de las tierras.

Se realizaron 5 pruebas de tiempo en segunda marcha, la distancia de arado fue de 20m para todas; los datos se manifiestan en la siguiente tabla:

Tabla 15. Pruebas de tiempo de labranza

Prueba	Tiempo [s]
1	38
2	32
3	42
4	35
5	39
Promedio	37,2

Fuente: Autores

- Área trabajada. Está definida por el largo del surco y el ancho de trabajo del implemento.

$$A_t = 20m * 1.15m = 30 m^2$$

3.10.3 *Capacidad real de trabajo.* En 37,2 segundos se ha labrado una superficie de 30m²; para hallar la capacidad real de trabajo se realizó una conversión de los datos obtenidos:

$$S_r = \frac{30 m^2}{37,2 s} * \frac{1ha}{10000} * \frac{3600s}{1h} = 0,29 \frac{ha}{h}$$

3.10.4 *Rendimiento del implemento.* Se determina relacionando la eficiencia teórica del implemento y la eficiencia real.

$$\eta_i = \frac{S_r}{S_t} * 100$$

$$\eta_i = \frac{0,32}{0,29} * 100 = 90\%$$

El implemento tiene un rendimiento de 90% es decir que la mayoría de energía lanzada por el motocultor es aprovechada por el implemento para el laboreo del suelo.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTOS.

En el análisis de este proyecto muestra en detalle los gastos que implica la implementación del apero tipo surcadora para el motocultor YTO DF-15L.

4.1 Costos directos

Hace referencia a los recursos que intervinieron directamente en la implementación del apero, tales como: mano de obra, materiales, equipos y maquinaria.

4.1.1 Costos de placas, tubos, perfiles de acero y pernos.

Tabla 16. Costos de los materiales

DESCRIPCIÓN	CANT.	COSTO
Tubo cuadrado ASTM A36 (55x5,5) mm	6 m	25,00
Tubo cuadrado ASTM A36 (70x6) mm	12 cm	2,00
Platina ASTM A36 (75x10) mm	3 m	18,00
Tubo cuadrado ASTM A36 (25x6) mm	3 m	4,50
Varilla Corrugada 1/2''	1 m	1,00
Tubo Redondo ASTM A36 9/16''	20 cm	1,00
Eje ASTM A36 1''	40 cm	10,00
Plancha ASTM A36 (20x20)mm; espesor 15 mm	400 mm ²	5,00
Plancha ASTM A36 (20x20) mm; espesor 8 mm	400 mm ²	4,00
Plancha ASTM A36 (60x60) mm; espesor 3 mm	3600 mm ²	40,00
Plancha Acero Fora 450 (10X200) mm; espesor 6 mm	1200 mm ²	80,00
Perno Hexagonal 1/2x4'' Grado C	4	6,00
Perno Hexagonal 3/8x3'' Grado C	1	1,25
Perno Hexagonal 3/4x4'' Grado C	1	2,50
Perno Hexagonal 5/8x4'' Grado C	2	4,80
Perno 1/2x2'' Cabeza Redonda Grado C	4	3,00
Tuerca Hexagonal 1/2 Grado C	8	1,50
Tuerca Hexagonal 3/8 Grado C	2	0,50
Tuerca Hexagonal 3/4 Grado C	2	0,40
Tuerca Hexagonal 5/8 Grado C	4	0,75
Total costo materiales		211,20

Fuente: Autores

4.1.2 *Costos de herramientas utilizadas.* Se realizó una valoración del costo de la herramienta en base al tiempo y potencia de consumo.

Tabla 17. Costo de Herramientas utilizadas

Herramienta	Costo/hora	Horas utilizadas	Costo (USD)
Entenalla	0,15	25	3,75
Amoladora	0,75	15	11,25
Taladro	1,25	8	10,00
Torno	2,25	10	22,50
Sierra circular	1.50	2	3,00
Soldadora	2,00	8	16,00
otros	0,40	5	2,00
Costo total de herramientas utilizadas			68,50

Fuente: Autores

4.1.3 *Costos mano de obra.* Se caracteriza por los trabajos adicionales que se tuvo que realizar para la implementación del apero, donde los autores no intervinieron.

Tabla 18. Costo de mano de obra

Detalle	Costo hora	Horas hombre	Total (USD)
Ayudante mecánico	1,85	16	29,60
Pintor	3,00	2	6,00
Costo total de mano de obra			35,60

Fuente: Autores

4.1.4 *Resumen de costos directos.*

Tabla 19. Costos Directos

DETALLE	VALOR (USD)
Materiales	211,20
Herramientas	68,50
Mano de obra	35,60
Total de Costos Directos	315,30

Fuente: Autores

4.2 Costos indirectos

Para analizar el costo indirecto del proyecto, se tomó en cuenta las especificaciones del mapa de flujo (Figura 13) para cuando las cosas no se dan en primera instancia, además de otros parámetros que intervinieron indirectamente en el desarrollo.

Tabla 20. Costos Indirectos

Detalle	Cantidad (%CD)	Valor (USD)
Transporte de materiales	2%	6,31
Retrabajos	3%	9,46
Imprevistos	5%	15,77
Total de costos indirectos		31,54

Fuente: Autores

4.3 Costos totales

Tabla 21. Costos totales del Implemento

Detalle	Valor (USD)
Costos directos	315,30
Costos indirectos	31,54
TOTAL	346,84

Fuente: Autores

4.4 Análisis costo-beneficio

4.4.1 *El valor actual neto (VAN).* Permite determinar si la implementación del apero es rentable; en este caso la implementación de una surcadora para la flota de motocultores del MAGAP.

El valor actual neto también permite comprobar si la inversión puede incrementar o reducir el valor con respecto a la labranza de los suelos; ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual con respecto a la contratación de un tractor agrícola para el trabajo solicitado. Si es positivo significara que el valor del servicio tendrá un incremento equivalente al monto del valor actual neto. Si es negativo quiere decir que la empresa reducirá su riqueza en el valor que arroje el VAN. Si el resultado del VAN es cero, la empresa no modificara el monto de su valor.

4.4.2 *Costo Actual.* El Costo de la implementación del implemento surcador hace referencia a los costos que actualmente se cobran por la prestación del servicio de laboreo de los suelos, esto corresponde al arado y a la elaboración de los surcos de siembra.

Un tractor agrícola convencional tiene un costo aproximado de USD 15,00 por hora de trabajo, el trabajo efectuado de arado y surcado es media cuadra (3200 m²). Además se requiere de un servicio de labrado del suelo cada 3 meses aproximadamente.

4.4.3 Costo Proyectado. Es el total de la implementación del apero surcador, en este caso el valor total es de 346,84 USD. Además un motocultor consume aproximadamente 2.0 lt/h de trabajo (USD 0,50), a esto se suma la eficiencia del motocultor es decir que para cubrir la misma superficie que un tractor agrícola (3200 m²), arando con su implemento de serie (rotovator) y con el nuevo implemento el surcador va a necesitar de 1:45 (Valor tomado del capítulo 3.9.1), es decir aproximadamente USD 1.

4.4.4 Amortización del proyecto. Para determinar este parámetro se deben definir ciertos criterios como:

4.4.4.1 Prestación de servicios del motocultor. El motocultor será entregado a un grupo de personas o una comunidad, esto quiere decir si nos imponemos un total de 10 usuarios por motocultor, el número de veces que será utilizado cada trimestre es 10 veces.

4.4.4.2 Ahorro de recursos aproximado. El valor total del coste por utilización del motocultor se deduciría del costo al contratar un tractor agrícola convencional, restado el valor por consumo de combustible del motocultor. Esto es:

- Valor de laboreo tractor 3200 m² = USD 15
- Valor de laboreo de motocultor 3200 m² = USD 1

Haciendo la diferencia respectiva, se tiene que cada agricultor va a ahorrar **USD 14** por cada 3200 m² de trabajos del suelo. Este valor sería el costo que el MAGAP pretende subsidiar a las personas agricultoras, realizando la donación del motocultor con el apero surcador y rotovator. Este valor se va a multiplicar por los 10 usuarios dando un valor de **USD 140**.

Tabla 22. Amortización del costo proyectado 1er. trimestre

Descripción	Costo Actual	Costo Implemento
Inversión	0	346,84
Subsidio (Costo MAGAP) 1er Trimestre	140	0
V.A.N.	140	346,84

Fuente: Autores

Beneficio: 140-346,84 = -206,84 USD

Tabla 23. Amortización del costo proyectado 2º trimestre

Descripción	Costo Actual	Costo Implemento
Inversión	0	346,84
Subsidio (Costo MAGAP) 1er Trimestre	140	0
Subsidio (Costo MAGAP) 2do. Trimestre	140	0
V.A.N.	280	346,84

Fuente: Autor

Beneficio: 280-346,84 = - 66,84 USD

Tabla 24. Amortización del costo proyectado 3er trimestre

Descripción	Costo Actual	Costo Implemento
Inversión	0	346,84
Subsidio (Costo MAGAP) 1er. Trimestre	140	0
Subsidio (Costo MAGAP) 2do. Trimestre	140	0
Subsidio (Costo MAGAP) 3er. Trimestre	140	0
V.A.N.	420	346,84

Fuente: Autor

Beneficio: 420-346,84 = 73,16 USD

4.4.5 Tasa interna de retorno (TIR). Es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida. Para determinar la tasa de retorno se relaciona el beneficio a partir del tercer trimestre con el valor total del proyecto, esto es:

$$T = \frac{B}{C} = \frac{73,16}{346,84} * 100\% = 21,09\%$$

Tabla. 25 Costo de inversión y TIR

Descripción	Costos de inversión y TIR
Inversión	346,84 USD
Subsidio	420
Tasa Interna de Retorno	21,09%

Fuente: Autor

La implementación del proyecto le costaría al MAGAP por 6 meses, sin embargo a partir del 9 mes ya no va a tener que subsidiar el costo del implemento, cabe recalcar que la estimación se hizo para 10 usuarios con una superficie de labrado de 0,5ha/h.

CAPÍTULO VI

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se diseñó un implemento surcador de tierras que va a ser utilizado en las parcelas agrícolas de la provincia de Chimborazo, a través de la donación del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP), esto servirá de ayuda a las personas beneficiadas mejorando el estándar de vida, también dando realce y aumento a la producción de alimentos verdes, para llevarlos al comercio local y/o nacional.
- Se realizó una selección de las alternativas que podrían ser adaptables al motocultor, estas son: arado de cincel, arado de discos, arado de gradas y arado de reja vertedera, siendo esta última la mejor alternativa para la construcción e implementación.
- Con la ayuda de la plataforma de diseño 3D SolidWorks se realizó un modelado de todos los elementos que intervienen en el funcionamiento del implemento surcador, de la misma manera se realizó un pre-ensamblaje de todos los elementos para verificar la funcionalidad del apero.
- Se utilizó la herramienta de simulación que utiliza el Método de Elementos Finitos Ansys Workbench, para realizar la simulación respectiva de cada elemento, se definieron tres etapas de proceso, es decir tres mecanismos principales, los cuales fueron: el acople al motocultor, el mecanismo de regulación de inclinación, el mecanismo reja-vertedera, el cual es el encargado de la penetración en el suelo para removerlo.
- Se procedió a construir el implemento, utilizando los materiales especificados en el proyecto, como son: ASTM A36, AISI 1018, FORA 450, los cuales se pueden adquirir en casas comerciales de metal dentro del país, estos materiales proveen de mucha confiabilidad al ser estructurales y según su contenido de carbono se ha implementado dos tipos de cuchillas en el mecanismo reja – vertedera.

- En una parcela de tierra previamente arada se realizó las pruebas de campo del implemento, en el cual se afirmaron todos los procedimientos, conceptos e hipótesis formuladas en el diseño, simulación y construcción del apero, todas las pruebas fueron exitosas y se verificó la capacidad de trabajo de la máquina, siendo muy eficiente, ofreciendo un costo de trabajo menor a un tractor agrícola convencional.

5.2 Recomendaciones

- Es necesario y prudente revisar el manual de usuario del motocultor, ya que el implemento surcador funciona de manera parecida al rotovator, es por esta razón que se deben tomar las indicaciones de cuidados y mantenimientos de la maquinaria, también las indicaciones de seguridad.
- El implemento está diseñado para trabajar máximo hasta la segunda marcha de avance del motocultor, sin embargo se puede aumentar las marchas dependiendo del estado del suelo, es decir si el suelo ha sido arado muchas veces se podría aumentar la velocidad de trabajo, pero solo puede darse en un terreno plano.
- Se debe levantar el implemento al momento de realizar giros en el avance, el implemento solamente es funcional para un avance en forma rectilínea, caso contrario se pueden generar esfuerzos adicionales para los cuales el implemento no fue diseñado, y podría provocar un desperfecto en el apero. También se debe mencionar la surcadora debe estar levantada cuando el motocultor dé marcha atrás, dado que las vertederas poseen una apertura que funciona en un solo sentido, si se ancla el implemento hacia la tierra en reversa, éste va a sufrir un incremento exagerado de esfuerzo, y posiblemente ocurrirá una fractura de los elementos que lo constituyen.
- Se deben realizar capacitaciones al personal que va a manipular el motocultor, para que estas personas estén precavidas sobre el funcionamiento de toda la maquinaria y evitar accidentes en el futuro, además de mejorar el labrado de los suelos y mejorar la producción agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

AINGLA, R & QUIROZ, J. *Diseño y Construcción de un Equipo de Labranza con Tracción Accionada por un Motor de Combustión Interna para el Tallado de un Surco de Siembra a la Vez.* Quito-Ecuador: Escuela Politecnica Nacional, 2012. pp. 42-43. [Consultado: 28 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4511>

ASM INTERNATIONAL. *Metallography and Microstructures.* Ohio-EEUU: ASM Handbook Committee, Vol. 9, 1985. pp. 78.

AULLA, A & MOREJÓN, H. *Estudio de los factores que inciden en la baja fiabilidad del elemento de labranza del motocultor YTO DF-15L.* Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, 2016. pp. 30-35. [Consultado: 3 de Marzo de 2017] Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/5630#sthash.GsYpfZQl.dpuf>

LABOREO. “El Motocultor: Un Auxiliar Eficaz”. *Laboreo*, [En línea] 2009, España, Vol. 480, pp. 54-57. [Consultado: 13 de Diciembre de 2016]. ISSN: 0210-1718. Disponible en: http://www.bcsagricola.com/assets/blog/bcs/prensa/2009_11_motocultor_ESPLATAM/articulo_bcs_laboreo_n480_noviembre09.pdf

BRUKER. *Q2 ION - Resumen.* [En línea] [Consultado: 3 de Marzo de 2017]. Disponible en: <https://www.bruker.com/es/products/x-ray-diffraction-and-elementalanalysis/optical-emission-spectrometry/q2-ion/overview.html>

CAJAS, R & PULLAS, F. *Diseño, modelado y construcción de un motocultor mediante elementos finitos destinado a la preparación del suelo para la formación de camas de cultivos.* Quito-Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Electromecánica, 2012. pp. 97-98 [Consultado: 28 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5098?show=full>

CAÑAVATE J. O. *Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación.* Madrid-España: Mundi Prensa, 2012. pp. 17-22.

E.C.I. JULIO JARAVITO. *7643_metalografía.* [En línea]. “Escuela colombiana de ingeniería "Julio Jaravito". 2011. [Consultado: 8 de Marzo de 2017]. Disponible en: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7643_metalografia.pdf

ECU-RED. 2016. *Arado.* [En línea] Ecu - Red, Cuba: 2016. [Consultado: 13 de Diciembre de 2016] Disponible en: <https://www.ecured.cu/Arado>

GAMBOA, I & QUISHPE, N. Elaboración de procedimientos y métodos para el control de la producción de los aceros producidos en NOVACERO S.A. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica 2009. pp. 33. [Consultado: 3 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/268#sthash.967NaGOS.dpuf>.

INEN 1053. *Determinación de la Dureza Brinell.*

BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* Octava Edición. México, D. F., México. The McGraw-Hill Companies, 2008. pp. 4-8

UNER, FCA. *Labranza: Arado de reja y vertedera.* [En línea] 2014. [Consultado: 13 de Diciembre de 2016]. Disponible en: https://mecanizacionagricolafca.files.wordpress.com/2013/07/arado_de_reja_botta.pdf.

UPV. 2017. *Ensayos de Rockwell.* [En línea] Valencia – España, 2017. [Consultado: 4 de Marzo de 2017]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_3.html