



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **“ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA BAJA FIABILIDAD DEL ELEMENTO DE LABRANZA DE UN MOTOCULTOR YTO DF-15L”**

**AULLA CAIZA ALEX DARÍO  
MOREJÓN UCHUBANDA HENRY GEOMAT**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previa a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR  
2016**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-11-18

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**AULLA CAIZA ALEX DARÍO**  
**MOREJÓN UCHUBANDA HENRY GEOMAT**

---

Titulado:

**“ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA BAJA FIABILIDAD  
DEL ELEMENTO DE LABRANZA DE UN MOTOCULTOR YTO DF-15L”**

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

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marcelo Castillo Cárdenas  
**DIRECTOR**

---

Ing. Miguel Aquino Arroba  
**ASESOR**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** AULLA CAIZA ALEX DARÍO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA BAJA FIABILIDAD DEL ELEMENTO DE LABRANZA DE UN MOTOCULTOR YTO DF-15L”**

**Fecha de Examinación:** 2016-06-29

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Celin Padilla Padilla <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Marcelo Castillo Cárdenas <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Miguel Aquino Arroba <b>ASESOR</b>			

\* 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. Celin Padilla Padilla  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MOREJÓN UCHUBANDA HENRY GEOMAT

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA BAJA FIABILIDAD DEL ELEMENTO DE LABRANZA DE UN MOTOCULTOR YTO DF-15L”**

**Fecha de Examinación:** 2016-06-29

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Celin Padilla Padilla <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Marcelo Castillo Cárdenas <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Miguel Aquino Arroba <b>ASESOR DE TESIS</b>			

\* 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. Celin Padilla Padilla  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

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

---

**Aulla Caiza Alex Dario**

---

**Morejón Uchubanda Henry Geomat**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Alex Darío Aulla Caiza y Henry Geomat Morejón Uchubanda, 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.

---

**Aulla Caiza Alex Darío**

Cedula de Identidad: 172348638-5

---

**Morejón Uchubanda Henry Geomat**

Cedula de Identidad: 180460403-9

## **DEDICATORIA**

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado, por ello, con toda humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo de titulación a Dios.

De igual forma, dedico este trabajo de titulación a mis padres que han sabido formarme en buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi hermana, que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo.

**Alex Dario Aulla Caiza**

El presente trabajo de titulación se lo dedico primero a Dios por darme la fuerza para afrontar los momentos difíciles además a mis padres César Morejón y Dolores Uchubanda quienes fueron gestores de mi éxito en la vida universitaria, con sus consejos me han apoyado en cada instante de mi vida, cumpla mi gran sueño de ser Ingeniero Automotriz. También se la dedico a mis hermanas Leydi Morejón y Tatiana Morejón quienes han estado siempre a mi lado apoyándome y animándome de mil maneras.

**Henry Geomat Morejón Uchubanda**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mis padres por ser los promotores de mis sueños gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme aceptado ser parte de ella y abrirme las puertas para estudiar mi carrera, así como también a los docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Y para finalizar gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de este trabajo de titulación.

**Alex Dario Aulla Caiza**

Quiero agradecer a Dios por ser parte de mi vida, también 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.

Un agradecimiento especial a toda familia por estar siempre conmigo, amigos, compañeros e ingenieros que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito la universidad.

**Henry Geomat Morejón Uchubanda**

# CONTENIDO

Pág

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Justificación .....	2
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	<i>Objetivo general..</i> .....	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos:</i> .....	2
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Motocultor .....	3
2.1.1	<i>Historia del motocultor</i> .....	3
2.1.2	<i>Función.</i> .....	4
2.1.3	<i>Partes del motocultor</i> .....	5
2.1.4	<i>Clasificación de los motocultores.:</i> .....	5
2.1.5	<i>Datos técnicos del motocultor</i> .....	6
2.2	Apero de labranza .....	7
2.2.1	<i>Función del apero.</i> .....	7
2.2.2	<i>Clasificación de los aperos de labranza.</i> .....	7
2.2.2.1	<i>Atendiendo a su forma de trabajo</i> .....	7
2.2.2.2	<i>Según el acoplamiento al tractor.</i> .....	10
2.3	Rotocultores de eje horizontal (rotovator). .....	12
2.3.1	<i>Tipos de rotocultores (rotovator)</i> .....	13
2.3.2	<i>Cuchillas utilizadas en el rotovator</i> .....	13
2.3.3	<i>Características técnicas del rotovator.</i> .....	14
2.4	Preparación del suelo. ....	15
2.4.1	<i>El suelo.</i> .....	15
2.4.2	<i>Tipos de suelo existentes en la ciudad de Riobamba</i> .....	15
2.4.3	<i>Propiedades físicas del suelo.</i> .....	15
2.4.3.1	<i>La densidad del suelo.</i> .....	15
2.4.3.2	<i>Textura del suelo.</i> .....	15
2.4.3.3	<i>Porosidad.</i> .....	17
2.4.3.4	<i>Estructura.</i> .....	17
2.4.4	<i>Labranza del suelo.</i> .....	18
2.4.4.1	<i>Clasificación de labranza del suelo</i> .....	18
2.4.4.2	<i>Condiciones de labranza.</i> .....	20
2.4.5	<i>Energía consumida en la labranza.</i> .....	20
<b>3.</b>	<b>ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS DEL ELEMENTO DE LABRANZA</b>	
3.1	Ensayo de metalografía.....	22
3.1.1	<i>Metalografía.</i> .....	22
3.1.2	<i>Muestreo.</i> .....	22
3.1.3	<i>Montaje de muestra.</i> .....	23
3.1.4	<i>Desbaste</i> .....	24
3.1.4.1	<i>Desbaste burdo.</i> .....	25
3.1.4.2	<i>Desbaste intermedio.</i> .....	25

3.1.4.3	<i>Desbaste final.</i>	25
3.1.5	<i>Proceso de pulido.</i>	26
3.1.5.1	<i>Alúmina.</i>	26
3.1.5.2	<i>Paños para pulir.</i>	26
3.1.6	<i>Ataque químico.</i>	26
3.1.6.1	<i>Reactivos de ataque.</i>	27
3.1.6.2	<i>Tiempo de ataque.</i>	28
3.1.7	<i>Observación metalográfica.</i>	29
3.1.7.1	<i>Microscopio metalúrgico.</i>	29
3.1.8	<i>Microestructuras presentes en los materiales.</i>	30
3.1.8.1	<i>Tamaño de grano.</i>	31
3.1.9	<i>Resultados del ensayo metalográfico.</i>	31
3.2	<i>Ensayo de espectrometría.</i>	32
3.2.1	<i>Espectrometría.</i>	32
3.2.2	<i>Espectrómetro.</i>	32
3.2.3	<i>Tipos de espectrometría.</i>	32
3.2.4	<i>Espectrometría de emisión óptica por chispa y arco.</i>	33
3.2.4.1	<i>Principio de funcionamiento del espectrómetro Q2 ION.</i>	34
3.2.4.2	<i>Argón.</i>	34
3.2.4.3	<i>Principales partes del espectrómetro.</i>	35
3.2.5	<i>Proceso de análisis de la muestra para la espectrometría.</i>	35
3.2.5.1	<i>Preparación de la muestra.</i>	35
3.2.5.2	<i>Prueba de espectrometría de la muestra.</i>	36
3.2.6	<i>Resultados del ensayo de espectrometría.</i>	37
3.3	<i>Dureza.</i>	38
3.3.1	<i>Ensayos estáticos.</i>	38
3.3.2	<i>Ensayos dinámicos.</i>	39
3.3.3	<i>Ensayo de dureza.</i>	39
3.3.4	<i>Dureza Brinell (Norma ASTM A 370 – 03a).</i>	39
3.3.4.1	<i>Aparato para el ensayo de dureza.</i>	41
3.3.4.2	<i>Microscopio de medición.</i>	41
3.3.4.3	<i>Bola estándar.</i>	41
3.3.4.4	<i>Muestra para la prueba.</i>	41
3.3.4.5	<i>Procedimiento.</i>	42
3.3.5	<i>Dureza Rockwell.</i>	43
3.3.5.1	<i>Procedimiento.</i>	44
3.4	<i>Prueba del osciloscopio</i>	45
3.4.1	<i>Principios básicos de la acústica (términos).</i>	46
3.4.1.1	<i>Oscilación (ciclos).</i>	46
3.4.1.2	<i>Onda.</i>	46
3.4.1.3	<i>Periodo (T).</i>	46
3.4.1.4	<i>Frecuencia (f).</i>	46
3.4.1.5	<i>Amplitud (A).</i>	46
3.4.1.6	<i>Amortiguación o atenuación.</i>	46
3.4.1.7	<i>Velocidad de propagación.</i>	47
3.4.1.8	<i>Longitud de onda (<math>\lambda</math>).</i>	47
3.4.1.9	<i>Frente de onda.</i>	47
3.4.2	<i>Tipos de ondas.</i>	48
3.4.2.1	<i>Ondas longitudinales.</i>	48
3.4.2.2	<i>Ondas transversales.</i>	48

3.4.2.3	<i>Ondas superficiales o de Raileigh.</i>	49
3.4.2.4	<i>Ondas sonoras</i>	49
3.4.2.5	<i>Frecuencias.</i>	49
3.4.2.6	<i>Velocidad de propagación.</i>	50
3.4.2.7	<i>Descomposición de ondas.</i>	50
3.4.3	<i>Generación de ultrasonido.</i>	50
3.4.3.1	<i>Características del cabezal.</i>	51
3.4.3.2	<i>Palpadores.</i>	52
3.4.3.3	<i>El equipo.</i>	52
3.4.3.4	<i>Patrones de calibración.</i>	53
3.4.4	<i>Localización de defectos internos por ultrasonidos.</i>	53
3.4.4.1	<i>Por transparencia.</i>	53
3.4.4.2	<i>Por la disminución de la intensidad del eco.</i>	54
3.4.4.3	<i>Por la posición del eco.</i>	54
3.4.4.4	<i>Por o método impulso-eco.</i>	55
3.4.5	<i>Realización de la prueba.</i>	55
3.4.5.1	<i>Búsqueda de rebotes.</i>	56
3.4.5.2	<i>Búsqueda de fisuras en la cuchilla.</i>	56
3.4.5.3	<i>Picos significativos.</i>	56
3.4.5.4	<i>Verificación de picos con aumento de la ganancia.</i>	57
3.5	<i>Material de la cuchilla del rotovalor.</i>	57

#### **4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EXISTENTES EN EL ELEMENTO DE LABRANZA ROTOVATOR**

4.1	<i>Resistencia del suelo al esfuerzo cortante.</i>	58
4.1.1	<i>Cohesión.</i>	58
4.1.2	<i>Resistencia del suelo al corte.</i>	58
4.1.3	<i>Concentración de esfuerzos.</i>	59
4.2	<i>Ensayo para encontrar la fuerza de tracción en la cuchilla de rotovalor.</i>	60
4.3	<i>Cálculo de la fuerza de tracción la cuchilla del elemento de labranza.</i>	63
4.3.1	<i>Velocidades netas del motocultor.</i>	63
4.3.2	<i>Cálculo del área.</i>	63
4.3.3	<i>Análisis para suelo franco.</i>	65
4.3.3.1	<i>Resistencia específica del suelo.</i>	65
4.3.4	<i>Análisis para suelo franco arenoso.</i>	66
4.3.5	<i>Análisis de la fuerza de tracción en suelo franco arenoso.</i>	66
4.4	<i>Verificación del diseño mediante MEF.</i>	67
4.4.1	<i>Pre-proceso.</i>	67
4.4.1.1	<i>Asignación de material.</i>	67
4.4.1.2	<i>Mallado de la cuchilla.</i>	68
4.4.1.3	<i>Empotramientos.</i>	69
4.4.1.4	<i>Aplicación de fuerzas sobre la cuchilla.</i>	69
4.4.2	<i>Proceso.</i>	70
4.4.3	<i>Post-proceso.</i>	70
4.4.3.1	<i>Deformación para suelo franco.</i>	70
4.4.3.2	<i>Fuerza de reacción suelo franco</i>	71
4.4.3.3	<i>Factor de seguridad (FS) para suelo franco.</i>	71
4.4.3.4	<i>Tensión de Von Mises para suelo franco.</i>	72
4.4.3.5	<i>Fatiga de la cuchilla de rotovalor para suelo franco.</i>	73
4.4.3.6	<i>Ciclos de vida de la cuchilla para suelo franco.</i>	74

4.4.4	<i>Verificación para suelo franco arenoso.</i>	75
4.4.4.1	<i>Deformación para suelo franco arenoso.</i>	75
4.4.4.2	<i>Coefficiente de seguridad en suelo franco arenoso.</i>	75
4.4.4.3	<i>Equivalente de Von Mises para suelo franco arenoso.</i>	76
4.4.5	<i>Cuchilla reforzada.</i>	77
4.4.5.1	<i>Modelado de cuchilla reforzada.</i>	77
4.4.5.2	<i>Deformación de la cuchilla reforzada.</i>	78
4.4.5.3	<i>Tensión de Von Mises para la cuchilla reforzada.</i>	78
4.4.5.4	<i>Coefficiente de seguridad para la cuchilla reforzada.</i>	79
4.4.6	<i>Cuchilla fabricada de otro material.</i>	80
4.4.6.1	<i>Modelado de la cuchilla con acero AISI 1050.</i>	80
4.4.6.2	<i>Deformación de la cuchilla con acero AISI 1050.</i>	81
4.4.6.3	<i>Tensión de Von Mises para la cuchilla con acero AISI 1050.</i>	81
4.4.6.4	<i>Coefficiente de seguridad para la cuchilla con acero AISI 1050.</i>	81

## **5. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y RESULTADOS**

5.1	Problema.	83
5.2	Generación de variables	83
5.3	Generación de las alternativas de solución	84
5.4	Desarrollo de las alternativas.	85
5.4.1	<i>Alternativa 1.</i>	85
5.4.1.1	<i>Reforzar la cuchilla.</i>	85
5.4.2	<i>Alternativa 2.</i>	86
5.4.2.1	<i>Tratamientos térmicos.</i>	86
5.4.2.2	<i>Características de los tratamientos térmicos.</i>	87
5.4.2.3	<i>Temple...</i>	88
5.4.2.4	<i>Tipos de temple.</i>	90
5.4.2.5	<i>Revenido.</i>	91
5.4.2.6	<i>Tratamientos superficiales en aceros.</i>	94
5.4.3	<i>Alternativa 3.</i>	96
5.5	Pruebas de campo de las cuchillas reforzadas y tratadas térmicamente	97
5.5.1	<i>Materiales y herramientas.</i>	97
5.5.2	<i>Factores en estudio.</i>	98
5.5.3	<i>Unidad experimental.</i>	98
5.5.4	<i>Análisis estadístico.</i>	98
5.5.5	<i>Número de horas de trabajo.</i>	100
5.5.6	<i>Ubicación.</i>	100
5.5.7	<i>Características edafológicas.</i>	101
5.5.8	<i>Manejo del motocultor.</i>	101
5.5.9	<i>Preparación del terreno.</i>	101
5.5.10	<i>Delimitación.</i>	101
5.5.11	<i>Toma de datos.</i>	101
5.5.12	<i>Realización de las pruebas de campo.</i>	101
5.6	Realización de las pruebas de campo número dos.	104
5.7	Método de evaluación.	104
5.7.1	<i>Tiempo de trabajo de las cuchillas.</i>	104
5.8	Análisis de resultados.	106
5.8.1	<i>Rendimiento de las cuchillas en horas según la alternativa 1 y 2.</i>	109
5.8.2	<i>Rendimiento de las cuchillas en horas según la alternativa 1 y 3.</i>	109
5.8.3	<i>Desgaste de las cuchillas.</i>	110

5.8.4	<i>Costo de repotenciación de las cuchillas..</i>	111
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones .....	112
6.2	Recomendaciones .....	113

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
1	Motocultores según su categoría ..... 5
2	Datos técnicos motocultor ..... 6
3	Aperos por su forma de trabajo ..... 8
4	Tipos de rotovator..... 13
5	Características técnicas del rotovator ..... 14
6	Resistencia específica de los suelos..... 21
7	Reactivos químicos para algunos materiales ..... 28
8	Escalas de fuerzas más utilizadas ..... 44
9	Dureza Rockwell ..... 45
10	Propiedades del acero al carbono AISI 1030..... 57
11	Condiciones del suelo para el ensayo ..... 60
12	Resultados del ensayo de la maqueta ..... 61
13	Fuerzas para la simulación en MEF ..... 67
14	Características de entrada ..... 83
15	Características de salida..... 83
16	Variables de solución y restricciones ..... 84
17	Cronología de las soluciones ..... 84
18	Clasificación de las cuchillas por su tratamiento térmico ..... 95
19	Cuchilla fabricada de resorte de ballesta reciclada..... 97
20	Designación de las cuchillas..... 99
21	Tiempo y profundidad de trabajo de la cuchilla ..... 100
22	Segundo grupo de cuchillas de prueba ..... 100
23	Tiempo de trabajo de las cuchillas después de la primera prueba..... 105
24	Tiempo de trabajo de las cuchillas después de la segunda prueba ..... 106
25	Estado de las cuchillas después de las pruebas de campo ..... 106
26	Dureza de las cuchillas después de las pruebas de campo ..... 108
27	Viabilidad de las cuchillas ..... 108
28	Costos de repotenciación ..... 111

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág</b>
1	Motocultor YTO DF 15L ..... 3
2	Primer motocultor ..... 4
3	Partes del motocultor ..... 5
4	Motocultores según sus características ..... 6
5	Rotovator ..... 7
6	Apero suspendido ..... 10
7	Apero semisuspendido ..... 11
8	Apero arrastrado ..... 11
9	Rotovator o rotocultor ..... 12
10	Tipos de cuchillas ..... 13
11	Toma de fuerza ..... 14
12	Mapa de textura de suelos cantón Riobamba ..... 17
13	Labranza del suelo ..... 18
14	Labranza de conservación. .... 20
15	Tipos de extracción de la muestra ..... 23
16	Métodos para elegir la ubicación de áreas mostradas en una micrografía ..... 23
17	Prensa hidráulica y muestras de diferentes materiales ..... 24
18	Proceso de desbaste ..... 24
19	Imagen de microscopio de desbaste burdo. .... 25
20	Imagen de microscopio de desbaste final. .... 25
21	Pulidora e imagen microscópica de pulido de la muestra ..... 26
22	Imagen microscópica 200x después del ataque químico a la muestra ..... 27
23	Principio de funcionamiento de un microscopio metalúrgico ..... 29
24	Microscopio metalúrgico. .... 30
25	Microestructura de la muestra del material del rotovator ..... 31
26	Espectrómetro de emisión óptica Q2 ION Bruker ..... 33
27	Principio de funcionamiento del espectrómetro de emisión óptica ..... 34
28	Probetas para la espectrometría ..... 36
29	Probeta pulida para el ensayo ..... 36
30	Espectrómetro Q2 ION para el ensayo ..... 37
31	Probeta en el espectrómetro ..... 37
32	Resultados del ensayo de espectrometría ..... 38
33	Tabla de diámetro de indentación y de número de dureza Brinell ..... 40
34	Probetas para ensayo ..... 41
35	Esquema, caracterización y equipo para el ensayo Brinell ..... 42
36	Secuencia del ensayo de dureza Rockwell ..... 43
37	Escalas de dureza Rockwell ..... 44
38	Durómetro ..... 45
39	Onda senoidal ..... 47

40	Frente de onda .....	47
41	Ondas longitudinales .....	48
42	Ondas transversales .....	48
43	Ondas superficiales .....	49
44	Espectro acústico .....	50
45	Cabezal .....	51
46	Tipos de palpadores .....	52
47	Equipo para el ensayo de ultrasonido .....	52
48	Patrón de discontinuidades .....	53
49	Detección por transparencia .....	54
50	Disminución de la intensidad .....	54
51	Posición del eco .....	54
52	Método impulso-eco .....	55
53	Calibración del equipo .....	55
54	Búsqueda de rebotes .....	56
55	Búsqueda de fisuras en la cuchilla.....	56
56	Indicación de picos significativos.....	57
57	Concentración de esfuerzos en la cuchilla del rotovator. ....	59
58	Maqueta artesanal .....	60
59	Fuerza aplicada para la rotura del suelo .....	61
60	Triángulo de dimensiones de la maqueta .....	62
61	Modelado de cuchilla del rotovator .....	64
62	Propiedades del acero AISI 1030 para ANSYS R17.....	67
63	Parámetros de mallado.....	68
64	Mallado de la cuchilla.....	68
65	Restricciones de la cuchilla en ANSYS R17 .....	69
66	Aplicación de la fuerza en MEF .....	69
67	Proceso de simulación en ANSYS .....	70
68	Diagrama simplificado de la cuchilla. ....	70
69	Deformación de la cuchilla.....	71
70	Fuerza de reacción de cuchilla.....	71
71	Coefficiente de seguridad. ....	72
72	Gráfica de la ruptura de la cuchilla.....	72
73	Tensión de Von Mises .....	73
74	Parámetros para Fatiga en ANSYS R17 .....	73
75	Zero-Based carga fluctuante para la cuchilla .....	74
76	Ciclos de vida de la cuchilla en suelo franco.....	74
77	Diagrama S-N para Goodman .....	75
78	Deformación de la cuchilla en suelo franco .....	75
79	Coefficiente de seguridad para suelo franco arenoso .....	76
80	Tensión de Von Mises para suelo franco arenoso .....	76
81	Ciclos de trabajo de cuchilla para suelo franco arenoso.....	77
82	Modelado cuchilla reforzada. ....	78
83	Deformación de la cuchilla reforzada.....	78

84	Tensión de Von Mises para la cuchilla reforzada.....	79
85	Coeficiente de seguridad de la cuchilla reforzada .....	79
86	Ciclos de trabajo para la cuchilla reforzada.....	80
87	Modelado de cuchilla fabricada de acero AISI 1050 .....	80
88	Deformación de la cuchilla con acero AISI 1050.....	81
89	Tensión de Von Mises para la cuchilla con acero AISI 1050.....	81
90	Coeficiente de seguridad para la cuchilla con acero AISI 1050.....	82
91	Ciclos de trabajo para la cuchilla con acero AISI 1050 .....	82
92	Pasos para reforzar la cuchilla mediante añadidura de material.....	86
93	Principales tratamientos térmicos aplicados a los aceros .....	88
94	Calentamiento del acero por horno.....	89
95	Temple común en los aceros .....	90
96	Temple escalonado .....	91
97	Resiliencia en función de temp. de revenido y velocidad de enfriamiento. ....	92
98	Influencia de la temperatura de revenido y del % C sobre la dureza. ....	93
99	Influencia directa de temperatura de revenido, sobre la dureza y resiliencia. ..	93
100	Tiempos de revenido a diversas temperaturas .....	94
101	Dureza y espesor de capa nitrurada en función de la temperatura .....	95
102	Reporte del ensayo de espectrometría del resorte de ballesta reciclado.....	96
103	Fabricación artesanal de la cuchilla hecha de resorte de ballesta reciclada .....	97
104	Cambio de las cuchillas .....	102
105	Ajuste de los pernos de sujeción.....	102
106	Inspección de las cuchillas .....	102
107	Terreno para realizar las pruebas.....	103
108	Realización de la prueba.....	103
109	Mosaico de ruptura de cuchillas .....	104
110	Rendimiento de la cuchilla vs la alternativa 1 y 2.....	109
111	Rendimiento de la cuchilla vs la alternativa 1 y 3.....	109
112	Desgaste de las cuchillas reforzadas.....	110
113	Desgaste de las cuchillas fabricadas de otro material.....	110
114	Peso total de las cuchillas reforzadas y fabricadas de otro material.....	111

## SIMBOLOGIA

C	Cohesión	gr.in <sup>2</sup>
E	Módulo de Elasticidad	Pa
F	Fuerza para tirar el arado	N
Sr	Resistencia a la cortadura.	N.m <sup>2</sup>
U	Resistencia especifica del terreno	N/cm <sup>2</sup>
$\Lambda$ 1	Longitud de onda	m

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

AISI	American Iron and Steel Institute
ASABE	American Society of Agriculture and Biological Engineers
ASTM	American Society of the International Association for Testing and Materials
CAD	Computer Aided design
FEM	Finite Element Method
MEF	Método de Elementos Finitos

## **LISTA DE ANEXOS**

**A** Normas ASTM

## RESUMEN

Este proyecto es un estudio sobre los factores que inciden en la baja fiabilidad del elemento de labranza del motocultor YTO DF-15L. Se realizaron pruebas de microestructura, dureza, espectrometría y de ultrasonido de las cuchillas del rotovator, se diseñó la cuchilla en el software SolidWorks y se analizó los esfuerzos a los que está sometida la cuchilla al labrar el suelo mediante un software de métodos de elementos finitos como es Ansys. Estas pruebas caracterizaron el factor del problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza (rotovator) así como también se conoció el material del que están fabricadas las cuchillas del rotovator.

El estudio del elemento de labranza se encaminó a la geometría del diseño porque es el factor principal para que se produzca la baja fiabilidad de las cuchillas del elemento de labranza, se comprobó que el material no es un factor que incida en la baja fiabilidad del elemento de labranza puesto que son hechas de un acero AISI 1030 que es el indicado para la fabricación de cuchillas para equipo agrícola.

En las pruebas de campo se constató que la alternativa de reforzar la cuchilla mediante la añadidura de material es la más viable para solucionar el problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza.

Con los resultados obtenidos se dará solución al problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza (rotovator) y se pondrá en funcionamiento los motocultores que se encuentran sin ser utilizados en el MAGAP de la provincia de Chimborazo.

## **ABSTRACT**

This project is a study on the factors that have an impact on the low reliability of the element of farm work of the YTO DF-15L rototiller. Many tests were applied to the rotary cultivator blades, such as: tests of microstructure, hardness, spectrometry and ultrasound, the blade was designed in SolidWorks software and the efforts that are under the knife to carve the soil were analyzed by a software of finite elements as it is Ansys. These tests characterized the factor of the problem of the low reliability of the element of farm work (rotary cultivator) and the material in which the blades are made was also known.

The study of the farm work element was focused to the design geometry due to it is the main factor to have low reliability in the blades of the farm work element, it was also verified that the material does not have influence in the low reliability of the farm work element because the blades are made of AISI 1030 steel which is appropriate for the elaboration of blades to be used in farm work.

During the field tests, it was verified that the alternative of reinforce the blade by adding material is the best to solve problem caused because of the low reliability of the farm work element.

Based on the results, the problem of the low reliability of the farm work element (rotary cultivator) will be solved and the rototillers that are not in use at MAGAP- Chimborazo province will be working.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

En el año 2009 el Banco Nacional de Fomento (BNF) compró la maquinaria agrícola en su gran mayoría China, pero la maquinaria adquirida no tuvo la respuesta esperada por lo que el 29 de julio del 2011, mediante Acuerdo Ministerial 281, se creó la Dirección de Mecanización Agrícola; el 4 de febrero de 2014 el BNF transfirió al MAGAP un total de 94 tractores y 1.942 motocultores, los cuales han sido distribuidos a las diferentes provincias para su entrega a las organizaciones de productores previamente calificados por el Ministerio, para lo cual a la provincia de Chimborazo se le entregaron alrededor de 150 motocultores marca YTO, de potencia 15 Hp, a diésel, modelo DF-15L con encendido mecánico. (CASTRO, 2015).

Los mismos presentan una baja fiabilidad en el elemento de labranza conocido como rotovator el cual es informado por los agricultores que usan estos motocultores y el problema se encuentra en las cuchillas del rotovator porque estas tienen rupturas a las pocas horas de trabajo, ellos realizan un informe detallado de los inconvenientes que tienen los motocultores y lo entregan al MAGAP.

El elemento de labranza (rotovator) trabaja en el terreno mediante unas cuchillas giratorias accionadas a través de la toma de fuerza del tractor o mediante un motocultor, por lo cual es un sistema eficiente para el cultivo y la preparación del suelo, se ponen énfasis en dar una solución a este problema para que los motocultores entregados a los agricultores puedan funcionar en óptimas condiciones y los agricultores ejerzan su labor sin ningún inconveniente.

Con el problema planteado por los agricultores del cantón Chambo de la provincia de Chimborazo el MAGAP busca encontrar una solución para la baja fiabilidad de las cuchillas del rotovator y que los motocultores puedan funcionar adecuadamente, proponiendo realizar un estudio para conocer sobre los factores que incidan en la ruptura de las cuchillas del elemento de labranza.

## **1.2 Justificación**

Con el propósito de dar una solución al problema de la ruptura de las cuchillas del elemento de labranza (rotovator) del motocultor YTO DF-15L se realizó una investigación sobre el elemento de labranza (cuchillas del rotovator), con esta se dará una solución al problema y se desarrollaran nuevos mecanismos de labrado de suelos. El proyecto de investigación tiene como finalidad dar solución a la problemática que presentan los motocultores YTO DF-15L existentes en la provincia de Chimborazo y con ello lograr una reducción de costos de mantenimiento y además se pondrá en funcionamiento motocultores que se encuentran deshabilitados porque se hallan en ellos problemas de baja fiabilidad en el elemento de labranza.

Este trabajo de titulación tiene el propósito de mejorar la calidad de las partes y autopartes de un motocultor YTO DF-15L en especial de las cuchillas del elemento de labranza (rotovator) así como su fabricación con fines de una producción nacional y no realizar una exportación como se lo viene haciendo mejorando el uso de estos motocultores por los agricultores en la provincia y el país.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Evaluar los factores que inciden en la baja fiabilidad del elemento de labranza del motocultor YTO DF-15L.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

- Analizar el material de un elemento de labranza existente para conocer sus características mediante pruebas de ensayos destructivos y no destructivos.
- Modelar el elemento de labranza mediante MEF.
- Evaluar los resultados y proponer alternativas de solución.
- Validar las soluciones con pruebas de campo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Motocultor

Es una máquina automotriz la cual se considera como un tractor de un solo eje, se lo opera a pie para realizar trabajos en el suelo aprovechando la energía y potencia entregada por un motor de combustión interna. A esta máquina se le puede acoplar diferentes implementos o aperos para las labores agrícolas, su principal implemento es el rotovator que en ocasiones sirve como tracción para el motocultor.

Figura 1. Motocultor YTO DF 15L



Fuente: <http://www.molamaq.com/motocultivador-diesel-15hp.html#.VISb7tiFOP8>

**2.1.1** *Historia del motocultor.* A continuación se expone brevemente la historia más relevante del motocultor.

Uno de los primeros motocultores que se fabricaron fue a principio de los años cincuenta (periodo 1945-1960). Se utilizaba en los campos para cavar los huertos y fue su única función hasta esta fecha.

En la fecha de 1953 se puede decir que nació el primer motocultor dicha máquina podía hacer fácilmente y de manera rápida muchos trabajos. La idea original fue de separar el vehículo autopulsado con el elemento de labranza porque en la época las maquinarias

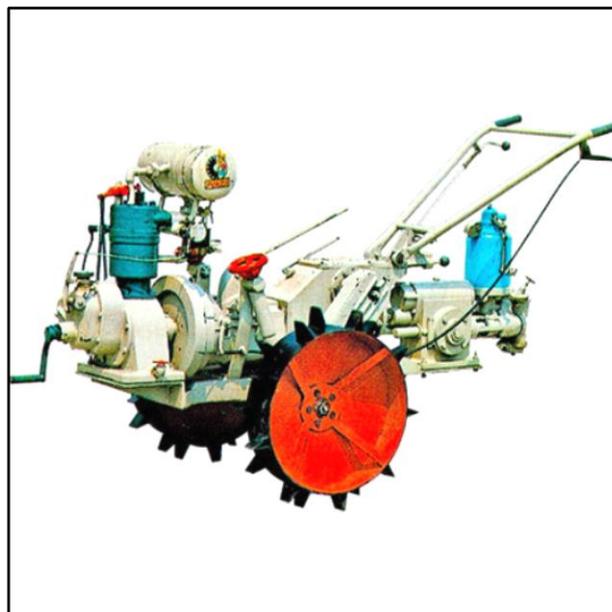
agrícolas venían en un solo cuerpo. Con el elemento de labranza rotavator montado en el motocultor se labraba de manera superficial la tierra, con el arado se araba, con el remolque se transportaba, con la bomba se rociaba etc. fue un éxito cuando se lo puso en uso en los diferentes campos de cultivo y suelos.

Para el año de 1955 por medio de una empresa italiana que se dedicaba a la mecanización de maquinaria agrícola se inició la primera producción en serie 15 máquinas en un año.

En el año de 1957 se inicia su producción para los diferentes países que requerían de sus diferentes prestaciones porque se produce un incremento importante en la mecanización de la agricultura.

A lo largo de los años con el incremento de la mecanización de la agricultura y con la proliferación de cultivos pequeños se hace indispensable el uso de los motocultores en los diferentes campos de cultivo y suelos.

Figura 2. Primer motocultor



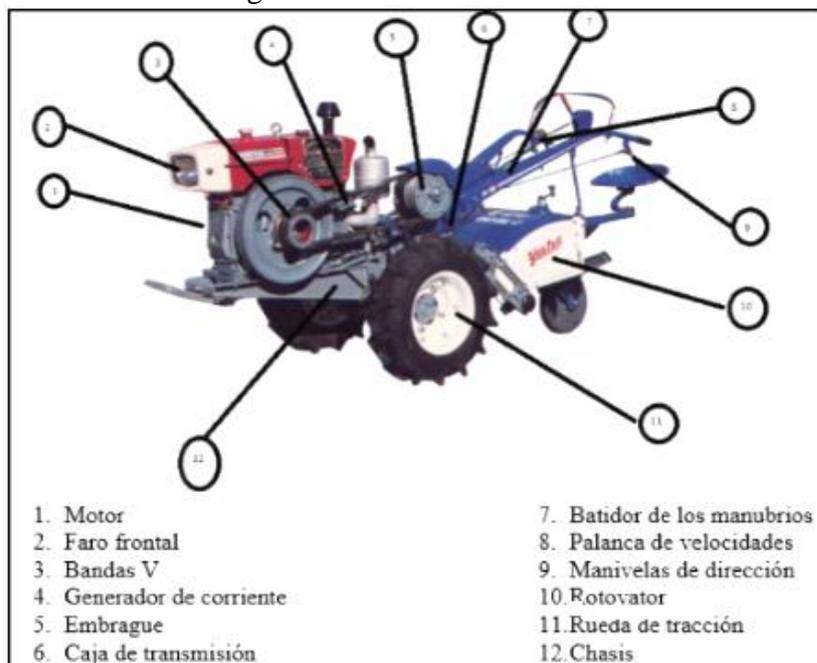
Fuente: <http://servibombasmotoresymaquinaria.jimdo.com/2013/01/17/el-primer-motocultor//>

**2.1.2** *Función.* Es la de trabajar en el suelo para labores agrícolas por lo que su diseño viene acondicionado para alcanzar las óptimas prestaciones cuando realiza dicha operación, esta operación se la realiza a través del elemento de labranza conocido como “rotovator”.

Debido a su tamaño y versatilidad es una máquina utilizada por pequeños agricultores para explotaciones hortofrutícolas y vitivinícolas (siembra y cultivo de la vid) de pequeño tamaño y debido a su gran cantidad de implementos o aperos este realiza distintas tareas como arar, roturar, surcar, transportar, etc. lo que hace que tenga gran acogida en la industria agrícola.

**2.1.3** *Partes del motocultor.* A continuación se detallan las principales partes que componen un motocultor.

Figura 3. Partes del motocultor



Fuente: Autores

**2.1.4** *Clasificación de los motocultores.* Los motocultores principalmente se pueden clasificar de dos formas:

- Según su categoría se clasifican en:

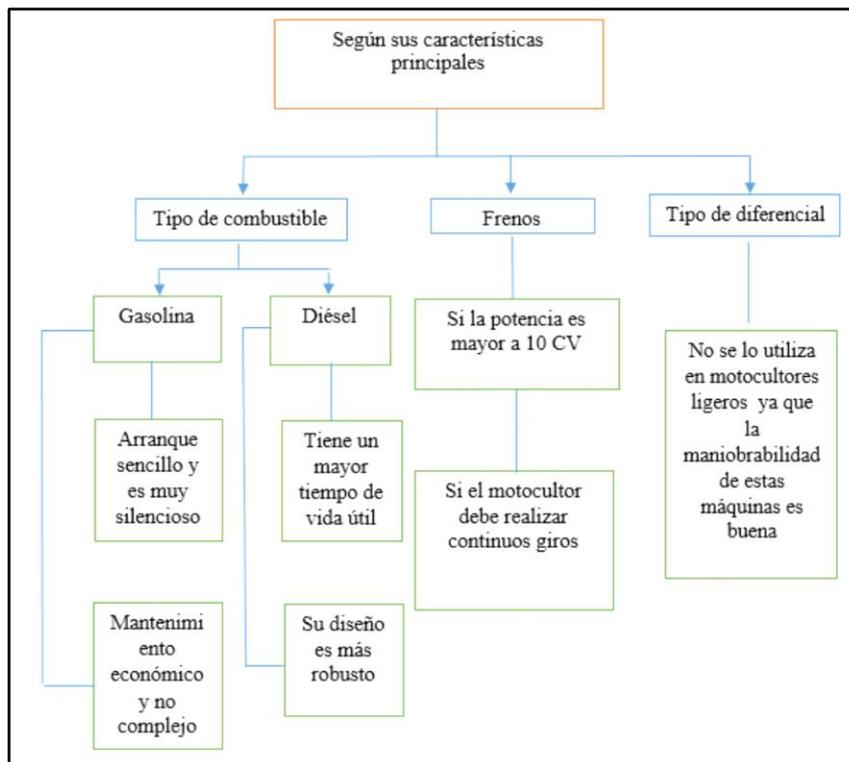
Tabla 1. Motocultores según su categoría

<b>Categoría</b>	<b>Tipo de motocultor</b>
Categoría I	Motoazadas
Categoría II	Motoazadas transformables
Categoría III	Motocultores de menos de 9 kW (12hp)
Categoría IV	Motocultores de más o igual a 9 kW (12hp)

Fuente: (CAÑAVATE, 2012)

- Según sus características principales:

Figura 4. Motocultores según sus características



Fuente: Autores

**2.1.5** *Datos técnicos del motocultor YTO DF-15L.* Las características técnicas del motocultor fueron tomadas del catálogo del fabricante que viene junto con este, son bastantes los datos del fabricante pero a continuación en la tabla 2 se han escogido los más relevantes para el estudio de la baja fiabilidad del elemento de labranza.

Tabla 2. Datos técnicos motocultor

Datos técnicos	
Marca:	YTO
Tipo:	DF-15L
Modelo:	509/499
Dimensiones (L x A x Alt) [mm]:	2680 x 960 x 1250
Peso [kg]:	12/16
Fuerza de tracción [kg-f]	221
Potencia de salida [kW/HP]:	Eje sencillo de propósito dual para tracción
Torque máximo [Nm]:	257
Velocidad del motor [rpm]	2200

Fuente: Manual del motocultor YTO DF-15L

## 2.2 Apero de labranza

Al apero se lo denomina como el instrumento o herramienta que sirve para trabajar la tierra o para realizar las tareas agrícolas. En la actualidad los aperos agrícolas vienen de forma independiente y se los acopla al tractor o motocultor por medio de una toma de fuerza.

Figura 5. Rotovator



Fuente: [http://www.vulka.es/empresa/industrias-cavabe-sl\\_1453703.html](http://www.vulka.es/empresa/industrias-cavabe-sl_1453703.html)

**2.2.1** *Función del apero.* Es la de llevar a cabo diferentes tareas agrícolas que pueden ser pequeñas en el caso de un motocultor y grandes con tractor agrícola:

- Desbrozar, labrar, cavar, preparar y acondicionar la tierra.
- Mover, cargar y transportar materiales.
- Sembrar y plantar, regar, abonar, limpiar y mantener.
- Podar, segar, cosechar y recolectar.
- Trillar, cribar, seleccionar, desecar y moler, etc.

**2.2.2** *Clasificación de los aperos de labranza.* Existe una clasificación extensa de los aperos de labranza a continuación se detallara los más importantes.

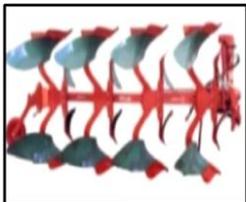
**2.2.2.1** *Atendiendo a su forma de trabajo.* En esta clasificación se toma en cuenta dos aspectos los cuales son los más relevantes para el trabajo con un apero en el terreno para realizar la tarea agrícola.

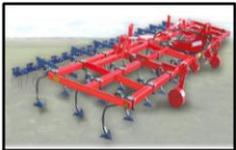
- Profundidad de trabajo. Donde se hace una distinción entre la capa arable y el subsuelo. Por capa arable se puede definir aquella donde se concentra en mayor cantidad las raíces y elementos fertilizantes de las plantas en donde se puede trabajar mediante labores profundas hasta 40 cm.

El subsuelo se lo puede definir como la capa del suelo situada por debajo de la capa arable donde con los aperos se puede realizar labores muy profundas hasta 60 cm.

- Tipo de accionamiento de la herramienta de trabajo del apero. Se puede decir que existen dos tipos de accionamiento, primero el fijo acoplado directamente a la toma de fuerza corresponde a aquel apero que se desplaza linealmente en la misma dirección y con igual velocidad que el tractor o el motocultor y se usa para la labranza primaria donde se busca la des compactación del suelo , mientras que el segundo además de tener un desplazamiento lineal tienen un segundo movimiento el cual es oscilante o rotativo que se produce por la reacción que ejerce el suelo sobre el apero, estos son utilizados para hacer surcos en el terreno que sirve para la siembra y no necesita ser accionado por la toma de fuerza de tractor o motocultor.

Tabla 3. Aperos por su forma de trabajo

<b>Clasificación de los aperos de labranza</b>			
<b>Profundidad de labor</b>	<b>Accionamiento de los elementos de trabajo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Esquema</b>
Muy profunda (40-60 cm)	Fijos	Subsolador	
		Descompactador	
Profunda (20-35 cm)	Fijos (Arados)	Vertedera	

		Disco	
		Cinzel (chísel)	
	Accionados por la toma de fuerza	Cavadora	
Labor superficial (5-15 cm)	Fijos	Cultivador	
		Vibrocultivador	
		Rastra de púas	
Labor superficial (5-15cm)	Giratorios	Grada de discos	
		Rastra de estrellas rotativas	
		Rodillo	
		Rotocultor	

		Fresadora	
Labor superficial (5-15 cm)	Accionados por la toma de fuerza	Rotocultor de formones	
		Grada rotativa	
		Grada alternativa	

Fuente: Las máquinas agrícolas y su aplicación

**2.2.2.2** Según el acoplamiento al tractor. Son aperos que se enganchan al tractor o motocultor en uno y tres puntos o a su vez por medio de una barra de acoplamiento horizontal atendiendo este concepto se los puede dividir en tres grupos:

- Acople suspendido. Estos aperos vienen acoplados en el enganche de tres puntos del tractor con lo cual son completamente soportados en su posición elevada. La profundidad de trabajo es controlada por el tractor. Una desventaja que posee con los otros acoples es su tamaño ya que tiene problemas de estabilidad por lo que es necesario colocar contrapesos frontales en el tractor además deben ser maniobrados a bajas velocidades.

Figura 6. Apero suspendido



Fuente: <https://agricultorfinesemana.files.wordpress.com/2015/09/tractor-aperos-suspendidos.jpg?w=652>

- Acople semisuspendido. Son iguales al grupo anterior solo que estos cuentan con un apoyo sobre una rueda trasera obteniendo con esto pesos muchos mayores y longitudes mayores que en los suspendidos. Se acoplan al tractor por medio de una barra de acoplamiento horizontal que les ayuda a ser sustentados parcialmente por el tractor pero nunca por completo.

Figura 7. Apero semisuspendido



Fuente: [http://www.duranmaquinaria.com/UserFiles/Images/FOTOS/servo\\_6.50.JPG](http://www.duranmaquinaria.com/UserFiles/Images/FOTOS/servo_6.50.JPG)

- Acople arrastrado. Son los que van enganchados al tractor en un solo punto pero nunca se los puede soportar por completo en el tractor, porque el apero se desplaza sobre sus propias ruedas o elementos de soporte, queda independizado de los movimientos del tractor, el enganche y desenganche se lo puede realizar de una manera fácil y rápida.

Figura 8. Apero arrastrado



Fuente: <http://www.mcjhomologaciones.com/wp-content/uploads/2014/07/PULVERIZADOR-ARRASTRADO-01.jp>

### 2.3 Rotocultores de eje horizontal (rotavator)

Es un apero de labranza primaria cuya labor es cortar, remover y empujar los pedazos de suelo sobre la cubierta de la máquina logrando así la desfragmentación del suelo. Son los que tienen mayor difusión y los primeros existentes en el mercado, de todos los tipos de aperos que existen el rotovator es el más conocido. Se han desarrollado muchas variantes del rotovator que se diferencia en la forma geométrica pero que trabajan con el mismo principio. Puesto que el rotovator gira en el mismo sentido que las ruedas del tractor o del motocultor, este en vez de necesitar tirar de la máquina, en muchos casos el motocultor es empujado por este.

Ventajas y desventajas que presenta el rotovator:

- Logra un correcto pulverizado del suelo, preparando así una cama de semilla ideal.
- No necesita de otra herramienta para realizar su trabajo.
- Entre las desventajas tenemos: costo inicial y de reparación demasiado alto, el trabajo es lento y solo se lo puede usar en terrenos sin piedras ni troncos.
- La ruptura de algunas cuchillas “hala la dirección “de la máquina o la re direcciona involuntariamente.

Figura 9. Rotovator



Fuente: <http://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/118310-Multitud-de-novedades-en-FIMA-de-la-mano-de-Vogel-Noot-Espana.html>

**2.3.1** *Tipos de rotocultores (rotovator).* La mayoría de estos se dividen por el ancho que poseen y por la potencia que requieren para realizar el trabajo, basándonos en esto tenemos los siguientes:

Tabla 4. Tipos de rotovator

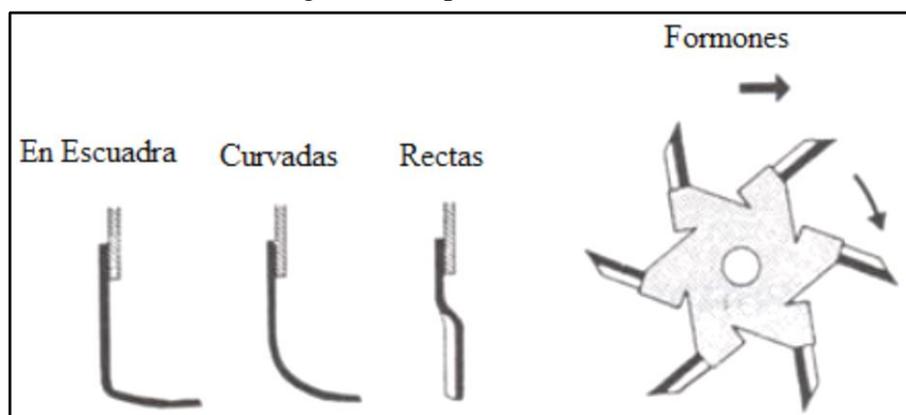
Tipo de rotovator	Ancho de corte [m]	Potencia requerida [H.P.]
Tipo jardín	0,2 a 0,7	6 a 15
Autopropulsados	2,40	180
De tiro con motor auxiliar	1,20	60 a 180
Accionados por la toma de fuerza	0,9 a 1,20	10 a 15

Fuente: Autores

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

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

Figura 10. Tipos de cuchillas



Fuente: (CAJAS REINOSO, y otros, 2012)

Para el accionamiento se lo realiza a través de un eje cardánico el cual se conecta al tractor o motocultor con su propia toma de fuerza y una caja de cambios la cual permite modificar la velocidad del rotor para cada tipo de trabajo. Para evitar un posible daño en la transmisión se recomienda que el eje cardánico no supere la inclinación de 40°.

Figura 11. Toma de fuerza



Fuente:

[http://image.ec21.com/image/agrolead/oimg\\_GC02143887\\_CA02143941/Rotovator.jpg](http://image.ec21.com/image/agrolead/oimg_GC02143887_CA02143941/Rotovator.jpg)

**2.3.3** *Características técnicas del rotovator.* Las características técnicas más relevantes del rotovator se muestra a continuación cabe resaltar que este puede ser montado tanto en un tractor como en motocultor para el trabajo de labranza.

Tabla 5. Características técnicas del rotovator

<b>Características técnicas del rotovator</b>	
Peso [kg]	140 -200
Número de cuchillas por disco	3 -6
Número de cuchillas por metro	20 -24
Velocidad del rotor [r/min]	150 -300
Potencia del motocultor [H.P.]	10 -15
Anchura de trabajo [m]	1 – 3
Velocidad de trabajo [km/h]	2 -6

Fuente: (CAÑAVATE, 2012)

Los arados rotativos pueden asumir una gama bastante variable en los trabajos agrícolas como son: preparar rápidamente la tierra sin realizar previamente operaciones convencionales de aradura y romper pastizales permanentes y temporales para renovarlas mezclando el material verde con el suelo para la rápida descomposición de los residuos vegetales.

## **2.4 Preparación del suelo**

**2.4.1** *El suelo.* Es la parte superficial de la corteza terrestre a la cual la conocemos como tierra o parcela que resulta de la desintegración de las rocas y de los desechos o residuos de los seres vivos, además en este se encuentran varios minerales y bacterias que lo hacen activo en el ámbito de la producción agrícola.

**2.4.2** *Tipos de suelo existentes en la ciudad de Riobamba.* Los suelos de la ciudad de Riobamba son de tipo volcánico, ya sea por roca volcánica meteorizada (sur) o por ceniza volcánica reciente (norte y centro). Los suelos del norte y centro se denominan andosoles, son suelos jóvenes, con horizontes poco diferenciados y, por su gran riqueza en materia orgánica, tienen un color negro. Poseen una elevada tasa de retención de agua y una gran permeabilidad, lo que permite un buen desarrollo de las raíces y una notable resistencia a la erosión. Una vez que se ha perdido la estructura porosa por desecación, el suelo ya no puede guardar agua y se vuelve hidrofóbico o repelente del agua.

En la parte sur de la ciudad, los suelos son diferentes (inceptisoles) la roca metamórfica meteorizada (proceso de desintegración física y química de los materiales sólidos en o cerca de la superficie de la Tierra) originalmente también era de origen volcánico, pero de una edad mucho mayor que los volcanes que dominan el centro y norte.

**2.4.3** *Propiedades físicas del suelo.* Estas propiedades determinan la productividad del suelo por lo que su conocimiento permite un mejor desarrollo en las prácticas de labranza.

**2.4.3.1** *La densidad del suelo.* En los suelos se consideran dos tipos de densidad la densidad aparente y la densidad real, la densidad aparente es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra del suelo tal y como es, esta varía según la textura del suelo y estructura entre los 1100 y 1900 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad real se la mide de las partículas sólidas del suelo este tipo de densidad en los suelos minerales varía entre 2500 y 2700 kg/m<sup>3</sup>.

**2.4.3.2** *Textura del suelo.* Se define textura del suelo como la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla). Las combinaciones

posibles de estos porcentajes pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales.

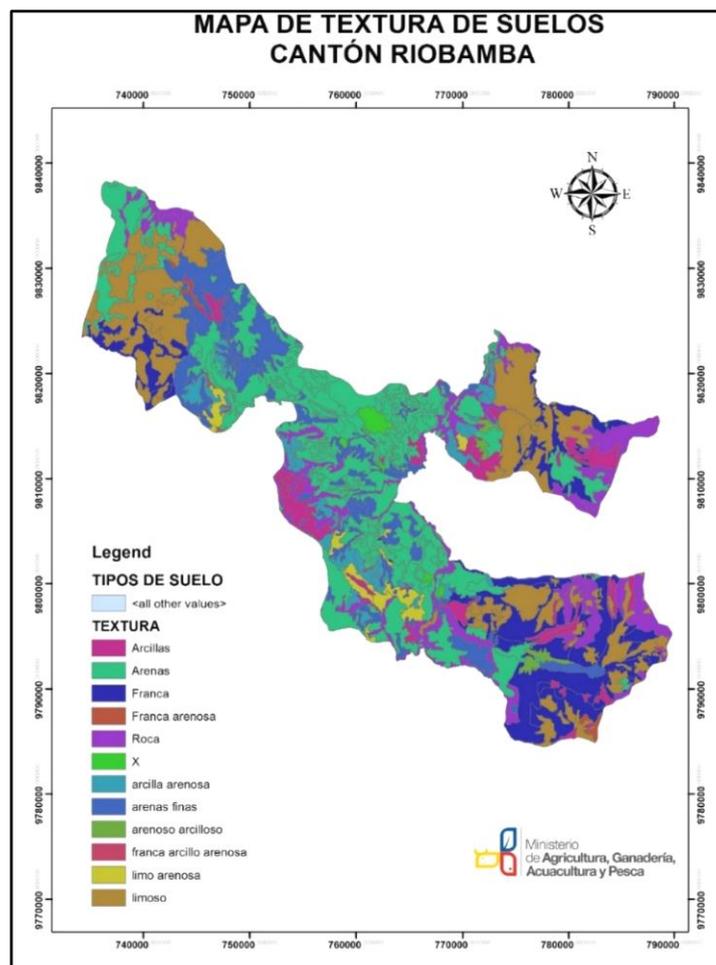
- Textura arenosa. Es no cohesiva y forma sólo gránulos simples, las partículas individuales pueden ser vistas y sentidas al tacto fácilmente. Al apretarse en la mano en estado seco se soltará con facilidad una vez que cese la presión. Al apretarse en estado húmedo formará un molde que se desmenuzará al palparlo.
- Textura franco arenosa. Es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas. Los granos de arena pueden ser vistos a ojo descubierto y sentidos al tacto con facilidad. Al apretarlo en estado seco formará un molde que fácilmente caerá en pedazos, pero al apretarlo en estado húmedo el modo formado persistirá si se manipula cuidadosamente.
- Textura franca. Es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cualitativos, de los tres separados texturales. Es blando o friable dando una sensación de aspereza, además es bastante suave y ligeramente plástico. Al apretarlo en estado seco el molde mantendrá su integridad, si se manipula cuidadosamente, mientras que en estado húmedo el molde puede ser manejado libremente y no se destrozará.
- Textura franco limosa. Es un suelo que posee una cantidad moderada de partículas finas de arena, sólo una cantidad reducida de arcilla y más de la mitad de las partículas pertenecen al tamaño denominado limo.
- Textura franco arcillosa. Es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. El suelo en estado húmedo al oprimirse entre el pulgar y el resto de los dedos formará una cinta que se quebrará fácilmente al sostener su propio peso. El suelo húmedo es plástico y formará un molde que soportará bastante al manipuleo.
- Textura arcillosa. Constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico como también pegajoso al mojarse.

Cuando el suelo húmedo es oprimido entre el pulgar y los dedos restantes se forma una cinta larga y flexible.

**2.4.3.3 Porosidad.** Se define como el volumen de aire y agua que contiene una unidad de volumen de suelo, está ligada con la capacidad de aireación y de retención de agua del suelo y depende principalmente de la textura de suelo, de la estructura, contenido de materia orgánica, tipo de cultivo, labranza y manejo del suelo.

**2.4.3.4 Estructura.** Es la asociación de partículas en agregados (mezcla de arena arcilla y limo) que dan origen a poros que contienen aire y agua, es de suma importancia para conocer la compactación del suelo tanto para la capa arable como en el subsuelo. La estructura es una de las propiedades físicas más importantes en la agricultura y además el deterioro que esta sufre es consecuencia del tránsito de maquinaria agrícola cuando ejerce la acción de laboreo con arados (rotovator) y rastras.

Figura 12. Mapa de textura de suelos cantón Riobamba

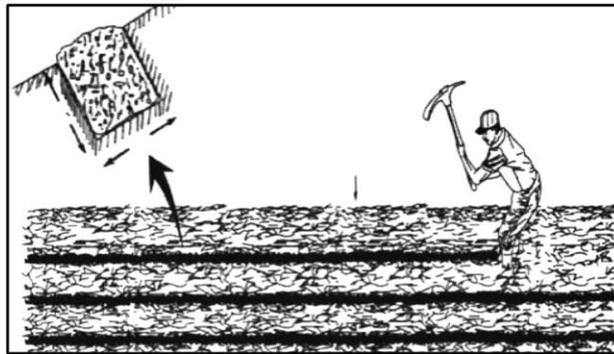


Fuente: MAGAP

**2.4.4** *Labranza del suelo.* El propósito de la labranza del suelo es aumentar el volumen de los poros para una buena estructura que requiere del equilibrio entre poros finos, medianos y en menor grado gruesos, pero toda herramienta agrícola crea poros gruesos.

También se puede definir a la labranza del suelo como la actividad de volteo mecánico del suelo llevado a cabo con el propósito de nutrir los cultivos.

Figura 13. Labranza del suelo



Fuente: <http://goo.gl/xhvp5B>

**2.4.4.1** *Clasificación de labranza del suelo.* La labranza del suelo se la puede clasificar de bastantes maneras porque esta depende de muchos aspectos tales como tipos de arado, por su aspecto superficial, por la profundidad, etc. A continuación se mostrará una clasificación general que abarque todos los aspectos anteriores.

- **Labranza primaria.** Es el sistema en que se realizan toda las labores primarias en la preparación de un terreno, como son: el desmonte, el retiro de cepas, raíces, piedras de gran tamaño, troncos, aradas profundas, volteo del terreno, primeras rastrilladas y nivelación del terreno, por lo que a esta fase se la conoce como la preparación del terreno y tiene una profundidad de trabajo de 25 a 30 cm.
- **Labranza mínima.** Se realiza una descompactación del terreno primaria con una profundidad no superior a 20-25 cm, entre los principales aperos que realiza una labranza secundaria que siguen las líneas naturales del terreno tenemos Rastras de dientes, rastras niveladoras, cultivadoras de campo, rodillos de campo. Estos implementos rompen el suelo por impacto y presión, descomponiendo los terrones y agregados, la intensidad del desmenuzado depende de la velocidad de avance del

implemento. Y los aperos que rompen el suelo sin seguir las líneas naturales de estos son las rastras de discos y las fresadoras también conocidas como rotovator.

- Labranza bajo cubierta. La profundidad máxima de trabajo es de 15 cm en este caso se utiliza una labranza vertical en donde el número de pases se reduce a dos o tres como máximo.
- Labranza en franjas. Solo se trabaja la superficie del suelo que corresponde a la franja de siembra, este tipo de labranza se utiliza en cultivos de hileras donde estas se separan al menos 40 cm. La profundidad de trabajo está entre 19 y 20 esto depende del apero que se utilice.
- Labranza en caballones. Consiste en un montículo de tierra que se levanta entre dos surcos para el cultivo, esto se lo realiza en terrenos que tenga excesiva retención de agua que provocan la asfixia de la semilla.
- No-labranza o siembra directa. Solo se realiza un control químico de la siembra sin necesidad de tener un arado para la apertura de surcos, lo que se utiliza en este tipo de labranza es una maquina sembradora sea esta de rejas o de discos.
- Labranza convencional. Se la puede llamar como la unión de la labranza primaria y secundaria con la cual se deja al suelo libre de residuos y se obtiene una adecuada cama para las semillas para empezar con el cultivo, además como complemento ayuda a controlar las plagas efectuando una división primaria del suelo.

Con la labranza convencional se quiere conseguir las siguientes características:

- Preparar el terreno para una buena cama para las semillas a sembrar, para facilitar la siembra y las labores mecánicas a realizar en el cultivo
- Proporcionar al suelo una adecuada aireación y una muy buena infiltración
- Destruye las malezas y las entresaca del terreno preparado, reduciendo los requerimientos de fertilizantes.

- Permite controlar plagas y enfermedades por efectos mecánicos y por la exposición directa a los rayos solares, roedores y pájaros.

Figura 14. Labranza de conservación.



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s10.jpg>

**2.4.4.2** *Condiciones de labranza.* Esto se basa en las características que presente el terreno al trabajar en este, una vez que se conozca el terreno a trabajar se procederá con los métodos adecuados para lograr la mejor producción de la siembra.

- De acuerdo a la textura. En suelos que posean textura gruesa el arado se lo debe realizar con un nivel de humedad cercano a la capacidad del campo mientras que un suelo de textura fina el arado se lo realiza cuando la humedad este muy por debajo de la capacidad del campo para evitar la excesiva formación de terrones demasiados grandes estos terrones no permiten una siembra adecuada.
- De acuerdo a la humedad del suelo. En base a la humedad se puede lograr el arado perfecto, es decir bajo este principio se debe saber que el suelo o el terreno a labrar debe esta con la humedad correcta esto quiere decir que si tenemos un suelo demasiado seco se lo deberá mojar más que otro que se encuentre húmedo y una vez que el terreno se encuentre con la humedad perfecta se procederá con el arado.

**2.4.5** *Energía consumida en la labranza.* Esta energía depende fundamentalmente de la resistencia específica del terreno  $\mu$  que es igual a la fuerza necesaria para tirar del arado  $F$  dividida por la sección de la labor. Esta sección está conformada por todas las áreas de contacto que existe entre la cuchilla y el suelo.

$$F = \mu \times S \quad (1)$$

Donde,

F = Fuerza de tracción del arado.

u= Resistencia especifica del suelo.

S= Sección de la labor.

En un arado de vertedera la sección de trabajo es:

$$S = n \times a \times p \quad (2)$$

Donde tenemos,

$n$  = es el número de cuerpos del arado,

$a$  = la anchura de cada cuerpo y

$p$  = la profundidad de trabajo.

La resistencia específica depende del tipo de suelo y también de la velocidad de trabajo que viene expresada en km/h. Según ASABE los valores medios de la resistencia específica para distintos suelos son:

Tabla 6. Resistencia específica de los suelos

<b>Resistencia específica de los suelos</b>	
<b>Tipo de Suelo</b>	<b><math>\mu</math> [N/cm<sup>2</sup>]</b>
Arcillo-limoso	$\mu = 7 + 0,049 \times V^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0,049 \times V^2$
Franco-arcilloso-limoso	$\mu = 4.8 + 0,024 \times V^2$
Franco	$\mu = 3 + 0,020 \times V^2$
Limo-arenoso	$\mu = 3 + 0,032 \times V^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2.8 + 0,013 \times V^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0,013 \times V^2$

Fuente: (CAÑAVATE, 2012)

## CAPÍTULO III

### 3. ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS DEL ELEMENTO DE LABRANZA

A continuación se realizó diferentes ensayos para conocer el material de composición de la cuchilla y sus diferentes propiedades mecánicas entre los cuales tenemos: ensayos metalográficos, ensayos de dureza, espectrometría de masas y un ensayo de ultrasonido de material para conocer si existe alguna fisura o porosidad en el material de la cuchilla.

#### 3.1 Ensayo de metalografía

Esto se realizó para conocer la microestructura del material y sus diferentes propiedades mecánicas del material.

**3.1.1 Metalografía.** Es una parte de la metalurgia que se dedica a estudiar las características estructurales de los metales o aleaciones para conocer sus propiedades químicas, físicas o mecánicas de los mismos.

A través de estos ensayos y potentes microscopios metalúrgicos se pueden determinar características como el tamaño de grano, distribución de las fases que componen la aleación, inclusiones no metálicas como soldaduras, micro cavidades de contracción, escorias, etc., que pueden modificar las propiedades mecánicas del metal.

Para proceder a realizar este ensayo metalográfico se procedió con lo descrito en la Norma ASTM E3.

**3.1.2 Muestreo.** La extracción de la muestra se lo hizo de la zona puntual donde la pieza ha fallado ya que en el caso presente de estudio esto permitirá obtener la mayor información sobre las características del material y así poder obtener las mejores conclusiones acerca de las causas de su falla.

Si la muestra es de un material suave como metales o aleaciones no ferrosas y aceros no tratados térmicamente, a estos se los puede cortar mediante una sierra manual, si se tratase de un material duro esta operación se la realizará mediante un disco de corte creado para

este fin y perfectamente refrigerado, esto no alterará la microestructura de la muestra por el excesivo calor que se produce cuando se lo corta.

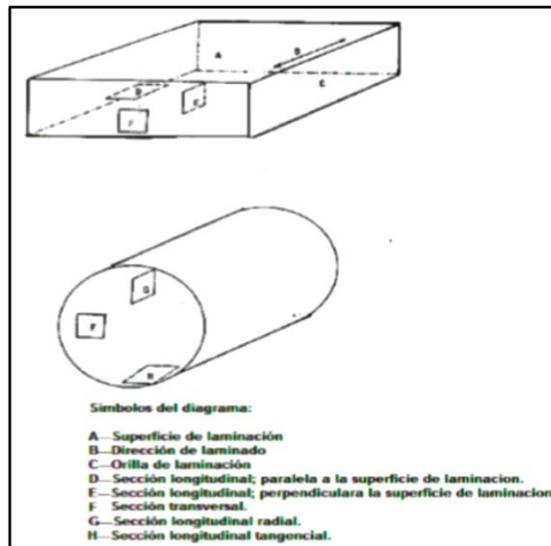
Figura 15. Tipos de extracción de la muestra



Fuente: <http://www.imh.eus/es/comunicacion>

Las probetas que se van a utilizar en el examen metalográfico, deben estar en el rango de 13 a 25 mm<sup>2</sup> según la Norma ASTM E3, si el material es redondo, en cuanto a la altura debe ser la necesaria para el correcto manejo durante el pulido.

Figura 16. Métodos para elegir la ubicación de áreas mostradas en una micrografía



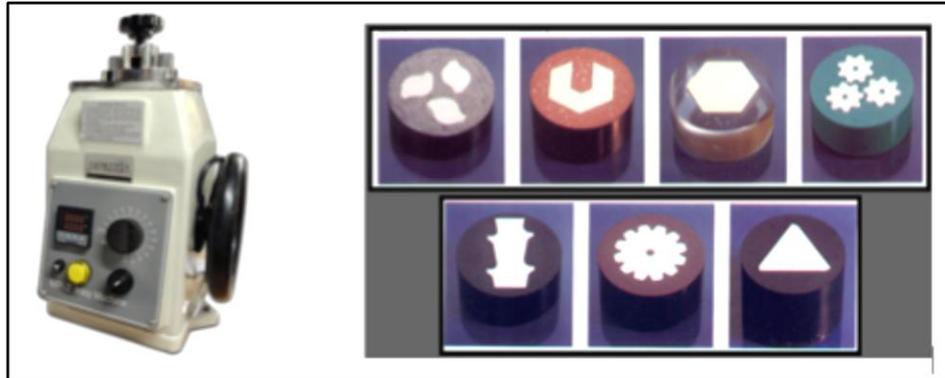
Fuente: Norma ASTM E3

**3.1.3 Montaje de muestra.** En algunos casos la muestra a ser estudiada, por sus dimensiones o su forma, no se la puede pulir directamente por lo que se utiliza una baquelita para la fijación y posterior desbaste y pulido.

Para lograr esto se coloca en una prensa generalmente hidráulica, en donde se pone la muestra y se le añade luego un polímero o baquelita las cuales se someten a una

temperatura y presión determinada según el caso y luego se enfría, obteniendo así la baquelita del material a ser trabajado.

Figura 17. Prensa hidráulica y muestras de diferentes materiales



Fuente: (GUZMAN, 2013).

**3.1.4 Desbaste.** El objetivo del desbaste consta en preparar la superficie de la muestra para el pulido, eliminando las partes distorsionadas con el fin de obtener una superficie plana, para facilitar el trabajo del microscopio que solo tiene una pequeña profundidad focal.

Para realizar el desbaste de la muestra se utilizó un papel de lija en cual se lo coloca sobre una placa o sobre cualquier superficie plana y limpia. La probeta se mueve de forma longitudinal de un lado al otro del papel ejerciendo una presión suave, con una dirección constante de desbaste para lograr que las rayas producidas por el papel sean paralelas.

Figura 18. Proceso de desbaste

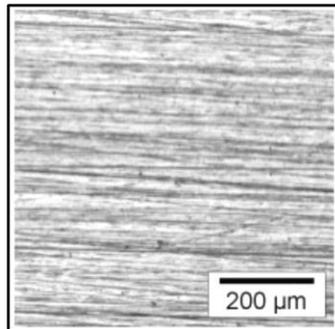


Fuente: Autores.

El desbaste consta principalmente de tres etapas, en las cuales se utilizaron el papel de lija con el número adecuado para cada etapa.

**3.1.4.1** *Desbaste burdo.* Se lo realizó con papel de lija número 180 o más grueso con esto se logró eliminar las irregularidades producidas por el corte y se removió cascarillas y otras condiciones superficiales.

Figura 19. Imagen de microscopio de desbaste burdo.

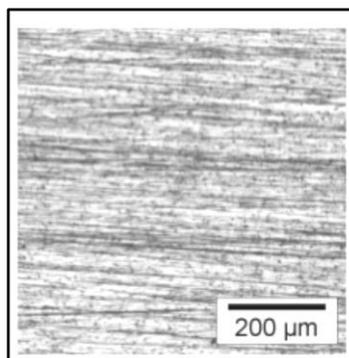


Fuente: (GUZMAN, 2013)

**3.1.4.2** *Desbaste intermedio.* Esto se realizó con una secuencia de número de papel de lija entre las cuales tenemos: 240, 320, 600 con el fin de borrar las rayas producidas por el desbaste burdo.

**3.1.4.3** *Desbaste final.* En la etapa final se utilizó un papel de lija número 1000, 1200 borrando las líneas producidas en la etapa anterior consiguiendo de esta manera una superficie plana y en lo posible que no tenga ninguna rayadura, todos estos procesos se los hizo debidamente refrigerados por agua para evitar el sobrecalentamiento de la muestra y además para limpiar la impurezas producidas por el desbaste.

Figura 20. Imagen de microscopio de desbaste final.



Fuente: (GUZMAN, 2013)

**3.1.5** *Proceso de pulido.* La etapa de pulido se lo hizo con paños macizos colocados en discos giratorios, sobre los cuales se deposita cierta cantidad de materiales abrasivo en este caso alúmina que sirve para darle esa apariencia de espejo que es la adecuada para el ataque químico.

**3.1.5.1** *Alúmina.* Conocido como óxido de aluminio que actúa como un elemento abrasivo para el pulido de la muestra el cual tiene un grado de finura de 500 a 600 mallas, se lo utiliza en forma de suspensión acuosa que se lo va añadiendo al paño que recubre la pulidora.

**3.1.5.2** *Paños para pulir.* Estos varían por su textura superficial y pueden ir desde los que no tiene pelo como la seda natural y el tejido utilizado en las alas de los aeroplanos hasta los con pelo relativamente largo como el terciopelo, también se puede utilizar los paños de mesa de billar, paños de lana y las lonas de diferentes pesos.

Se debe tener en cuenta que un paño nuevo de calidad requiere un tratamiento antes de ser utilizado pero cuando se consigue paños de menor calidad estos deben hervirse en agua para ablandar las fibras duras que existen en estos y además lavar con jabón para eliminar las materias extrañas que pueden contener.

Figura 21. Pulidora e imagen microscópica de pulido de la muestra



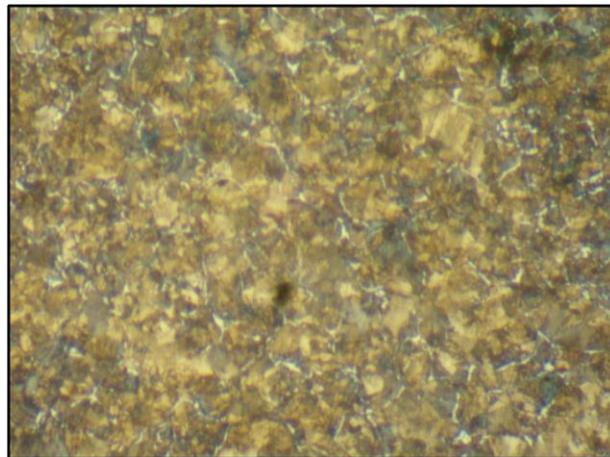
Fuente: Autores

**3.1.6** *Ataque químico.* El objetivo el ataque químico es dar a conocer las caracterizas estructurales del metal o aleación. Para lograr esto se somete a la superficie a una reacción química mediante un reactivo apropiado, este proceso y el reactivo se escogió según la norma ASTM E407

Antes de realizar el ataque químico se realizó una limpieza y desengrase de la superficie con alcohol y luego se lo seco con aire comprimido, además el tiempo debe ser adecuado porque si es demasiado corto la probeta quedara subatacada y los límites de granos y otras propiedades se verán desvanecidas si se diera lo contrario que el tiempo sea demasiado largo la muestra se sobre atacará y se verá demasiado oscura sin lograr notar sus características.

Para atacar químicamente la muestra existen dos métodos de ataque el primero se lo hace sumergiendo la probeta con la cara a estudiar hacia arriba y el otro consiste colocar directamente el reactivo sobre la cara específica y limpiar mediante un algodón.

Figura 22. Imagen microscópica 200x después del ataque químico a la muestra



Fuentes: Autores

**3.1.6.1** *Reactivos de ataque.* Estos consisten en ácidos orgánicos o inorgánicos disueltos en alcohol, glicerina, glicol, agua u otros solventes, etc. Para que el ataque químico de la muestra sea perfecto es necesario que la composición de reactivo corresponda exactamente a la composición de la muestra y las distintas fases que la forman.

El reactivo más utilizado para el ataque químico en hierros y aceros al carbono y además recomendado por la norma ASTM E407 es el nital, que está formado por un 5% de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico (en 100 cc de alcohol etílico 95% se agrega 5cc de ácido nítrico concentrado). Para atacar la muestra el nital se lo debe colocar en un plato u otro recipiente luego después la muestra se frota con un algodón que contenga nital, el tiempo adecuado para el ataque suele ir de 5 a 40 segundos inmediatamente después se

lava la muestra con bastante agua, se enjuaga con alcohol y seca mediante aire comprimido.

Entre las características del nital están que oscurece la perlita y pone en manifiesto los bordes de ferrita, además revela los límites de grano en los aceros, lo cual lo constituye en un reactivo adecuado para el estudio.

A continuación se indica en la tabla 7 los reactivos químicos más utilizados y los materiales a los cuales se los aplica.

Tabla 7. Reactivos químicos para algunos materiales

Nombre del reactivo	Composición	Usos
Ácido nítrico (nital)	Ácido nítrico de 1 a 5ml en 100ml de alcohol metílico o etílico	Se usa principalmente en hierros y aceros al carbono
Ácido pícrico (picral)	Ácido pícrico 4g en 100ml de etil o alcohol de metilo.	Para los aceros al carbono recocidos, normalizados templados y revenidos, esferoidizados, austenizados.
Cloruro férrico y ácido hidroclicóric	Cloruro férrico 5g en 50 ml de ácido hidroclicóric y 100ml de agua.	Para aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidable
Hidróxido de amonio y peróxido de hidrogeno	Hidróxido de amonio 5 partes, agua 5 partes y peróxido de hidrógeno de 2 a 5 partes.	Para cobre y sus aleaciones.
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio 10g en 90ml de agua.	Para latón, cobre, bronce, plata, níquel y bronce alumínico.
Reactivo de palmerton	Óxido crómico 200g y sulfato de sodio 15g en 1000ml de agua.	Para zinc y sus aleaciones.
Molibdato de amonio	Ácido molíbdico 100g en 140ml de hidróxido de amonio, 240 ml de agua y filtrar y añadir ácido nítrico 60ml.	Para plomo y sus aleaciones, muy apropiado para remover la capa gruesa del metal trabajado.
Ácido hidroflicóric	Ácido hidroflicóric 0,5ml con agua 99,5ml.	Para aluminio y sus aleaciones.

Fuente: (GUZMAN, 2013)

**3.1.6.2** *Tiempo de ataque.* Este tiempo se convierte en un factor importante para la adecuada reacción química del reactivo sobre la muestra y a su vez para la calidad visual

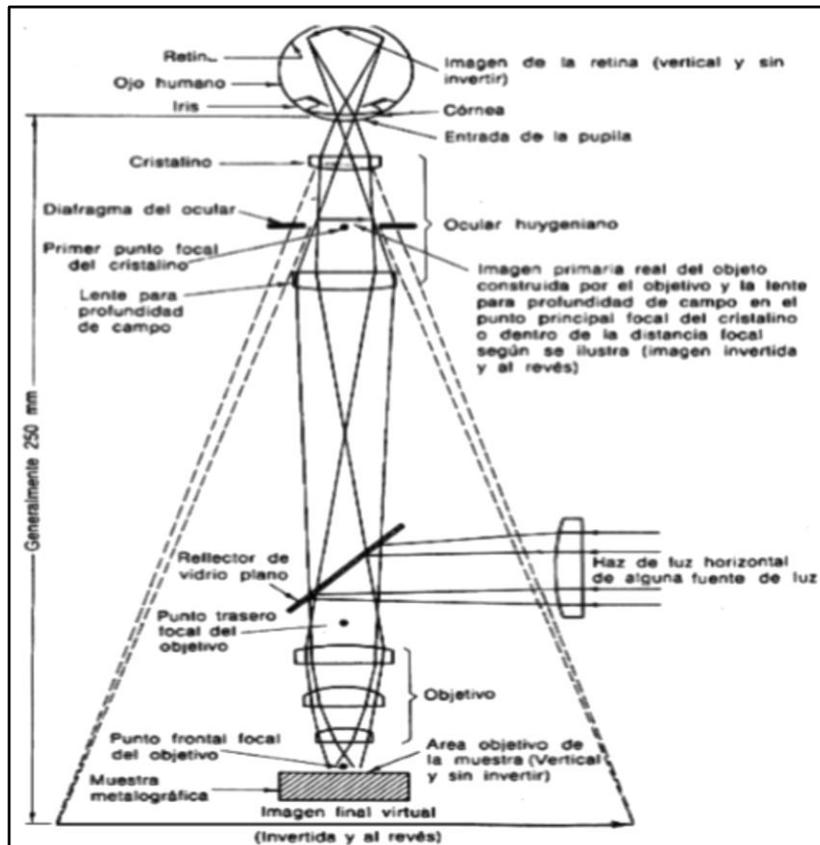
correcta de las características de la probeta, según el material de la muestra a hacer atacada y el reactivo empleado, los tiempos de ataque van desde pocos segundos a 30 o más minutos.

En la norma se especifica que para el caso de estudio se dará un tiempo de ataque comprendido entre 5 a 40 segundos. (ASTM, 2007)

**3.1.7 Observación metalográfica.** Como parte final del ensayo se procedió a observar la microestructura de la muestra después del ataque químico para lo cual se utiliza un microscopio metalúrgico.

**3.1.7.1 Microscopio metalúrgico.** Contrario a un microscopio bilógico, este se diferencia por la manera de iluminación de la muestra ya que la probeta para 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.

Figura 23. Principio de funcionamiento de un microscopio metalúrgico



Fuente: (GUZMAN, 2013)

Cabe resaltar que en función de la microestructura de la muestra del material se puede determinar el tamaño de grano, la forma y distribución de la diferentes fases e inclusiones, características todas íntimamente relacionadas con las propiedades mecánicas de los metales, además con la imagen de la microestructura se puede conocer si el material ha sufrido algún tratamiento térmico.

Figura 24. Microscopio metalúrgico.



Fuentes: Autores

**3.1.8** *Microestructuras presentes en los materiales.* La microestructura es la forma más simple del material que se basa en la disposición de las celdas de los granos poliédricos o cristales, el tamaño de este grano varía según el estado del material.

Cabe resaltar que mediante la observación metalográfica se lograra tener las siguientes características del material:

- Microestructura
- Tratamiento térmico
- Tratamiento mecánico.
- Soldadura.
- Origen de fallas y defectos

Por otro lado el ensayo metalográfico carece de resultados tales como:

- Tipo de material
- Análisis químico

- Propiedades mecánicas
- Proceso de fabricación y de operación.

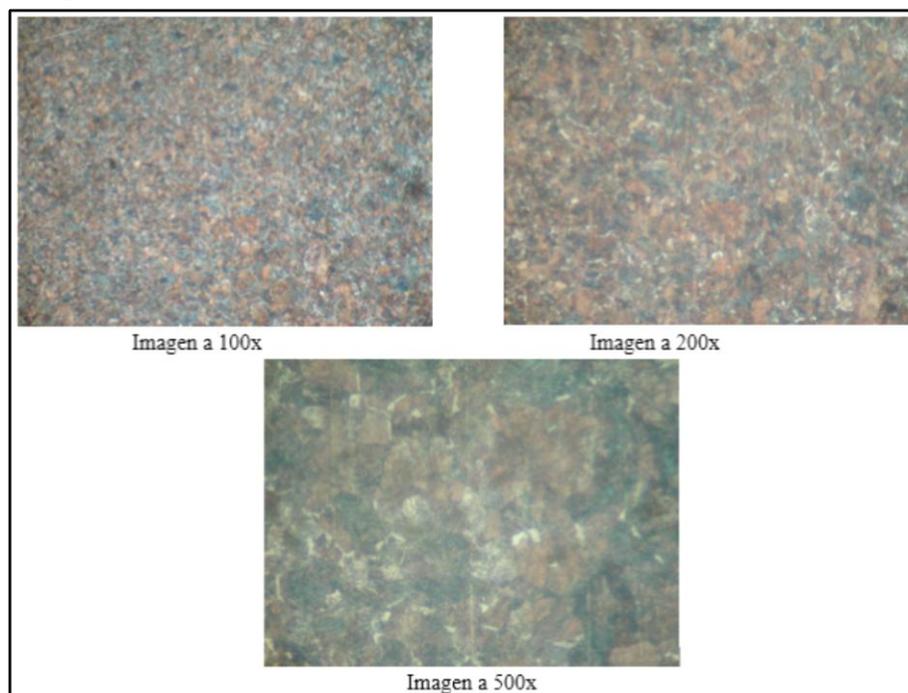
Cada material contiene una microestructura diferente lo que lo hace único al momento de ser estudiado por tal motivo se presentaran las microestructuras características de los materiales más comunes en nuestro medio.

En la presente investigación se utilizó la microestructura de los aceros al carbono para estudiar la muestra de la cuchilla del rotovator.

**3.1.8.1** *Tamaño de grano.* En el acero es una de las características que se obtienen mediante el método de fabricación, para aumentar de manera similar la resistencia mecánica y la tenacidad se debe contar un grano pequeño, el tamaño de grano viene especificado en la norma ASTM E-112 en donde se relaciona el número de grano por  $\text{mm}^2$  a 1x o por  $\text{pulg}^2$  a 200x.

**3.1.9** *Resultados del ensayo metalográfico.* Una vez concluido con la preparación de la muestra se obtuvo los siguientes resultados del ensayo, las imágenes obtenidas se encuentra a 100x 200x y 500x, mientras que el material fue atacado con nital al 2%.

Figura 25. Microestructura de la muestra del material del rotovator



Fuente: Autores.

Se interpretó en la figura 25 las siguientes características de la probeta del material de la cuchilla de rotovator.

- Se observó la presencia de ferrita en su gran mayoría y también se encuentra perlita se puede decir en un porcentaje de 70% de ferrita y un 30 % de perlita lo que es característicos en los aceros al carbono.
- Se encontró algunos puntos negros que se los consideran como carburos que lo hacen resistentes al desgaste al momento de realizar su labor, que en el caso de las cuchillas de rotovator son adecuados.
- Se apreció una microestructura estable porque no existe fisura entre los granos del material.
- No se ha realizado ningún tratamiento térmico en el material base de las cuchillas del rotovator
- Según la figura 25 la microestructura de la cuchilla tiene mayor dureza.

## **3.2 Ensayo de espectrometría**

**3.2.1** *Espectrometría.* Es una técnica ensayo espectroscópica para tasar la concentración o cuantificar la cantidad de especies determinadas, para lograr esto se utiliza un instrumento llamado espectrómetro o espectrógrafo.

**3.2.2** *Espectrómetro.* Es un instrumento óptico que es usado para medir las características de la luz sobre una parte específica del espectro electromagnético, se utilizan para hacer análisis espectroscópicos para identificar materiales.

Para realizar el ensayo se debe utilizar un espectrómetro capaz de cuantificar los elementos químicos que componen el material de las cuchillas del rotovator.

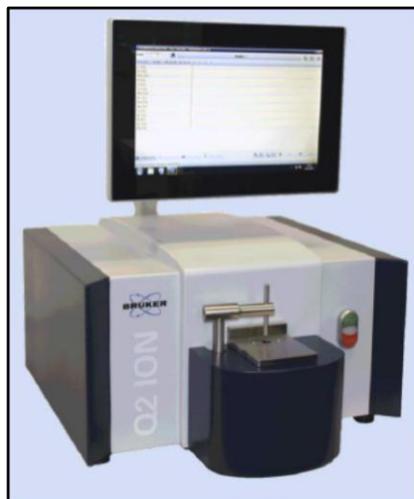
**3.2.3** *Tipos de espectrometría.* A continuación se menciona la clasificación de los ensayos de espectrometría cada uno tienen sus aplicaciones en diferentes campos.

- Espectrometría de absorción.
- Espectrometría de fluorescencia.
- Espectrometría de rayos X.
- Espectrometría de llama.
- Espectrometría de emisión de plasma.
- Espectrometría de emisión óptica por chispa y arco.
- Espectrometría visible.
- Espectrometría ultravioleta.
- Espectrometría infrarroja.

Para conocer el material del que están formados las cuchillas rotovator se utilizó la espectrometría de emisión óptica por chispa y arco que es con la cual realizaremos el ensayo.

**3.2.4** *Espectrometría de emisión óptica por chispa y arco.* Este tipo de espectrometría usa una muestra sólida que es destruida durante el análisis. Aquí se usa un arco eléctrico o chispa que pasa por la muestra elevándola a altas temperaturas para excitar los electrones de los átomos, una vez excitado los átomos estos emiten una luz en algunas longitudes de onda que son detectadas por el espectrómetro que convierte estos impulsos en corriente eléctrica y los presenta como valores porcentuales en el ordenador. Cabe resaltar que este tipo de espectrometría obtiene los resultados para cuantificar los diferentes elementos químicos que forman el material.

Figura 26. Espectrómetro de emisión óptica Q2 ION Bruker



Fuente: BRUKER

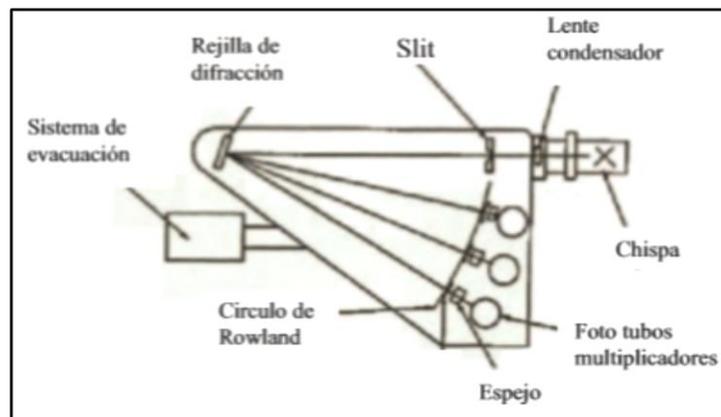
**3.2.4.1** *Principio de funcionamiento del espectrómetro Q2 ION.* Una vez colocada la muestra en el soporte de análisis el espectrómetro comienza su proceso dentro una atmosfera de gas inerte como es el argón grado AP “5.0”, luego después, un arco de chispa incide sobre la muestra la cual se funde 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.

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 Hamilton, 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.

Figura 27. Principio de funcionamiento del espectrómetro de emisión óptica



Fuente: (GAMBOA Hamilton, 2009)

**3.2.4.2** *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 10lt/min (GAMBOA Hamilton, 2009), una vez terminado el proceso el gas y el hollín generado por el arco de chispa se descargan en un recipiente de agua.

**3.2.4.3** *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  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  (GAMBOA Hamilton, 2009).
- 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 5 Pa dentro del espectrómetro gracias a una bomba de vacío.

**3.2.5** *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

**3.2.5.1** *Preparación de la muestra.* Para lograr que la muestra de la cuchilla del rotovator sea la adecuada para realizar el ensayo de espectrometría se debe tener en cuenta varios puntos tales como.

Para la extracción de la muestra se lo hizo de la parte del anclaje de la cuchilla que es la zona adecuada para el ensayo, porque es en donde se encontró una superficie plana, además es el lugar de la falla.

Figura 28. Probetas para la espectrometría



Fuente: Autores

Luego después se procedió con lijado con el fin de quitar el óxido presente en esta, debemos tratar en lo posible quitar todos los residuos de carbono presente en la probeta ya que estos harán que durante el ensayo los datos obtenidos sean erróneos, cabe resaltar que la superficie de la probeta no necesita un pulido como espejo.

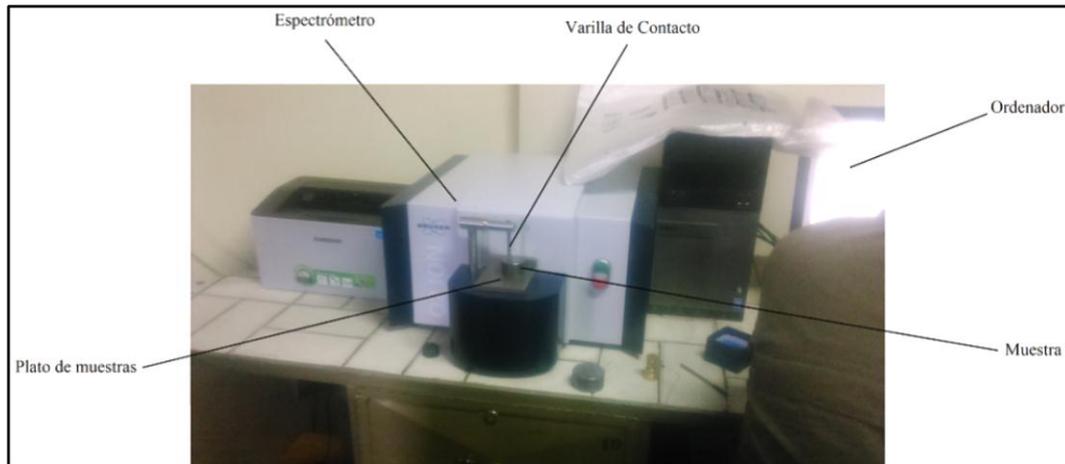
Figura 29. Probeta pulida para el ensayo



Fuente: Autores

**3.2.5.2 Prueba de espectrometría de la muestra.** Para el ensayo se utilizó un espectrómetro de emisión óptica Q2 ION, una vez con la muestra terminada y lista para el ensayo se procedió a la colocación de la probeta en el espectrómetro.

Figura 30. Espectrómetro Q2 ION para el ensayo



Fuente: Autores

La probeta se coloca en el plato de muestras con la superficie pulida hacia abajo teniendo en cuenta de no dejar descubierto el orificio en el cual se encuentra el electrodo, una vez con la muestra en el plato se desplaza hacia la varilla de contacto y se la coloca encima de la probeta en la superficie no pulida, con esto se lograra el arco de chispa. Por último se enciende el espectrómetro y observamos que todo el proceso sea el adecuado. Para obtener un resultado correcto la espectrometría se lo hace 4 veces logrando así un promedio entre los resultados.

Figura 31. Probeta en el espectrómetro



Fuente: Autores

**3.2.6** *Resultados del ensayo de espectrometría.* Los resultados se observan en el ordenador en forma de porcentajes de cada uno de los elementos químicos que conforman el material de las cuchillas el cual presenta un acero al carbono AISI 1030.

Figura 32. Resultados del ensayo de espectrometría

Bruker Analysis Report					
Sample:					
Analysis Time: 15.03.2016 12:07:44			Method: Fe110		
	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,291	0,681	0,957	<0,0030	0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,062	0,041	0,044	0,023	0,017
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,0047	<0,0050	0,0046	0,062	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	<0,0010	0,012	97,80		

Fuente: Autores

Se observó que el material de las cuchillas de rotovator es de un acero al carbono de media resistencia y para cementación AISI 1030. Este material se lo puede encontrar en el mercado en forma de palanquillas, perfiles, barras, rollos laminados o productos estirados.

### 3.3 Dureza

Es una propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador bajo carga, de esta manera se podría dar algunas otras definiciones las cuales son:

- Resistencia a la indentación permanente bajo cargas estáticas o dinámicas.
- Absorción de energía bajo cargas de impacto o dinámicas (dureza por rebote).
- Resistencia a la abrasión (dureza por desgaste).
- Resistencia al rayado (dureza por rayado).

Los diferentes métodos utilizados para obtener los valores de dureza se pueden clasificar en dos grandes grupos según la forma de aplicación de la carga.

**3.3.1 Ensayos estáticos.** En este ensayo se aplicó la carga en una forma estática o cuasi estática, en el cual el indentador se lo presiona sobre la superficie de ensayo y dicha

carga se la aplica de una manera relativamente lenta. Para estos ensayos tenemos el método de Brinell, Vickers y Knoop o el ensayo Rockwell.

**3.3.2** *Ensayos dinámicos.* En los que la carga se aplica en forma de impacto. En general el indentador es lanzado sobre la superficie a ensayar con energía conocida y el valor de dureza se obtiene a partir de la energía de rebote del penetrador luego de impactar en la muestra, como sucede en el método de Shore y en el de Leeb.

La medición de la dureza la realizamos para:

- Evaluar la efectividad de un tratamiento térmico.
- Evaluar la resistencia al desgaste de un material.
- Evaluar la maquinabilidad del material.
- Obtener una idea de la resistencia a la tracción de un material.

**3.3.3** *Ensayo de dureza.* El ensayo de dureza juntamente con el de tracción es uno de los más empleados en la selección y control de la calidad de los materiales. Intrínsecamente la dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia, el más usado en metales es la resistencia a la penetración de una herramienta de determinada geometría.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes micro estructural del material.

**3.3.4** *Dureza Brinell (Norma ASTM A 370 – 03a).* En esta es donde una carga específica se aplica a una superficie plana de la muestra de las cuchillas rotovator a ensayar, a través de una bola dura de diámetro específico. El diámetro medio de la indentación se utiliza como base para el cálculo del número de dureza Brinell. El cociente de la carga aplicada dividida por el área de la superficie de la indentación, que se supone que es esférica, se denomina número de dureza Brinell (HB) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$HB = P / \left\{ \left( \frac{\pi D}{2} \right) (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \right\} \quad (3)$$

Donde:

$HB$  = número de dureza Brinell,

$P$  = carga aplicada [kgf],

$D$  = diámetro de la bola de acero [mm],

$d$  = diámetro medio de la indentación [mm].

El número de dureza Brinell es más convenientemente asegurado de tablas estándar, tales como la figura 33, que muestran números que corresponden a los diferentes diámetros de indentación, normalmente en incrementos de 0,05 mm. En la práctica el número de Brinell se puede tomar directamente de una tabla ingresando con el valor del diámetro de la impronta. Algunos durómetros modernos están dotados de sistemas electrónicos encargados de producir la indentación y determinar el valor de dureza automáticamente.

Figura 33. Tabla de diámetro de indentación y de número de dureza Brinell

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load
2.00	158	473	845	2.80	92.6	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	156	468	836	2.81	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	463	828	2.82	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	459	817	2.83	90.4	271	543	3.23	59.4	178	356	3.83	41.7	125	250
2.04	151	454	808	2.84	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	450	800	2.85	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	790	2.86	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	782	2.87	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	773	2.88	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	765	2.89	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	756	2.90	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	748	2.91	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	740	2.92	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	732	2.93	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	724	2.94	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	717	2.95	82.6	248	495	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	709	2.96	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	702	2.97	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	694	2.98	80.8	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	687	2.99	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	680	3.00	79.6	239	477	3.40	53.4	160	321	4.00	38.1	114	229
2.21	129	386	672	3.01	79.0	237	474	3.41	53.1	159	319	4.01	37.9	114	228
2.22	128	383	665	3.02	78.4	235	471	3.42	52.8	158	317	4.02	37.7	113	226
2.23	126	379	658	3.03	77.9	234	467	3.43	52.5	157	315	4.03	37.5	113	225
2.24	125	376	652	3.04	77.3	232	464	3.44	52.2	156	313	4.04	37.3	112	224
2.25	124	372	645	3.05	76.8	230	461	3.45	51.8	155	311	4.05	37.1	111	223
2.26	123	369	638	3.06	76.2	229	457	3.46	51.5	155	309	4.06	37.0	111	222
2.27	122	366	632	3.07	75.7	227	454	3.47	51.2	154	307	4.07	36.8	110	221
2.28	121	363	625	3.08	75.1	225	451	3.48	50.9	153	306	4.08	36.6	110	219
2.29	120	359	619	3.09	74.6	224	448	3.49	50.6	152	304	4.09	36.4	109	218
2.30	119	356	612	3.10	74.1	222	444	3.50	50.3	151	302	4.10	36.2	109	217
2.31	118	353	606	3.11	73.6	221	441	3.51	50.0	150	300	4.11	36.0	108	216
2.32	117	350	600	3.12	73.0	219	438	3.52	49.7	149	298	4.12	35.8	108	215
2.33	116	347	594	3.13	72.5	218	435	3.53	49.4	148	297	4.13	35.7	107	214
2.34	115	344	588	3.14	72.0	216	432	3.54	49.2	147	295	4.14	35.5	106	213
2.35	114	341	582	3.15	71.5	215	429	3.55	48.9	147	293	4.15	35.3	106	212
2.36	113	338	576	3.16	71.0	213	426	3.56	48.6	146	292	4.16	35.1	105	211
2.37	112	335	570	3.17	70.5	212	423	3.57	48.3	145	290	4.17	34.9	105	210

Fuente: Norma ASTM A 370 – 03a

La prueba Brinell estándar utiliza una bola de 10 mm que emplea una carga de 3000 kgf para materiales duros y una carga de 1500 o de 500 kgf para las secciones delgadas o materiales blandos.

Dureza Brinell puede ser necesaria cuando las propiedades de tracción no sean especificadas

**3.3.4.1** *Aparato para el ensayo de dureza.* Una máquina de ensayo de dureza es aceptable para su uso en un rango de carga dentro de la cual su dispositivo de medición de carga tiene una precisión de  $\pm 1\%$ .

**3.3.4.2** *Microscopio de medición.* Las divisiones de la escala del micrómetro del microscopio o de otros dispositivos de medición utilizado para la medición del diámetro de las indentaciones deberá ser tal como para permitir la medición directa del diámetro de 0,1 mm y la estimación del diámetro a 0.05 mm.

**3.3.4.3** *Bola estándar.* La bola estándar para el ensayo de dureza Brinell es de 10 mm (0.3937 pulg.) de diámetro, con una desviación de este valor no mayor de 0,005 mm (0,0004 pulg.) En cualquier diámetro. Una bola adecuada para su uso no debe mostrar un cambio permanente en el diámetro mayor de 0,01 mm (0,0004 pulg.) Cuando se presiona con una fuerza de 3000 kgf contra la probeta de ensayo.

**3.3.4.4** *Muestra para la prueba.* Se realizó en zonas preparadas y que tengan metal suficiente para poder eliminar el metal descarburizado y otras irregularidades de la superficie. El espesor de la pieza de prueba debe ser tal que no haga bulto u otra marca que impida que se muestre el efecto de la carga.

Figura 34. Probetas para ensayo



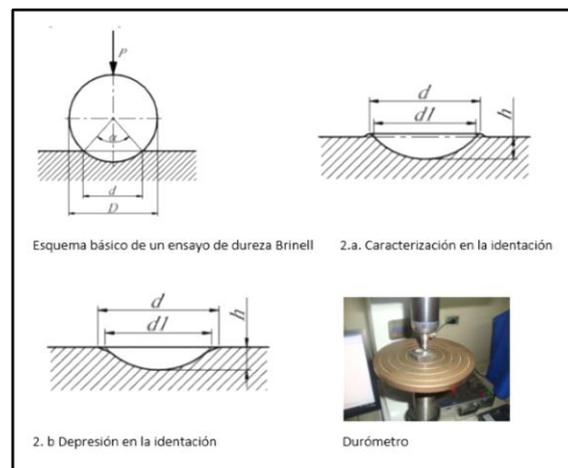
Fuente: Autores

**3.3.4.5 Procedimiento.** Es esencial que las especificaciones aplicables del producto den un estado claro de la posición en la que las muescas de dureza Brinell se van a realizar y el número que estas muescas requieren. La distancia del centro de la indentación desde el borde de la muestra o el borde de otra indentación debe ser al menos dos y media veces el diámetro de la indentación. Se aplicó la carga durante un mínimo de 15 s.

No utilice una bola de acero en aceros que tienen una dureza superior a 450 HB, ni una bola de carburo en aceros que tienen una dureza superior a 650 HB. La prueba de dureza Brinell no se recomienda para materiales con una dureza superior a 650 HB. Si una bola se utiliza en un ensayo con una muestra que indica un número de dureza Brinell mayor que el límite de la bola, la bola deberá ser descartada y sustituida por una nueva bola o volver a medir para asegurar la conformidad con los requisitos del método del ensayo Brinell.

En la práctica el número de Brinell se puede tomar directamente de una tabla ingresando con el valor del diámetro de la impronta. En algunos materiales la penetración de la bola origina una caracterización Figura 35. 2. a y en otros una depresión Figura 35 2.b. En estos casos los valores obtenidos a partir de la medición de  $h$  no coinciden con los obtenidos en función de  $d$ , ya que la profundidad  $h$  medida no corresponde al casquete cuyo diámetro es  $d$ , sino al de diámetro  $d_1$ , cuya determinación exacta en forma práctica es difícil. Por todo esto se ha generalizado la determinación de HB a partir de  $d$ , ya que ofrece mayor seguridad de una determinación correcta. Ya sea en la, determinación de  $h$  o en la de  $d$ , se requiere una precisión mínima de 0,01mm.

Figura 35. Esquema, caracterización y equipo para el ensayo Brinell



Fuente: (YEQUEN, 2009)

**3.3.5 Dureza Rockwell.** Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del indentador bajo una carga estática dada.

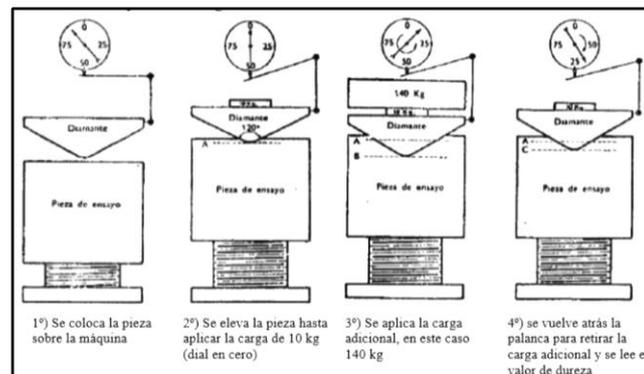
En este ensayo el valor de dureza se obtuvo mediante la determinación de la profundidad de penetración de una punta de diamante o una bola de acero existente en determinadas condiciones.

Difiere del ensayo Brinell en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños por lo que la impronta será menor y menos profunda. Además el ensayo Rockwell no requiere la utilización de fórmula alguna para la determinación de la dureza. Esta se obtiene directamente del dial indicador de la máquina ya que la misma está dada por el incremento de profundidad de penetración debido a la acción del penetrador, el cual puede ser una bolilla de acero o un cono de diamante.

En la operación, la cual se muestra esquemáticamente en la Figura 36., se aplica inicialmente una carga de 10 kg la cual causa una penetración inicial que pone el penetrador sobre el material y lo mantiene en posición. El indicador de la máquina se pone en cero, es decir se toma la línea de referencia a partir de la cual se medirá la indentación y se aplica la carga adicional, la que generalmente es de 50 o 90 kg cuando se utiliza como penetrador una bola de acero y es de 140 kg cuando es un cono de diamante.

Al aplicar la carga adicional el material fluye plásticamente, resultando una penetración total. Posteriormente, se retira la carga adicional, permitiendo la recuperación elástica del material resultando una penetración final y se lee el valor de dureza.

Figura 36. Secuencia del ensayo de dureza Rockwell



Fuente: (YEQUEN, 2009)

En la tabla 8 se indica las escalas de fuerzas para el ensayo Rockwell.

Tabla 8. Escalas de fuerzas más utilizadas

Símbolo de la escala	Penetrador	Mayor fuerza [kgf]	Menor fuerza [kgf]
B	1/16 in. Bola de acero	100	10
C	Punta de diamante	150	10

Fuente: Norma (Norma ASTM A 370 – 03a)

Figura 37. Escalas de dureza Rockwell

Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0,4 mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de $\phi$ 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6 mm)
B	Bola de $\phi$ 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de $\phi$ 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de $\phi$ 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de $\phi$ 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción o sintéticos
K	Bola de $\phi$ 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D530-59T), Madera laminada (ASTM D 805-52), Materiales sintéticos (ASTM D-785-60T), Otros materiales muy blandos o muy finos.
L	Bola de $\phi$ 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de $\phi$ 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de $\phi$ 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de $\phi$ 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de $\phi$ 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de $\phi$ 1/2"	150	Rojo	

Fuente: Norma ASTM E 18-03

**3.3.5.1 Procedimiento.** Para obtener la dureza Rockwell de la superficie de un material se presiona contra la probeta un indentador (cónico-esferoidal o esférico, según el caso) con una carga previa, luego se aplica la carga principal para sostener la carga total durante algún tiempo. Luego de retirada la carga principal y mantenido la previa, se observó en la escala correspondiente al tipo de indentador, el valor de la dureza Rockwell, calculado automáticamente por la máquina. En las mismas condiciones se realizan varias indentaciones más.

Las probetas deben ser limpiadas para retirar el óxido, suciedad y escamas de una de sus caras donde se realizarán las mediciones, se debe tener especial cuidado en no calentar la superficie durante el procedimiento de limpieza. La probeta debe ser montada de tal forma que la superficie esté en la normal del eje del indentador.

Y se seleccionó el tipo de ensayo según la tabla de escalas de dureza Rockwell. Las condiciones específicas para las durezas HRC y HRB. Se debe tener en cuenta que la

mediciones de dureza muestran resultados dentro de los límites permitidos, de no ser así se debe echar mano de otra escala u otro método de medición de dureza.

Figura 38. Durómetro



Fuente: Autores

Datos obtenidos luego de realizar los ensayos de dureza.

Tabla 9. Dureza Rockwell

<b>Dureza Rockwell</b>	<b>Medición [HRC]</b>
Cuchilla original	47
	47
	48
	51
	47
Promedio	48

Fuente: Autores

Una vez realizado el ensayo de dureza se pudo determinar que las cuchillas del elemento de labranza no poseían ningún tratamiento térmico.

### 3.4 Prueba del osciloscopio

Este método se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituye la pieza a analizar, los ensayos mediante ultra sonido permiten la medida de espesores reales en servicio, espesores de películas protectoras, de pinturas, de recubrimientos, de soldaduras, así como la localización y medida de defectos internos entre los cuales tenemos microfisuras, inclusiones, poros, etc. que pueden ser originadas por un proceso de fabricación defectuoso.

Se denominan ultrasonidos a ondas producidas por vibraciones mecánicas de frecuencia superior a 20000 ciclos por segundo = 20 KHz (máxima audible). Los ultrasonidos más utilizados son de frecuencias comprendidas entre  $10^5$  y  $10^7$  ciclos por segundo, y se propagan en línea recta, pudiendo atravesar espesores de acero de varios metros. Su amortiguación es grande en gases e intermedia en líquidos. (GONZALEZ, 2003)

Puesto que el comportamiento y la propagación de los ultrasonidos son de naturaleza ondulatoria, para que una discontinuidad o defecto sea detectable mediante esta técnica, es necesario que su dimensión en el sentido de propagación de la onda sea mayor que una semilongitud de onda, pues únicamente en ese caso la onda atravesará con seguridad el defecto y aparecerá una variación de la intensidad sónica medida. Así pues el límite de detección de esta técnica depende casi exclusivamente de la frecuencia de los ultrasonidos utilizados.

**3.4.1** *Principios básicos de la acústica (términos).* A continuación se detalla cada uno de los términos de acústica que se necesitaran para la prueba de ultrasonido.

**3.4.1.1** *Oscilación (ciclos).* Es el cambio periódico de la condición o el comportamiento de un cuerpo.

**3.4.1.2** *Onda.* Es una propagación de una oscilación y sucede cuando las partículas de un material oscilan transmitiendo su vibración a la adyacente.

**3.4.1.3** *Periodo (T).* Tiempo necesario para llevar a cabo una oscilación.

**3.4.1.4** *Frecuencia (f).* Es la inversa del período.

**3.4.1.5** *Amplitud (A).* Es la máxima desviación de oscilación, si esta es constante en el tiempo la oscilación se considera como desamortiguada (para materiales perfectamente elásticos), en cambio si esta decrece con el tiempo, la oscilación se considera como amortiguada, en este caso la disminución de dicha amplitud se debe a la disipación de energía (cuando los materiales no son perfectamente elásticos).

**3.4.1.6** *Amortiguación o atenuación.* Es el decremento en el tiempo de la amplitud de una oscilación.

**3.4.1.7** *Velocidad de propagación.* Es la velocidad con la que se propaga la onda, es la velocidad del sonido (C), y esta depende de las propiedades del material.

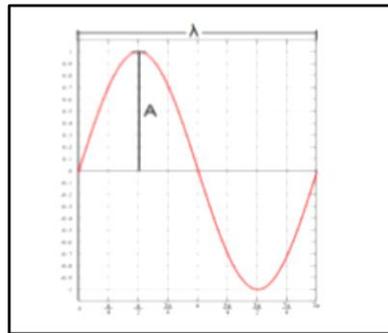
**3.4.1.8** *Longitud de onda ( $\lambda$ ).* Es la distancia entre dos puntos adyacentes de condición de oscilación equivalente mirando en la dirección de propagación. Si el fenómeno se propaga con una velocidad V entonces se tiene que:

$$\lambda = V * T \quad (4)$$

O teniendo en cuenta la frecuencia,

$$\lambda = V/f \quad (5)$$

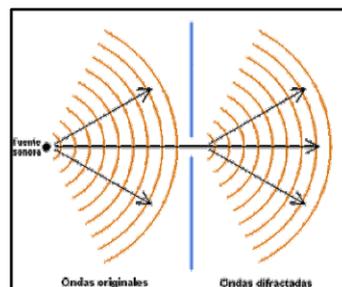
Figura 39. Onda senoidal



Fuente: (RIMOLDI, y otros, 2012)

**3.4.1.9** *Frente de onda.* Es el lugar geométrico en que los puntos del medio son alcanzados en un mismo instante por una determinada onda. Dada una onda propagándose en el espacio o sobre una superficie, los frentes de ondas pueden visualizarse como superficies o líneas que se desplazan a lo largo del tiempo alejándose de la fuente sin tocarse.

Figura 40. Frente de onda

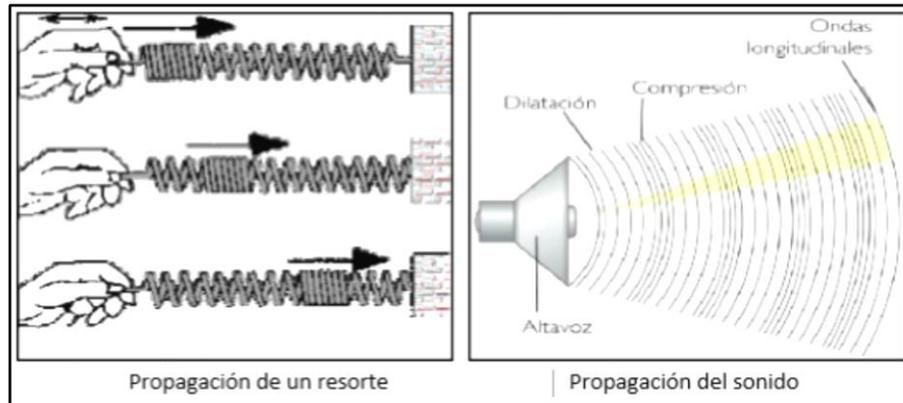


Fuente: <http://fisica-fenomeno-de-las-ondas.blogspot.com/>

**3.4.2** *Tipos de ondas.* Las ondas pueden ser propagadas de distintas maneras, correspondiendo cada una de ellas al movimiento particular de los elementos del medio.

**3.4.2.1** *Ondas longitudinales.* En este tipo de ondas el movimiento de las partículas en el medio es paralelo a la dirección de propagación. Por ejemplo la propagación en un resorte y la propagación del sonido. (GONZALEZ, 2003)

Figura 41. Ondas longitudinales

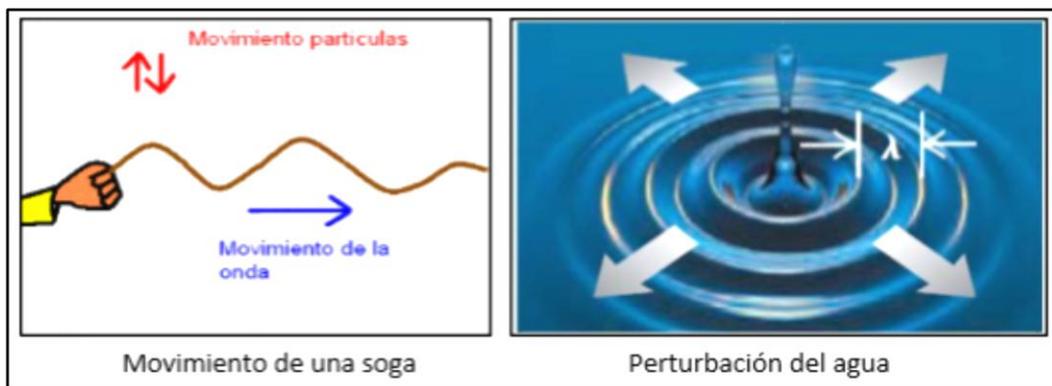


Fuente: <http://labiofisica-ug.blogspot.com/2015/08/propagacion-del-sonido.html>

Estas son las ondas más utilizadas en ultrasonido porque, además de propagarse en cualquier medio, son fácilmente generadas y detectadas. Pueden ser orientadas y localizadas en un haz concentrado y poseen alta velocidad.

**3.4.2.2** *Ondas transversales.* En este caso el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de la propagación de la onda, ejemplo el movimiento de una soga al agitarla o el agua ante una perturbación. (GONZALEZ, 2003)

Figura 42. Ondas transversales

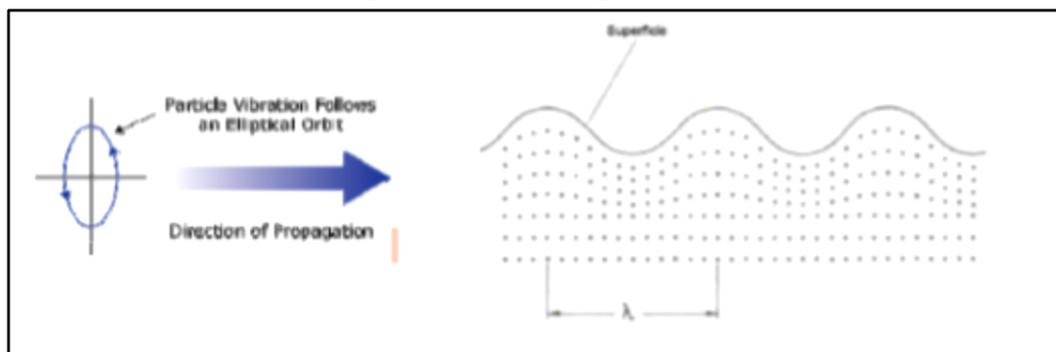


Fuente: <http://slideplayer.es/slide/3885393>

Ya que los líquidos y gases no ofrecen ninguna resistencia a los esfuerzos de corte, las ondas transversales no pueden ser propagadas en estos medios, entonces solo las ondas longitudinales pueden propagarse en líquidos y gases. Sin embargo en los sólidos pueden propagarse tanto las ondas transversales como las longitudinales y sus combinaciones.

**3.4.2.3 Ondas superficiales o de Raileigh.** Son ondas que se propagan sobre las superficies de los sólidos de espesores relativamente gruesos penetrando aproximadamente una longitud de onda. Estas poseen la particularidad de que el movimiento de las partículas es una combinación de movimiento transversal y longitudinal realizando una elipse la cual el mayor ejes es el perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Estas ondas son utilizadas en el método de ultrasonido porque son particularmente sensibles a defectos en la superficie y son capaces de copiar posibles curvas que dichas superficies posean. (GONZALEZ, 2003)

Figura 43. Ondas superficiales



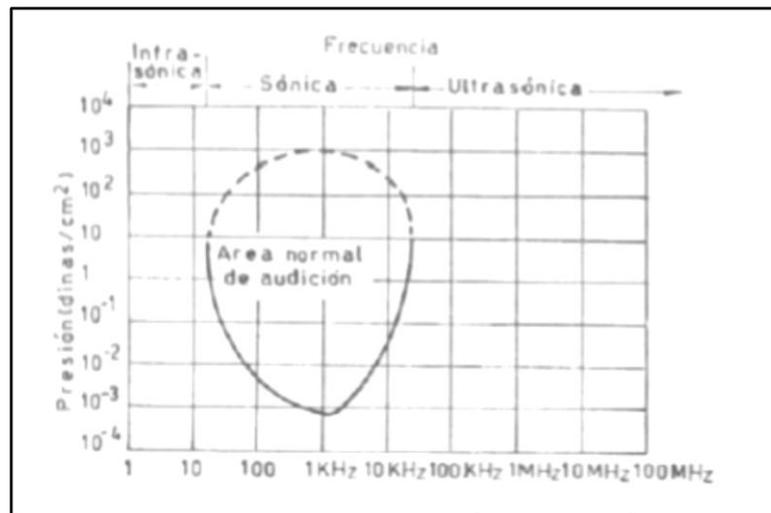
Fuente: (RIMOLDI, y otros, 2012)

**3.4.2.4 Ondas sonoras.** El sonido, como se lo conoce habitualmente, se propaga en forma de ondas. Una diferencia de importancia de estas ondas, producidas por medios elásticos, y las llamadas electromagnéticas (luz, rayo X, Gamma, etc.) es que las ondas sonoras necesitan de un medio para transportarse (sea sólido, líquido o gaseoso), mientras que las últimas no. Ambas tienen propiedades en común: transportan energía de un punto a otro del espacio. Cuando un cuerpo en el aire (cuerda tensa, voz humana, etc) perturba el aire que lo rodea, de una manera tal que su dirección es la misma que la propagación estamos en presencia de ondas longitudinales.

**3.4.2.5 Frecuencias.** Más allá de todas las divisiones que puedan ser hechas se sabe que no todo el rango de frecuencias es audible para el oído del ser humano. Solamente es

un cierto rango el cual puede diferir entre individuos y que puede variar con la edad. El límite inferior de audibilidad se halla alrededor de 16Hz y el superior alrededor de 20KHz. Los rangos de interés son: Subsónico:  $f < 16\text{Hz}$ , en este rango no se escucha ningún tono, solo se notará presión. Sónico:  $16\text{Hz} \leq f \leq 20\text{KHz}$ , rango audible por el ser humano. Ultrasónico:  $f > 20\text{KHz}$ . Las frecuencias utilizadas en los ensayos ultrasónicos se encuentran en el rango de 0,5 a 25 MHz. (GONZALEZ, 2003)

Figura 44. Espectro acústico



Fuente: (RIMOLDI, y otros, 2012)

**3.4.2.6** *Velocidad de propagación.* La velocidad de propagación de estas ondas (velocidad del sonido) es constante en todo el sólido, y depende del módulo de elasticidad a tracción (o de young) y de la densidad del medio.

**3.4.2.7** *Descomposición de ondas.* Las ondas sonoras, dentro de un medio, sufren los siguientes fenómenos:

- Reflexión
- Refracción
- Difracción
- Interferencia
- Absorción

**3.4.3** *Generación de ultrasonido.* Entre los diferentes procedimientos para la generación y detección de ondas de ultrasonidos, uno de los más habituales y de mayor

interés es el método piezoeléctrico. Se basa en el fenómeno piezoeléctrico que consiste en la generación de cargas eléctricas por medio de sollicitaciones o presiones de naturaleza mecánica. Lo presentan muchos cristales, como el cuarzo, titanato de bario, sulfato de bario, sulfato de zinc, turmalina, que son los más comúnmente utilizados. El fenómeno piezoeléctrico es reversible, es decir, si se aplica una diferencia de potencial a un cristal piezoeléctrico, este experimenta cambios dimensionales. Así pues, un campo eléctrico variable (alterno) producirá en estos cristales piezoeléctricos vibraciones mecánicas variables, que con la frecuencia apropiada (105-107 Hz), generan las ondas de ultrasonidos. Igualmente, en sentido inverso, los ultrasonidos se traducirán en estos cristales en un campo eléctrico variable, permitiendo su detección. (RIMOLDI, y otros, 2012)

Los cristales se tallan y cortan según su eje óptico en forma de paralelepípedo que se montan entre dos armaduras eléctricas y de igual frecuencia a los ultra sonidos que se quieren obtener. Van montados en soportes denominados palpadores o sondas de ultra sonido.

**3.4.3.1 Características del cabezal.** El cabezal es una parte muy importante del instrumento de ultrasonido. Como se comentó anteriormente, es el que contiene el elemento piezoeléctrico que convierte la señal eléctrica en vibraciones mecánicas (Emisión) y las vibraciones mecánicas en energía eléctrica (Recepción). Algunos factores, como la construcción mecánica y eléctrica, afectan el comportamiento del cabezal. La construcción mecánica incluye parámetros como la superficie de radiación, el amortiguamiento propio, el encapsulado, el conexionado, entre otros.

Figura 45. Cabezal



Fuente: (RIMOLDI, y otros, 2012)

**3.4.3.2** *Palpadores.* Existen diferentes tipos de palpadores (generadores y receptores de ultrasonidos).

Figura 46. Tipos de palpadores



Fuente: (MATERIALES, 2007)

**3.4.3.3** *El equipo.* El generador de pulsos induce al transmisor de pulsos el cual excita al cristal del cabezal, este corto pulso eléctrico normalmente tiene un voltaje pico de cientos de voltios. El mismo generador también activa la base de tiempos horizontal en el osciloscopio por medio de un circuito de tiempo de retardo. La deflexión vertical del osciloscopio se alimenta con un amplificador y un rectificador de pulsos recibidos desde la pieza. La longitud de la medición que se observa en la pantalla puede variar alterando la velocidad de la base de tiempo.

Figura 47. Equipo para el ensayo de ultrasonido



Fuente: Autores

**3.4.3.4** *Patrones de calibración.* La acción de calibración se refiere a un acto de evaluación y ajuste de la precisión de medida del equipo. En lo que respecta a ensayos ultrasónicos se utilizan varios métodos de calibración ya que es un ensayo de comparación.

La electrónica del equipo se debe calibrar para asegurar su funcionamiento y diseño, esta operación generalmente es realizada por el fabricante en el proceso de fabricación. Luego hay una calibración que debe realizar el usuario previo al ensayo; esta calibración incluye los parámetros iniciales del equipo, el cabezal, y el testeo para validar los niveles deseados de precisión.

En los ensayos de ultrasonido también existe la necesidad de estándares de referencia, estos son utilizados para establecer un nivel general de consistencia en la medición y ayudar a interpretar y cuantificar la información adquirida.

También son necesarios los patrones de calibración para validar que el instrumento provea resultados similares sin importar el tiempo y que, a su vez se pueda reproducir lo mismo con un sistema diferente.

Figura 48. Patrón de discontinuidades

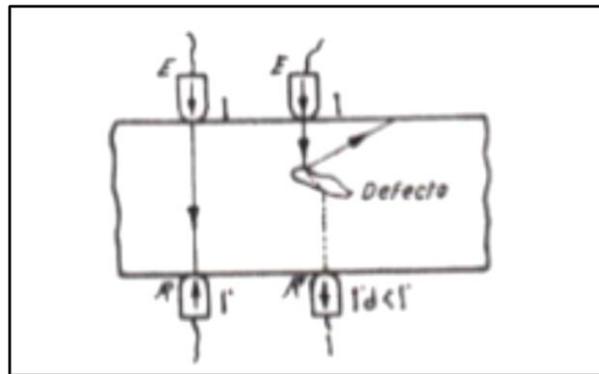


Fuente: Autores

**3.4.4** *Localización de defectos internos por ultrasonidos.* Se detalla los tipos de prueba que se pueden realizar con un osciloscopio.

**3.4.4.1** *Por transparencia.* Por la disminución de intensidad de ultrasonido medido por el receptor al atravesar la onda una zona defectuosa.

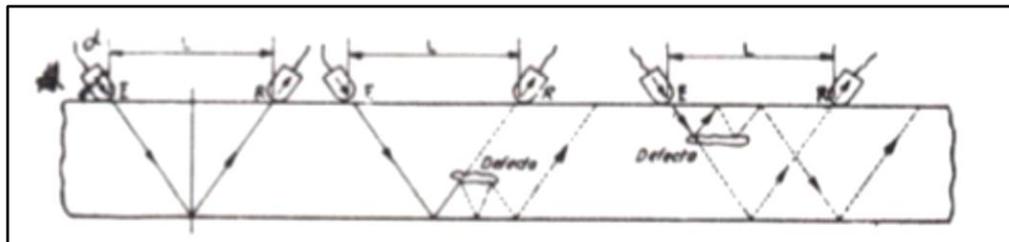
Figura 49. Detección por transparencia



Fuente: (MATERIALES, 2007)

**3.4.4.2** *Por la disminución de la intensidad del eco.* Basado en la disminución de la intensidad de la onda reflejada en la cara opuesta de la pieza después de atravesar un defecto.

Figura 50. Disminución de la intensidad

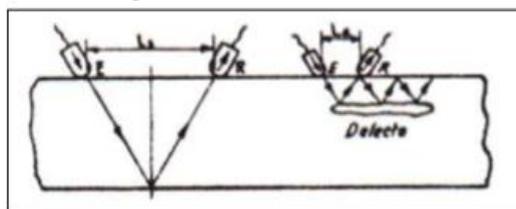


Fuente: (MATERIALES, 2007)

**3.4.4.3** *Por la posición del eco.* Ya que la exploración se realiza ajustando el palpador del receptor a la mejor distancia para recibir la onda reflejada.

Cuando esta onda se encuentra con un defecto, la reflexión que éste produce alcanza la superficie a una distancia inferior desde el emisor, por lo que el receptor debe ser acercado. De la distancia entre ambos se puede deducir la profundidad a la que se sitúa el defecto.

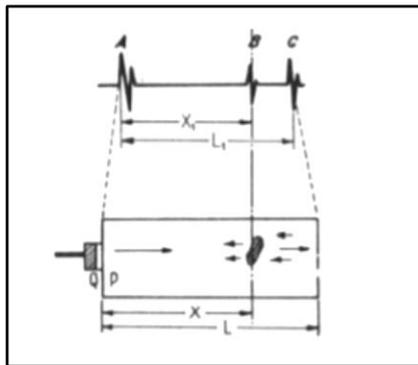
Figura 51. Posición del eco



Fuente: (MATERIALES, 2007)

**3.4.4.4** *Por o método impulso-eco.* También conocida por la medida del tiempo invertido por la onda reflejada para lo que se utiliza un aparato que está provisto de un solo palpador (emisor-receptor) y de un osciloscopio en cuya pantalla se observan las oscilaciones (picos significativos) correspondientes a la reflexión de la onda sobre la superficie de la pieza, sobre la cara opuesta y entre las dos, una oscilación correspondiente al defecto, si existe.

Figura 52. Método impulso-eco



Fuente: (MATERIALES, 2007)

**3.4.5** *Realización de la prueba.* Se procedió a calibrar el equipo para lo cual necesitamos poner los parámetros iniciales los cuales son:

- Velocidad del material 5200 m/s.
- Dline (punto de partida).
- Pdline (punto de llegada).
- Angulo de palpador 70°.
- Frecuencia del palpador 2 Mhtz.
- Rango de medición (100mm).

Figura 53. Calibración del equipo



Fuente: Autores

**3.4.5.1** *Búsqueda de rebotes.* Una vez calibrado el equipo se procedió a buscar rebotes los cuales son medidos en decibelios si no se los encuentra con facilidad eso indica que se debe aumentar la ganancia, para que todos los parámetros se encuentre dentro de los rangos necesarios estos deben ser los picos más altos que se miren en la pantalla.

Figura 54. Búsqueda de rebotes



Fuente: Autores

**3.4.5.2** *Búsqueda de fisuras en la cuchilla.* Luego de tener el equipo calibrado y de tener todos los parámetros que el equipo requiere, se comenzó a realizar la prueba de ultrasonido en la cuchilla en busca de poros los cuales nos indican si existen fisuras en la cuchilla.

Figura 55. Búsqueda de fisuras en la cuchilla



Fuente: Autores

**3.4.5.3** *Picos significativos.* Al realizar la prueba se pudo comprobar de que no existe ningún pico significativo que nos indique de que existe un poro o una fisura en la cuchilla.

Figura 56. Indicación de picos significativos



Fuente: Autores

**3.4.5.4** *Verificación de picos con aumento de la ganancia.* Se continuo con la búsqueda de picos pero no se encontró ninguno con lo cual se pudo concluir que no existe ninguna fisura en la cuchilla, para un mejor resultado de la búsqueda se aumentó la ganancia para observar si no existía algún pico oculto pero no se encontró ninguno.

### 3.5 Material de la cuchilla del rotovator

Después de realizado las pruebas sobre la muestra de la cuchilla del rotovator el material usado en la fabricación de esta se trata de un acero al carbono AISI 1030, a continuación se muestra las propiedades que este posee.

Tabla 10. Propiedades del acero al carbono AISI 1030

<b>Acero al carbono AISI 1030</b>	
Resistencia de Fluencia	260 MPa
Resistencia última a la tensión	525 MPa
Resistencia a la tensión	440 MPa
Módulo de Elasticidad	206 GPa

Fuente: Matweb

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EXISTENTES EN EL ELEMENTO DE LABRANZA.

#### 4.1 Resistencia del suelo al esfuerzo cortante

El apero conjuntamente con el motocultor ejerce un esfuerzo cortante sobre el suelo para producir la ruptura del terreno, los suelos fallan o se cortan cuando exceden su resistencia al corte es decir cuando alcanza una tensión equivalente a la tensión de falla.

El rotovator ejerce un esfuerzo cortante sobre el suelo para realizar la rotura del mismo, el apero logra esto cuando vence la resistencia ofrecida por el suelo antes del corte. Para entender la resistencia que el suelo ejerce sobre la cuchilla del rotovator debemos tener en cuenta el concepto de cohesión.

**4.1.1** *Cohesión.* Es la unión entre las partículas en los distintos estados de consistencia del suelo, es decir lo que permite que el suelo antes, durante o después de ser arado se mantenga compacto.

La cohesión juega un papel importante al momento de estudiar las propiedades del suelo, porque esta tiende a variar en función de la humedad de otros componentes típicos del suelo, los primeros estudios se basaron en hacer ladrillos con el suelo desecándolos con varios contenidos de humedad y determinando la fuerza necesaria para penetrar una cuchilla de metal en el ladrillo.

La cohesión aumenta con el descenso en el contenido de humedad; esto se debe al decrecimiento con el espesor de la película de agua. La arcilla tiene una cohesión mucho mayor que el franco arenoso fino, como resultado de mayor cantidad de película de agua mayor será su superficie de contacto.

**4.1.2** *Resistencia del suelo al corte.* Se la entiende como la resistencia interna máxima del suelo al movimiento de sus partículas, es decir es la resistencia al deslizamiento del suelo sobre el suelo.

La resistencia a la cortadura de un suelo expresada en términos de cohesión es la siguiente:

$$S_r = C + \tan \phi * P \quad (6)$$

Donde,

$S_r$  = Resistencia a la cortadura (dimensión de fuerza por unidad de área).

$C$  = Cohesión (Gramos por pulgada).

$P$  = Presión efectiva normal al plano de corte.

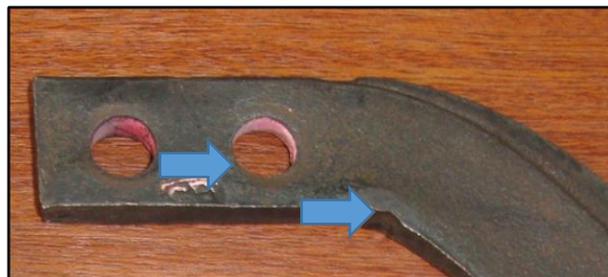
$\Phi$  = Ángulo de fricción.

**4.1.3** *Concentración de esfuerzos.* Cuando se aplica una fuerza sobre un elemento, se crea una compleja distribución de esfuerzos dentro de la región localizada del punto donde se aplica la carga. Estas complejas distribuciones de esfuerzo emergen en los segmentos donde el área de la sección transversal del elemento cambia.

En el caso de estudio del rotovator en lo que hace referencia a las cuchillas las concentraciones de esfuerzos se producen en los segmentos donde el área de la sección transversal cambia de manera súbita, por lo que cuanto mayor sea el cambio mayor será la concentración de esfuerzos.

Las concentraciones de esfuerzos también son responsables de muchas fallas de los elementos estructurales o elementos mecánicos sometidos a cargas de fatiga. En nuestro caso una concentración de esfuerzos provocara que el material se agriete si el esfuerzo excede el límite de resistencia a la fatiga. Si se produjere una grieta en el material esta seguirá creciendo de forma progresiva dando lugar a la fractura.

Figura 57. Concentración de esfuerzos en la cuchilla del rotovator.



Fuente: Autores

## 4.2 Ensayo para encontrar la fuerza de tracción en la cuchilla de rotovator

Para entender de forma real la fuerza de tracción producida por el rotovator para la rotura del suelo, se realizó una maqueta artesanal con una cuchilla del rotovator la cual mostrara mediante un dinamómetro la fuerza real y con un cronometro el tiempo que esta necesita para la rotura del terreno.

Figura 58. Maqueta artesanal



Fuente: Autores

Las condiciones de la prueba fueron las siguientes:

Tabla 11. Condiciones del suelo para el ensayo

<b>Condiciones de medida de la fuerza de tracción</b>	
Tipo de suelo	Franco y franco arenoso
Cuchilla	Acero AISI 1030 original
Profundidad de trabajo	190 mm
Dinamómetro	De 0 a 100 kgf
Temperatura ambiente	22 °C
Condición del suelo	Húmedo, con presencia de quicuyo de 5 años

Fuente: Autores

Estas condiciones son las mismas en las que trabajan las cuchillas de rotovator.

Aplicando una fuerza axial en la parte inferior de la cuchilla y con la presencia del dinamómetro se pudo obtener la fuerza que la cuchilla necesita para la rotura del suelo y

con ayuda del cronómetro se conocerá el tiempo que la cuchilla del rotovator tarda en hacer la rotura del suelo, para de esta manera conseguir la velocidad con la que se realizó la prueba que será necesaria para los posteriores cálculos.

Figura 59. Fuerza aplicada para la rotura del suelo



Fuente: Autores

Una vez realizadas las pruebas se obtuvo los siguientes resultados.

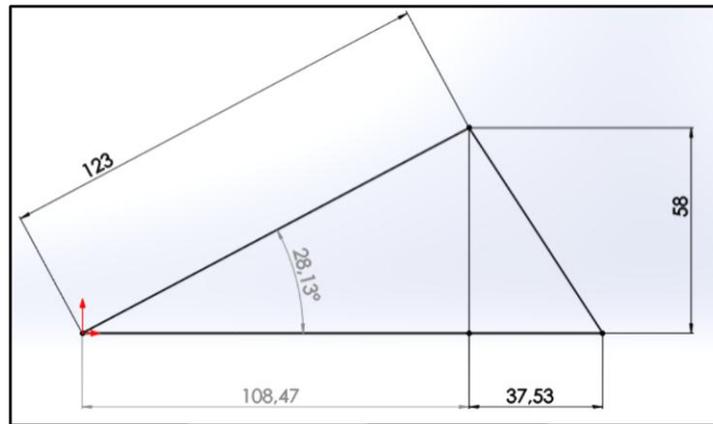
Tabla 12. Resultados del ensayo de la maqueta

Número de ensayos	Fuerza suelo franco [kgf]	Fuerza suelo franco arenoso [kgf]	Tiempo para suelo franco [s]	Tiempo para suelo franco arenoso [s]
1	83	84	5	6
2	84	82	4	4
3	80	83	5	5
4	83	84	3	5
5	85	85	5	4
Promedio	83	83,6	4,4	4,8

Fuente: Autores

Como se observa en la figura 59 del ensayo al realizar la prueba con la maqueta artesanal esta hace referencia a un triángulo escaleno el cual servirá para determinar la componente de la fuerza en el eje horizontal (eje x), porque esta es la fuerza real que se necesita la cuchilla para la rotura del suelo.

Figura 60. Triángulo de dimensiones de la maqueta



Fuente: Autores

El ángulo que se obtuvo por el triángulo escaleno utilizado en la prueba es de 28,13° a continuación se encontró la fuerza de tracción de la cuchilla sobre el suelo franco y franco arenoso.

Para encontrar la fuerza en el componente horizontal (eje x) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\cos (28,13^\circ) = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\cos (28,13^\circ) * \text{Hipotenusa} = \text{Cateto Adyacente}$$

$$\cos (28,13^\circ) * 83\text{Kgf} = Fx \text{ suelo franco}$$

$$Fx \text{ suelo franco} = 73,19 \text{ Kgf}$$

$$Fx \text{ suelo franco} = 717,26 \text{ N}$$

$$\cos (28,13^\circ) * 83,6\text{Kgf} = Fx \text{ suelo franco arenoso}$$

$$Fx \text{ suelo franco arenoso} = 73,72 \text{ Kgf}$$

$$Fx \text{ suelo franco arenoso} = 722,35 \text{ N}$$

La fuerza de tracción para los suelo franco y franco arenoso son 717,26 N en 4,4 segundos y 722,35 N en 4,8 segundos respectivamente, la distancia recorrida por la cuchilla fue de

19cm que es su longitud. A continuación se calculó la velocidad con la que se realizó el ensayo para los diferentes tipos de suelos.

$$v = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$v \text{ para suelo franco} = \frac{0,19m}{4s}$$

$$v \text{ para suelo franco} = \frac{0,0475m}{s} = \frac{0,17Km}{h}$$

$$v \text{ para suelo franco arenoso} = \frac{0,19m}{5s}$$

$$v \text{ para suelo franco arenoso} = \frac{0,038m}{s} = \frac{0,136Km}{h}$$

Para obtener la fuerza ejercida sobre la cuchilla se realizaron los siguientes análisis.

#### **4.3 Cálculo de la fuerza de tracción para una cuchilla del elemento de labranza**

Fuerza de tracción para suelo franco y franco arenoso 717,26 N y 722, 35 N respectivamente.

Energía consumida al labrar.

$$F = \mu * S$$

**4.3.1 Velocidades netas del motocultor.** La velocidad utilizada para el análisis fue la de primera marcha del motocultor obtenida del manual de este, se trabajó con esta velocidad porque es la recomendable para que el motocultor no sufra contratiempos al momento de labrar el terreno y sea seguro para el operario. Esta velocidad en primera marcha es de 1.6 km/h.

**4.3.2 Cálculo del área.** Para el análisis se debe tomar en cuenta el área de la cuchilla que se encuentra en contacto con el suelo que es la siguiente.

Figura 61. Modelado de cuchilla del rotovator



Fuente: Los Autores

$$S = L * A$$

$$S_1 = L * A_1$$

$$S_1 = 19cm * 4cm$$

$$S_1 = 76 cm^2$$

$$S_2 = L * A_2$$

$$S_2 = 19cm * 0,3cm$$

$$S_2 = 5,7cm^2$$

Donde,

S = Área de contacto de la cuchilla con el suelo.

L = Longitud de la cuchilla o profundidad de trabajo.

A = Ancho de la cuchilla.

$$S_t = 76cm^2 + 76cm^2 + 5,7cm^2 = 157,7cm^2$$

Por lo tanto, la resistencia específica del suelo es,

$$\mu \text{ para suelo franco} = \frac{F}{S} = \frac{717,26N}{157,7cm^2} = 4,54 \frac{N}{cm^2}$$

$$\text{para suelo franco arenoso} = \frac{F}{S} = \frac{722,35N}{157,7cm^2} = 4,58 \frac{N}{cm^2}$$

Suelos ocupados en la ciudad de Riobamba. Los suelos con mayor relevancia para el cultivo en la ciudad de Riobamba según el MAGAP, son el franco y el franco arenoso en el cual basaremos nuestros análisis de fuerzas, por lo cual tenemos lo siguiente.

**4.3.3** *Análisis para suelo franco.* Para encontrar la fuerza de tracción utilizada por la cuchilla se tomara en cuenta la siguiente fórmula tabla 6. (CAÑAVATE, 2012)

$$\mu = \mu_0 + \lambda * v^2 \quad (7)$$

Donde tenemos.

$\mu_0$ = Resistencia estática del terreno.

$\lambda$ = Es parámetro que depende del tipo de suelo.

$v$ = Velocidad de trabajo en Km/h.

**4.3.3.1** *Resistencia específica del suelo.* Para esto se tomó como referencia la tabla 6 donde se indica los valores de la resistencia específica, para encontrar esta resistencia específica se trabajara con la velocidad del ensayo en suelo franco.

$$\mu = \mu_0 + 0,020 * v^2$$

$$4,54 = \mu_0 + 0,020 * (0,17)^2$$

$$\mu_0 = 4,54 - 0,0000578$$

$$\mu_0 = 4,539 \frac{N}{cm^2}$$

Con la resistencia específica del terreno estática procedemos al cálculo de la fuerza de tracción con la velocidad que normalmente utiliza el motocultor en el momento de trabajo del terreno para lo cual tenemos.

$$\mu = \mu_0 + 0,020 * v^2$$

$$\mu = \mu_0 + 0,020 * (1,6)^2$$

$$\mu = 4,539 \frac{N}{cm^2} + 0,0512$$

Por lo que, en primera marcha tenemos la fuerza de tracción en la cuchilla.

$$F_{primera\ marcha} = \left( 4,539 \frac{N}{cm^2} + 0,0512 \right) * 157,7 cm^2$$

$$F_{primera\ marcha} = 723,87 N$$

**4.3.4** *Análisis para suelo franco arenoso.* Según la tabla 6 tenemos lo siguiente.

$$\mu = \mu_0 + 0,013v^2$$

$$4,58 = \mu_0 + 0,013(0,136)^2$$

$$\mu_0 = 4,58 - 0,02548$$

$$\mu_0 = 4,5797 \frac{N}{cm^2}$$

**4.3.5** *Análisis de la fuerza de tracción en suelo franco arenoso.* Para encontrar la fuerza de tracción de la cuchilla del apero en suelo franco-arenoso procedemos de la misma manera que en el suelo franco.

$$\mu = \mu_0 + 0,013 * v^2$$

$$\mu = \mu_0 + 0,013 * (1,6)^2$$

$$\mu = 4,5797 \frac{N}{cm^2} + 0,03328$$

La fuerza de tracción en suelo franco arenoso en la siguiente:

$$F_{primera\ marcha} = \left( 4,5797 \frac{N}{cm^2} + 0,03328 \right) * 157,7 cm^2$$

$$F_{\text{primera marcha}} = 727,46\text{N}$$

En la siguiente tabla se muestra los valores de la fuerza de tracción obtenidas después del ensayo.

Tabla 13. Fuerzas para la simulación en MEF

Resultados del ensayo.	
Tipo de suelo	Fuerza de tracción obtenida
Franco	723,87 N
Franco Arenoso	727,46 N

Fuente: Autores

#### 4.4 Verificación del diseño mediante MEF

Para verificar la geometría del diseño se utilizó el método de elementos finitos con ayuda del software ANSYS R17 el cual nos permite colocar las fuerzas que actúan sobre la cuchilla del rotovator para observar el comportamiento de esta ante los esfuerzos producidos.

**4.4.1 Pre-proceso.** Esto hace referencia a todos los parámetros que el software ANSYS necesita para realizar el análisis de esfuerzos. Los parámetros estarán regidos al diseño y material de la cuchilla original.

**4.4.1.1 Asignación de material.** El material usado en la simulación fue un acero AISI 1030, este material no se encuentra en la biblioteca del software ANSYS por lo cual se procedió a su creación con sus respectivas características, a continuación se muestra las propiedades que el material posee.

Figura 62. Propiedades del acero AISI 1030 para ANSYS R17

Property	Value	Unit
Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
Isothermal Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C <sup>-1</sup>
Zero-Thermal-Strain Reference Temperature	22	C
Isotropic Elasticity		
Shear Modulus		
Young's Modulus	2,09E+11	Pa
Poisson's Ratio	0,29	
Bulk Modulus	1,6349E+11	Pa
Shear Modulus	7,9949E+10	Pa
Alternating Stress Mean Stress		
Strain-Life Parameters		
Display Curve Type	Strain-Life	
Strength Coefficient	948	MPa
Strength Exponent	-0,092	
Ductility Coefficient	0,26	
Ductility Exponent	-0,445	
Cyclic Strength Coefficient	1258	MPa
Cyclic Strain Hardening Exponent	0,209	
Tensile Yield Strength	440	MPa
Compressive Yield Strength	440	MPa
Tensile Ultimate Strength	525	MPa
Compressive Ultimate Strength	0	MPa

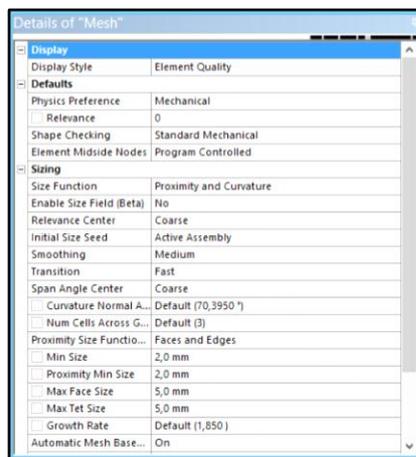
Fuente: Autores

**4.4.1.2** *Mallado de la cuchilla.* El mallado es un paso fundamental en la simulación de la probeta porque al tener una mejor malla los resultados son más aproximados a los reales, por lo tanto la calidad del mallado debe ser la óptima. El proceso de mallado está compuesto principalmente de tres pasos.

- Elección de elementos a mallar.
- Introducción de los parámetros de mallado.
- Generar la malla.

Para el correcto mallado se definieron los parámetros que se muestran en la figura 63.

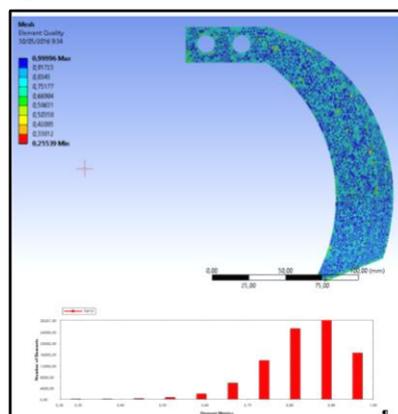
Figura 63. Parámetros de mallado



Fuente: Autores

Se recomienda para una buena calidad de malla un mínimo de 0,2/0,8 mm para los elementos que conforma la malla.

Figura 64. Mallado de la cuchilla



Fuente: Los Autores

Una vez culminada la malla se colocó la fuerza que actúa sobre la cuchilla además las restricciones, éstas se deben a la sujeción de la cuchilla al rotor del rotovator.

**4.4.1.3 Empotramientos.** La cuchilla de rotovator se une al rotor del motocultor por medio de dos pernos de sujeción los cuales se comportan como empotramiento de la cuchilla, haciendo que esta actúe como empotramiento con voladizo. Las restricciones para el software ANSYS serán de tipo empotramiento cilíndrico que son las adecuadas para nuestra simulación.

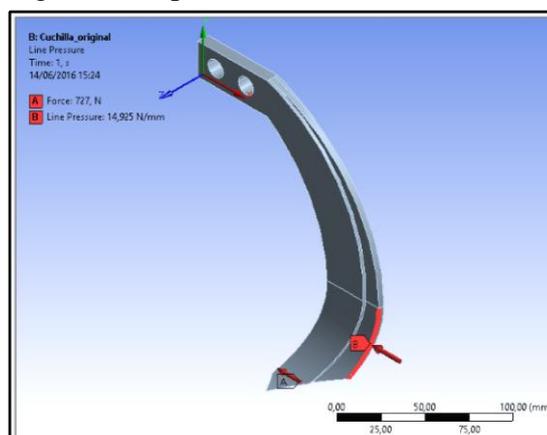
Figura 65. Restricciones de la cuchilla en ANSYS R17



Fuentes: Autores

**4.4.1.4 Aplicación de fuerzas sobre la cuchilla.** La fuerza dependerá de cada suelo donde se realizó el estudio como son el suelo franco y el franco arenoso para lo cual se tuvo, que la fuerza aplicada a la cuchilla en un suelo franco será de 723,87 N, esta fuerza se aplicó en la parte de la cuchilla que primero entra en contacto con el suelo.

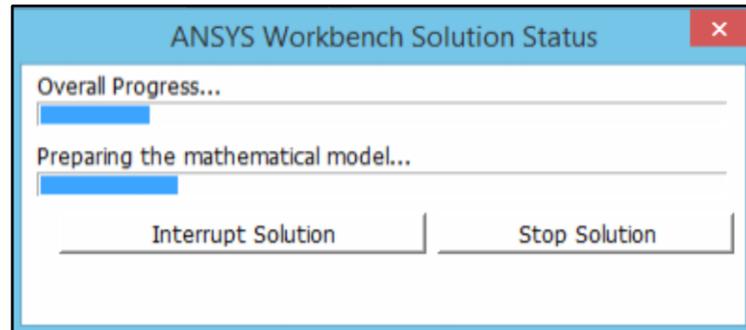
Figura 66. Aplicación de la fuerza en MEF



Fuente: Autores.

**4.4.2** *Proceso.* Una vez que todos los valores de la simulación son ya conocidos se verificó los resultados que obtuvimos de esta.

Figura 67. Proceso de simulación en ANSYS

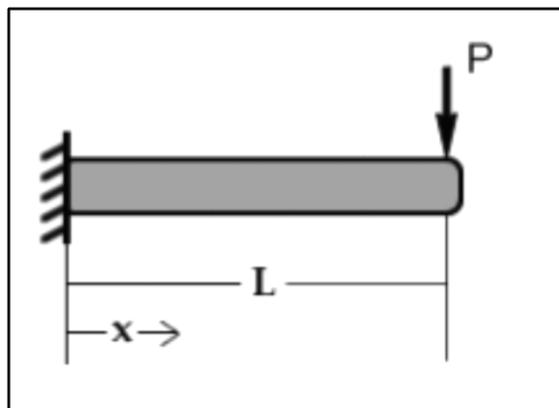


Fuente: Autores

**4.4.3** *Post-proceso.* Este es el último paso de nuestra simulación donde se procedió a la visualización de los resultados y gráficas que el software ofrece, estos nos ayudan a comprender de mejor manera porque la cuchilla del rotovator tiene una baja fiabilidad al momento de labrar la tierra, entre los resultados más importantes que tomaremos en cuenta están los siguientes.

**4.4.3.1** *Deformación para suelo franco.* Estos nos indica la deformación que tiene la cuchilla al labrar la tierra y el punto donde se produce esta, la máxima deformación fue en la parte inferior de la cuchilla porque esta actúa como un empotramiento con voladizo el cual consiste que un solo lado va estar fijo mientras en el otro se le aplica la fuerza, el lado fijo está sujeto al rotor del motocultor por medio de 2 pernos de sujeción con arandelas de presión.

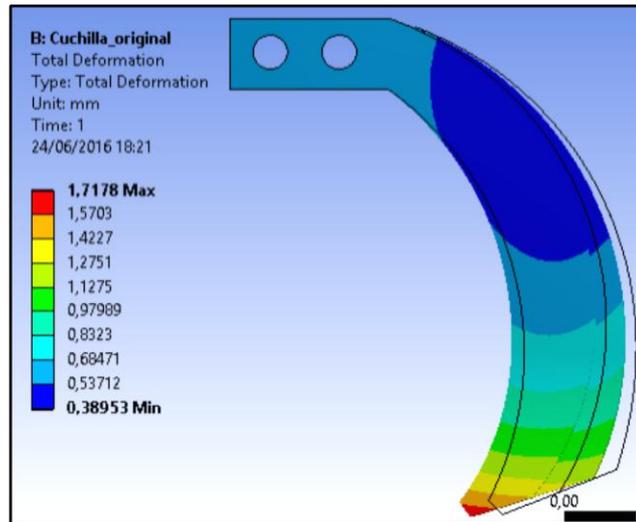
Figura 68. Diagrama simplificado de la cuchilla.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pendientes\\_y\\_deformaciones\\_en\\_vigas](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pendientes_y_deformaciones_en_vigas)

A continuación se muestra la deformación máxima que es de 1,7178 mm esta es considerable tratándose de un elemento de corte.

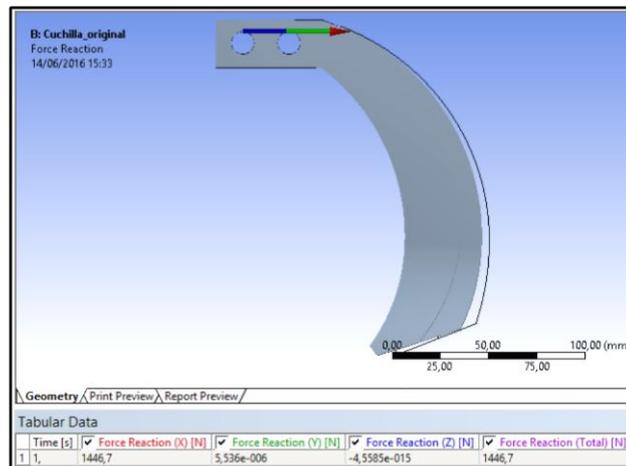
Figura 69. Deformación de la cuchilla.



Fuente: Autores.

**4.4.3.2** *Fuerza de reacción suelo franco.* Esta fuerza se producirá en el empotramiento como consecuencia de la resistencia del suelo a la cortadura, esta fuerza es de 1446,7 N.

Figura 70. Fuerza de reacción de cuchilla



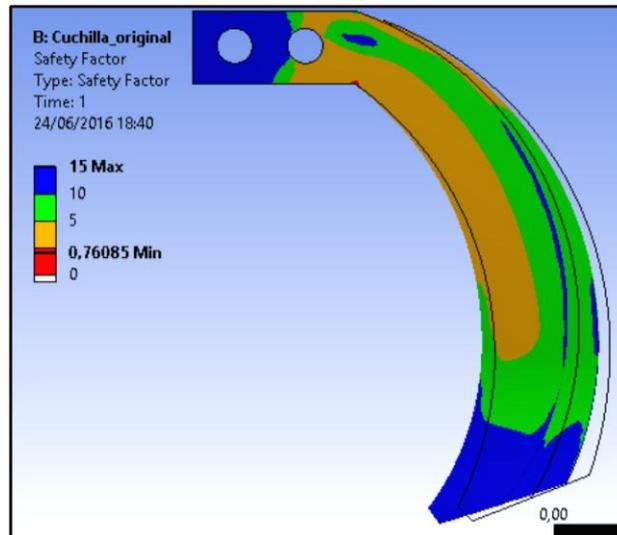
Fuente: Autores.

**4.4.3.3** *Factor de seguridad (FS) para suelo franco.* Es la razón de la carga de falla dividida entre la carga permisible. (C.HIBBELER, 2011)

$$FS = \frac{F_{falla}}{F_{permisible}} \quad (8)$$

La fuerza permisible viene dada por las características del material que en este caso fue un acero AISI 1030, mientras tanto la fuerza de falla es la que se calcula a través de las fuerzas que actúan sobre la cuchilla, este factor de seguridad debe estar sobre el valor de uno para que la cuchilla no tienda a fallar, el factor de seguridad que se obtuvo de los resultados es de 0,76085; este valor está por debajo de lo recomendable.

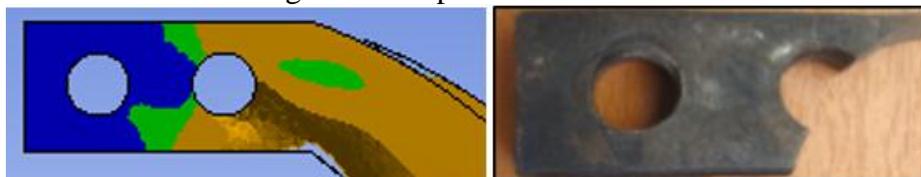
Figura 71. Coeficiente de seguridad.



Fuente: Autores.

Este coeficiente de seguridad bajo se debe a que los esfuerzos producidos en la cuchilla son similares a la fuerza permisible del material, también se observó en la simulación que la probeta falla como lo hace en la realidad.

Figura 72. Ruptura de la cuchilla



Fuente: Autores.

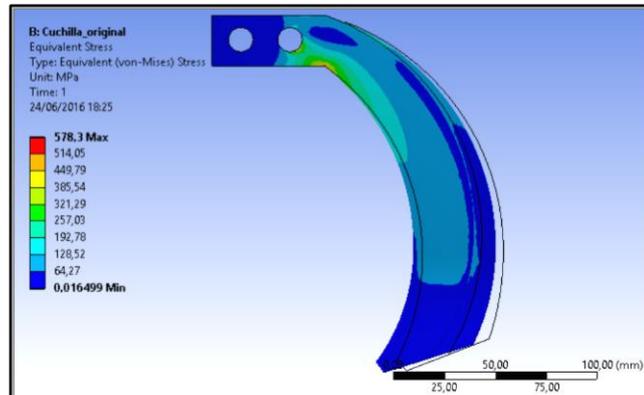
Además se observó que los esfuerzos se concentran en donde termina el anclaje de la cuchilla porque este termina en punta haciendo que se rompa con facilidad en este punto.

**4.4.3.4** *Tensión de Von Mises para suelo franco.* Esta tensión se da cuando un material dúctil comienza a ceder, esto quiere decir que la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. El límite elástico se suele utilizar como el límite de tensión. Por otra parte esta

tensión se usa en las teorías de fallo y además nos muestra si el diseño es el correcto en los materiales dúctiles.

La tensión equivalente de von mises para la simulación de la cuchilla es de 578,3 MPa.

Figura 73. Tensión de Von Mises



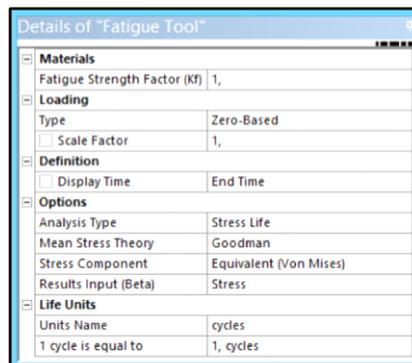
Fuente: Autores

A continuación se procedió a revisar los ciclos de vida de la cuchilla del rotovator mediante la simulación en el software.

**4.4.3.5** *Fatiga de la cuchilla de rotovator para suelo franco.* La fatiga es una falla que sucede bajo condiciones inferiores al límite de resistencia del material, esto es un su región elástica, como consecuencia de esfuerzos alternados que producen grietas debido a la concentración de esfuerzos.

Para obtener los ciclos de trabajo de la cuchilla se utilizó la herramienta de fatigues tool del software ANSYS R17 con los siguientes parámetros indicados en la figura 74.

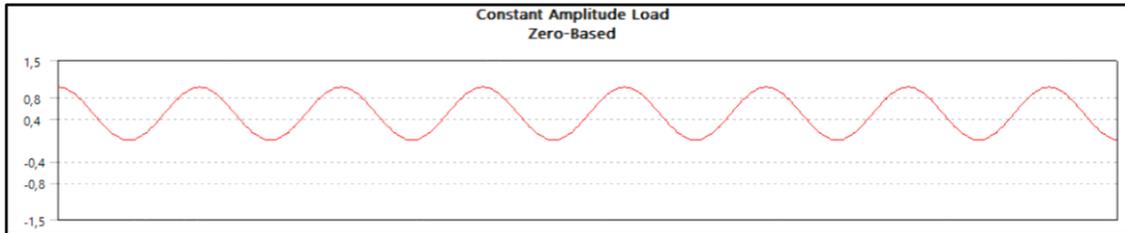
Figura 74. Parámetros para Fatiga en ANSYS R17



Fuente: Autores

En tipo de fatigue tool se escogió el Zero-Based porque la carga aplicada a la cuchilla es fluctuante y tiende a ir de cero hasta su máxima carga, en la figura 75 se indica la carga fluctuante que actúa sobre la cuchilla.

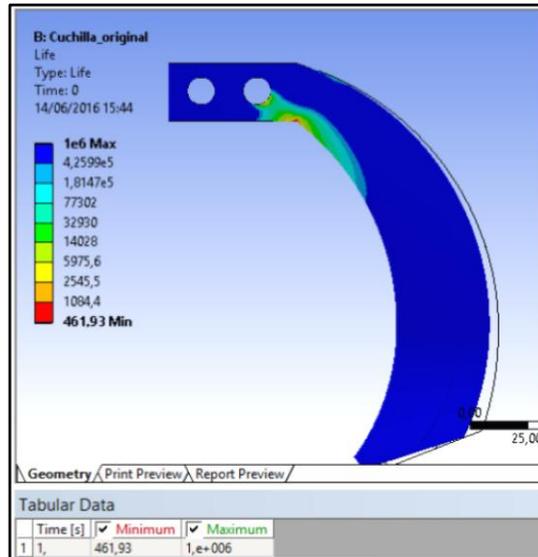
Figura 75. Zero-Based carga fluctuante para la cuchilla



Fuente: Autores

**4.4.3.6 Ciclos de vida de la cuchilla para suelo franco.** La vida útil que la simulación por método de elementos finitos calculó para la cuchilla es de 461,93 ciclos y su falla se dará donde se indica en la figura 76, este lugar es donde la geometría de la cuchilla cambia su forma.

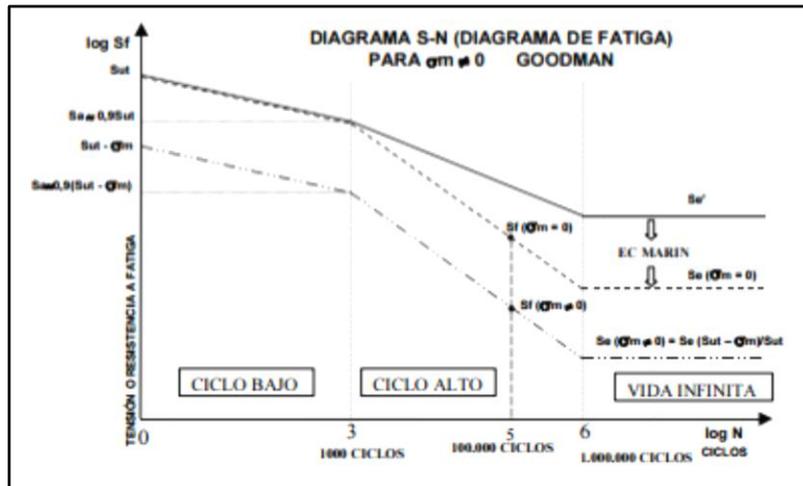
Figura 76. Ciclos de vida de la cuchilla en suelo franco



Fuente: Autores.

Según la teoría de Goodman que hace referencia a la fatiga de los materiales y de las estructuras metálicas la cuchilla se encuentra en un ciclo bajo de trabajo como se observa en la figura 77 la cual representa los ciclos de trabajo en función de la carga que soporta cada una de estas. Se puede decir que la cuchilla del elemento de labranza (rotovator) tiene un diseño inapropiado para el trabajo que ejerce en el suelo.

Figura 77. Diagrama S-N para Goodman

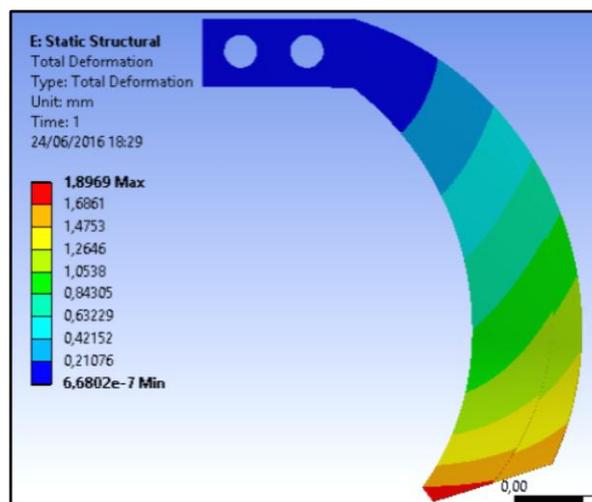


Fuente: [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseño-de-maquinas/material-de-estudio/fatiga\\_transparencias.pdf](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseño-de-maquinas/material-de-estudio/fatiga_transparencias.pdf)

**4.4.4 Verificación para suelo franco arenoso.** Para el suelo franco arenoso se utilizó una fuerza de 727,46 N que se obtuvo como resultado del ensayo con la maqueta artesanal y se usaron todos los parámetros antes configurado en la simulación anterior con suelo franco.

**4.4.4.1 Deformación para suelo franco arenoso.** La deformación para la cuchilla del rotovator en suelo franco arenoso es de 1,8969 mm.

Figura 78. Deformación de la cuchilla en suelo franco

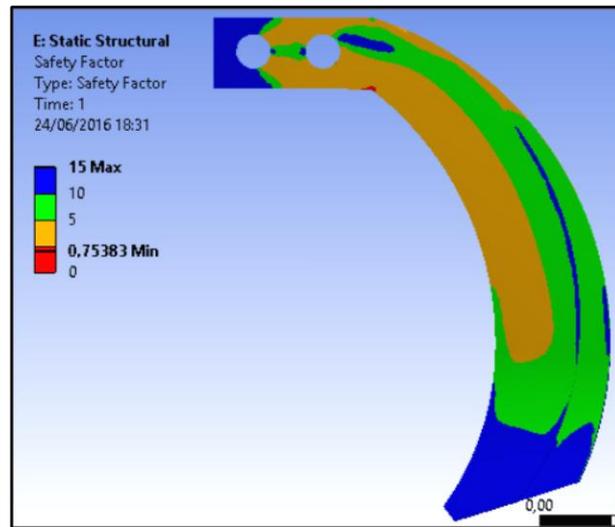


Fuente: Autores

**4.4.4.2 Coeficiente de seguridad en suelo franco arenoso.** Este factor para suelo franco arenoso es de 0,75383, como se observa el factor de seguridad no varía mucho

porque la fuerza aplicada no es muy diferente a la del suelo franco.

Figura 79. Coeficiente de seguridad para suelo franco arenoso

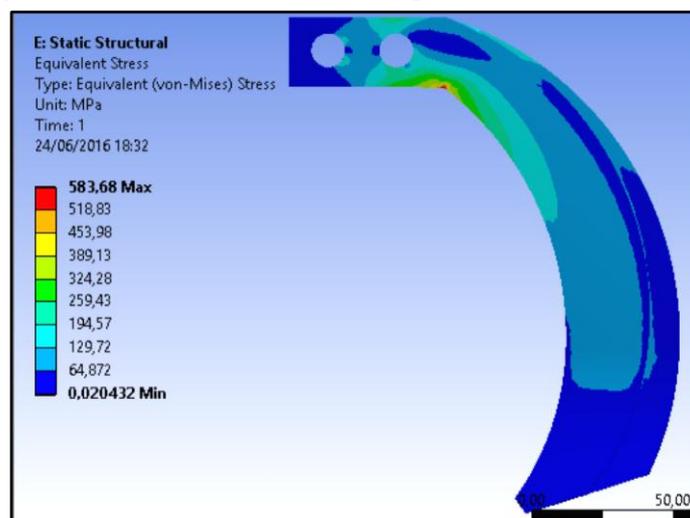


Fuente: Autores.

Se puede apreciar que los esfuerzos se concentran en su mayoría donde la geometría de la cuchilla cambia su forma, estos es en la zona roja de la figura 79 donde existe una especie de punta.

**4.4.4.3** *Equivalente de Von Mises para suelo franco arenoso.* Para suelo franco arenoso es de 583,68 MPa y se observa en la figura 80. Este es mayor que el del suelo franco por lo que la cuchilla en suelo franco arenoso fallara en menor tiempo que en franco.

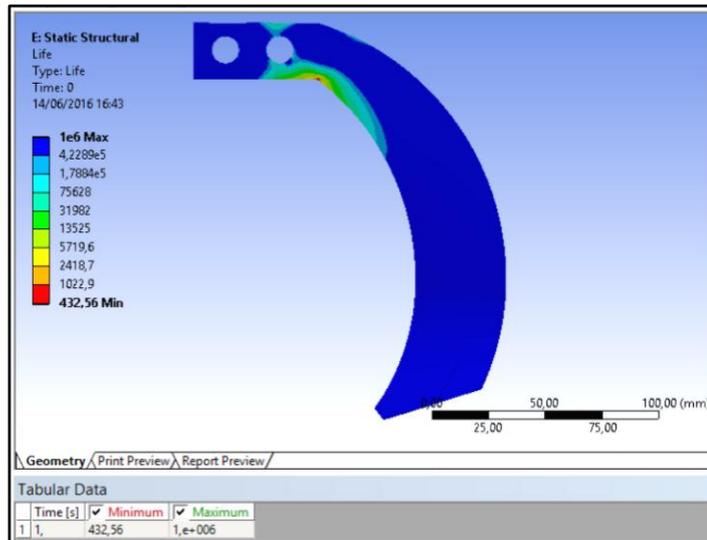
Figura 80. Tensión de Von Mises para suelo franco arenoso



Fuente: Autores.

El ciclo de vida de la cuchilla del rotovator en suelo franco arenoso es de 432,56 mucho menor al tipo de suelo anterior.

Figura 81. Ciclos de trabajo de cuchilla para suelo franco arenoso



Fuente. Autores.

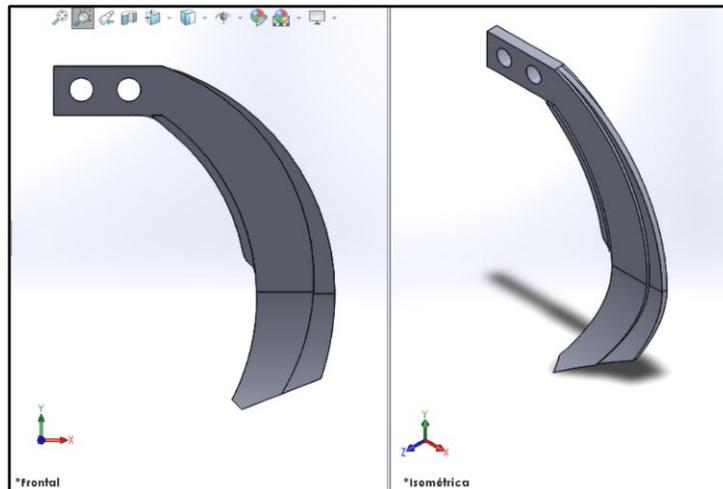
Una vez realizada la simulación por el método de elementos finitos se comprobó que la cuchilla del rotovator falla en la perforación donde va el perno de sujeción y donde cambia su forma al final del anclaje de esta, porque es aquí donde se concentran la mayoría de esfuerzos producidos por la resistencia del suelo a la cortadura y en nuestro caso de estudio la geometría de diseño de la cuchilla se convirtió en un factor de baja fiabilidad de esta.

**4.4.5** *Cuchilla reforzada.* Conocida una de las causas de la baja fiabilidad del rotovator se analizó la posibilidad de aumentar la sección de trabajo de la cuchilla en el punto donde se concentran la mayoría de esfuerzos.

Esto se realizó para no desechar la cuchilla original del rotovator y poder reutilizarla en el trabajo de labrar la tierra. Para comprobar el comportamiento de la cuchilla reforzada se procedió a modelarla en software para observar su comportamiento ante los esfuerzos producidos por la resistencia del suelo.

**4.4.5.1** *Modelado de cuchilla reforzada.* Esto se lo hizo mediante añadidura de material y se utilizó un pedazo de varilla de 8mm de diámetro y 70 mm de longitud de acero A36.

Figura 82. Modelado cuchilla reforzada.

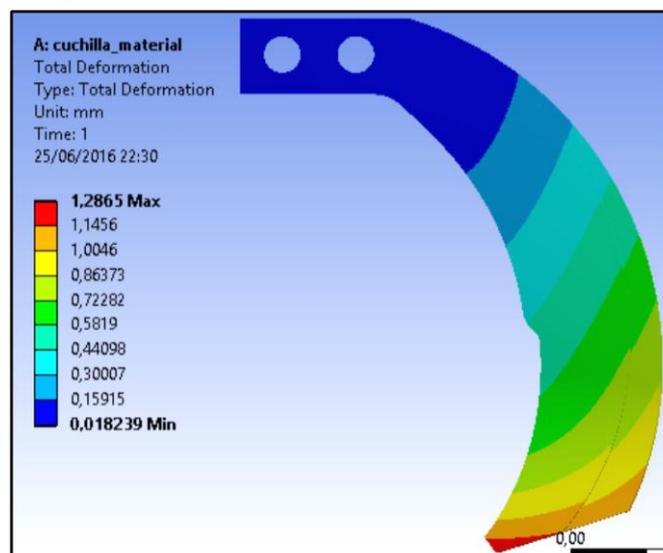


Fuente: Autores

La cuchilla reforzada trabajara en las mismas condiciones que la cuchilla original por lo que los parámetros utilizados en el software ANSYS para la simulación son los mismos de tal manera que a continuación se analizó los resultados obtenidos de la simulación.

**4.4.5.2** *Deformación de la cuchilla reforzada.* Se observó que la deformación de cuchilla es mucho menor que la original esto se debe a que su sección de trabajo es mayor. La deformación de esta cuchilla reforzada es de 1,2865 mm.

Figura 83. Deformación de la cuchilla reforzada

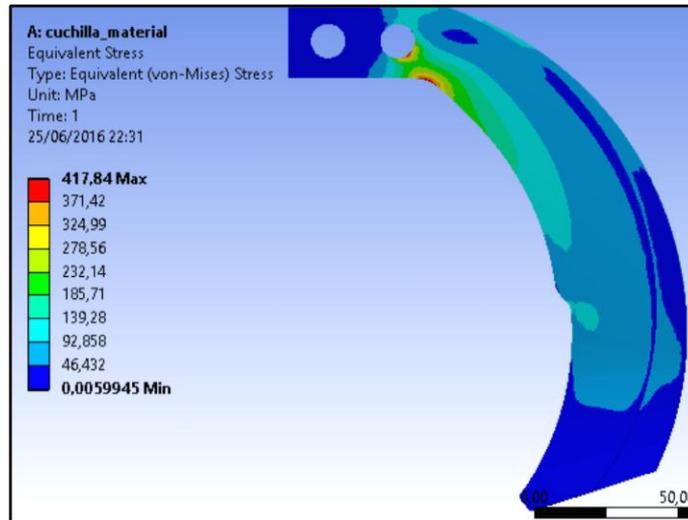


Fuente: Autores

**4.4.5.3** *Tensión de Von Mises para la cuchilla reforzada.* Es mucho menor que la cuchilla original porque los esfuerzos se distribuyen de mejor manera con el aumento de

material y además la varilla utilizada absorbe algunos esfuerzos producidos por la cortadura del suelo y esta tensión es de 417,84 MPa.

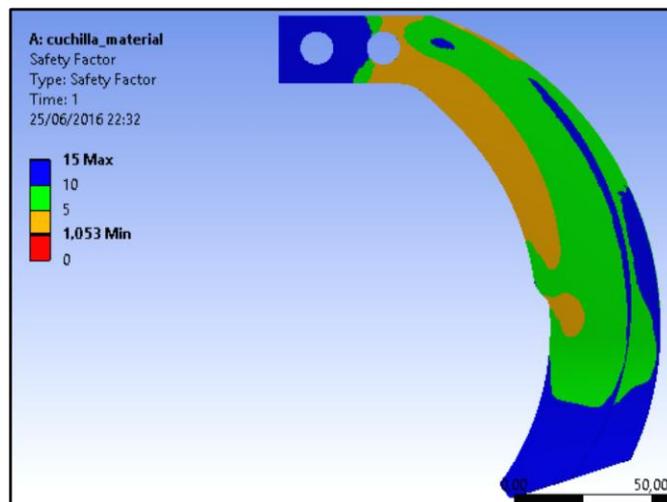
Figura 84. Tensión de Von Mises para la cuchilla reforzada



Fuente: Autores

**4.4.5.4** *Coefficiente de seguridad para la cuchilla reforzada.* Este tuvo un incremento considerable y es de 1,053 lo que hace que esta cuchilla sea más rentable que la original. Con el coeficiente de seguridad recomendable se puede decir que el diseño juega un papel importante en la ruptura de la cuchilla.

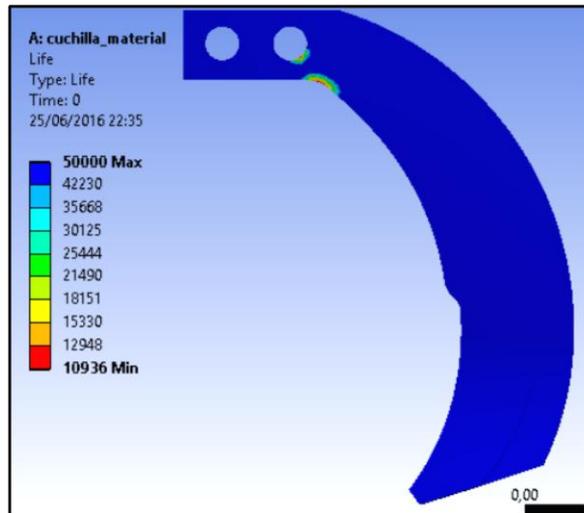
Figura 85. Coeficiente de seguridad de la cuchilla reforzada



Fuente: Autores

Los ciclos de trabajo son 10946 ciclos, mejor para esta cuchilla por lo que se convierte en una alternativa de solución.

Figura 86. Ciclos de trabajo para la cuchilla reforzada.



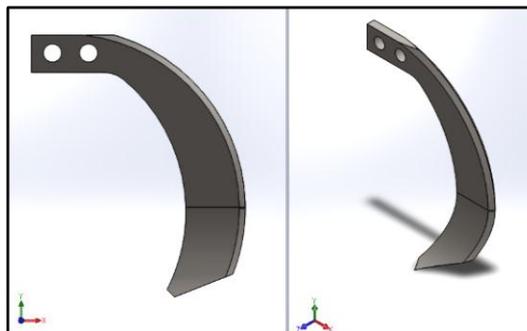
Fuente: Autores

El reforzar la cuchilla mediante añadidura de material hace que esta tenga un mejor comportamiento ante los esfuerzos producidos y tiende a ser recomendable para el trabajo del arado.

**4.4.6** *Cuchilla fabricada de otro material.* Conocido el material de la cuchilla original que es un acero AISI 1030 se procedió a fabricar una cuchilla con el mismo diseño geométrico pero con material diferente este material se trata de un acero AISI 1050 que lo encontramos en resortes de ballestas recicladas.

**4.4.6.1** *Modelado de la cuchilla con acero AISI 1050.* El diseño geométrico será el mismo de la cuchilla original con la diferencia que el material que lo compone será un acero AISI 1050. Los parámetros utilizados para la simulación son los mismos que en la cuchilla original.

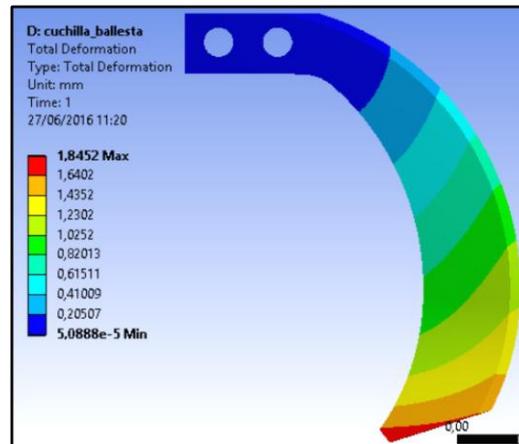
Figura 87. Modelado de cuchilla fabricada de acero AISI 1050



Fuente: Autores

**4.4.6.2** *Deformación de la cuchilla con acero AISI 1050.* La deformación es similar a la cuchilla original y esta es de 1,8452 mm esta similitud se debe a que la geometría no tuvo variaciones en su diseño.

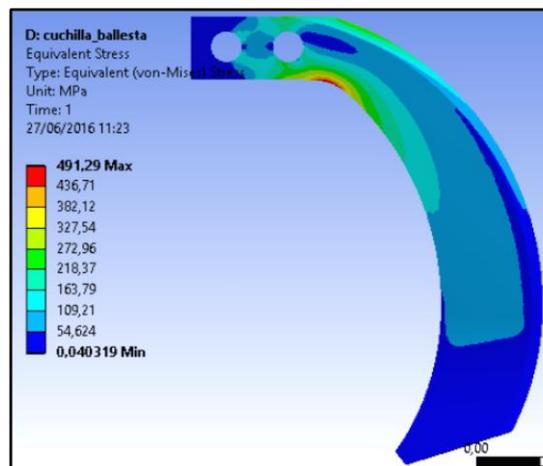
Figura 88. Deformación de la cuchilla con acero AISI 1050



Fuente: Autores

**4.4.6.3** *Tensión de Von Mises para la cuchilla con acero AISI 1050.* En esta cuchilla se eliminó la punta que se generaba por el cambio de forma de esta por lo que los esfuerzos producidos será menores y esta es de 491,29 MPa.

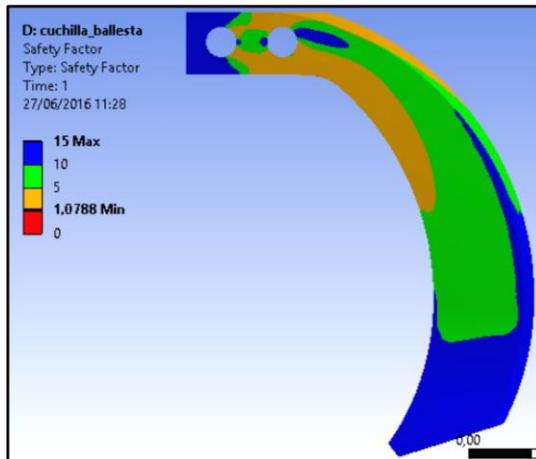
Figura 89. Tensión de Von Mises para la cuchilla con acero AISI 1050



Fuente: Autores

**4.4.6.4** *Coeficiente de seguridad para la cuchilla con acero AISI 1050.* Este es de 1,0788 se observó que al fabricar la cuchilla con un material diferente es decir al aumentar el porcentaje de carbono, esta tiene un comportamiento distinto ante los mismos esfuerzo convirtiéndola a esta sea recomendable para el trabajo.

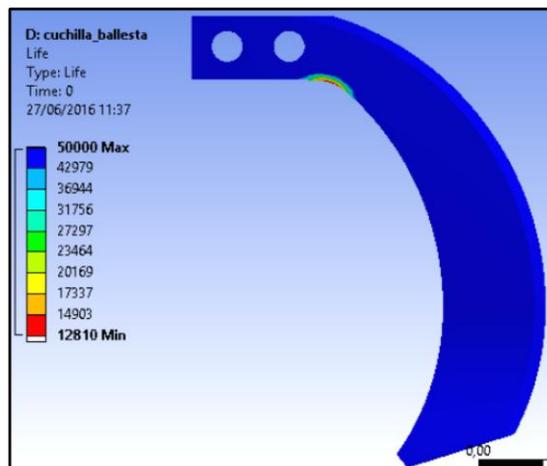
Figura 90. Coeficiente de seguridad para la cuchilla con acero AISI 1050.



Fuente: Autores

Los ciclos de trabajo para esta cuchilla fabricada de un material diferente son 12810 ciclos, mucho mayor a la cuchilla original y reforzada, según los datos arrojados por la simulación la cuchilla fabricada por otro material puede ser una alternativa de solución fiable ante el problema de baja fiabilidad.

Figura 91. Ciclos de trabajo para la cuchilla con acero AISI 1050



Fuente: Autores

Con ayuda de MEF se generó dos alternativas de solución como son reforzar la cuchilla y fabricar una cuchilla de un material diferente estas alternativas serán validadas mediante pruebas de campo.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y RESULTADOS

#### 5.1 Problema

En la provincia de Chimborazo existen alrededor de 150 motocultores YTO DF-15L que se importaron para suplir las necesidades de los agricultores los cuales presentan baja fiabilidad en su elemento de labranza (rotovator) provocando la rotura de sus cuchillas que sirven para el arado del terreno esto sucede a pocas horas de trabajo y por tal motivo quedan sin ser utilizados.

#### 5.2 Generación de variables

Para realizar el estudio se utilizó las siguientes variables de entrada y de salida representadas en las siguientes tablas 14, 15 y 16 respectivamente donde se indica los datos de entradas, salidas, variables de solución y criterios para dar una solución adecuada que nos permita eliminar la baja fiabilidad de la cuchillas del rotovator y dar un óptimo funcionamiento al motocultor.

Tabla 14. Características de entrada

<b>Entrada: Suelo compactado</b>			
	Variables de entrada	Parámetros límite	Condición
1	Resistencia del suelo	Compacto	4,5 N/cm <sup>2</sup> Suelo franco 4,6 N/cm <sup>2</sup> Suelo franco arenoso
2	Ancho de labrado	No mayor de 120cm	≤ 120 cm
3	Profundidad de labrado	No mayor de 19cm	≤ 19 cm

Fuente: Autores

Tabla 15. Características de salida

<b>Salida: Suelo labrado</b>			
	Variable de salida	Parámetros límite de salida	Condición
1	Suelo	Ruptura del suelo	Suelo franco y franco arenoso
2	Diseño apropiado	Correcto funcionamiento de las cuchillas	Horas de trabajo diario

Fuente: Autores

Tabla 16. Variables de solución y observaciones

<b>Variables de solución</b>	
1	Reforzar la cuchilla mediante la añadidura material
2	Tratamientos térmicos
3	Cambio de material utilizando acero para resortes de ballestas AISI 1050
<b>Observaciones</b>	
1	Se debe dar un descanso al motocultor cuando haya alcanzado las 2 horas de trabajo continuo
2	Se debe revisar que los anclajes de las cuchillas al motocultor estén bien apretadas
3	Al momento de montar las cuchillas hay que tomar en cuenta si están son izquierdas o derechas
4	El terreno en el cual se vaya a trabajar en lo posible debe ser plano

Fuente: Autores

### 5.3 Generación de las alternativas de solución

El estudio de las soluciones y su respectiva aplicación es el aspecto esencial para eliminar el problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza (rotovator), para lo cual se ha esquematizado el conjunto de soluciones en la tabla 17 que puede tomar el estudio de la baja fiabilidad del elemento de labranza.

Tabla 17. Cronología de las soluciones

<b>Función</b>	<b>Soluciones</b>			
	Reforzar añadiendo material	Tratamientos térmicos	Cambio de material	Geometría
Material	Acero AISI 1030 	Acero AISI 1030 	Acero AISI 1050 	Acero AISI 1030 
Montaje	Empernado 			
Tipo de suelo	Franco y franco arenoso			



Fuente: Autores

## 5.4 Desarrollo de alternativas

Una vez realizado el planteamiento de las alternativas se realizó una descripción de cada una de las propuestas a fin de escoger la más adecuada que nos permita optar por la solución más conveniente para eliminar el problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza (rotovator).

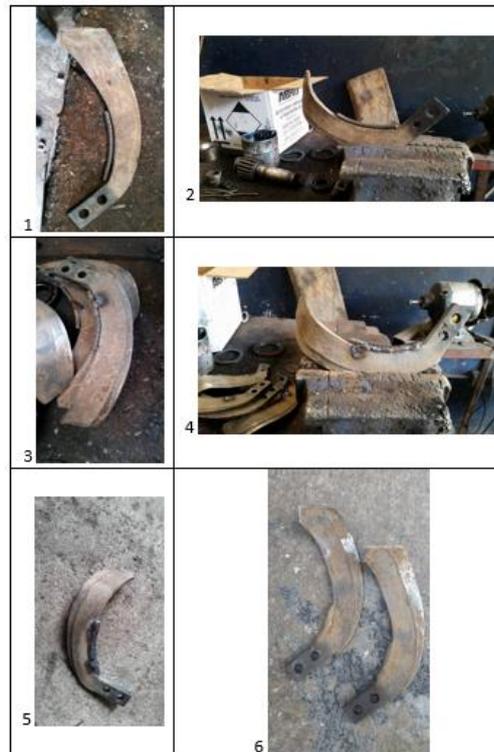
**5.4.1** *Alternativa 1.* Se tiene a las cuchillas originales del motocultor que vienen en el rotovator que son fabricadas de un material Acero AISI 1030 en el cual se reforzó a la cuchilla por medio de un cordón de soldadura y su procedimiento se explica a continuación, para el montaje se lo hace mediante una unión empernada.

Para comprobar la cuchilla reforzada se realizará en dos tipos de suelo como lo son el suelo franco y el franco arenoso del cual se tomó datos de tiempo de trabajo, profundidad de trabajo de la cuchilla y fuerza de tracción necesaria para realizar la tarea de labrado del suelo.

**5.4.1.1** *Reforzar la cuchilla.* Para reforzar la cuchilla por la añadidura de material se lo hizo de la siguiente manera.

Para reforzar la cuchilla mediante la añadidura de material se utilizó un pedazo de varilla de 8 mm de diámetro y 70 mm de longitud para ver un aumento de material y de sección en la cuchilla porque el cordón de soldadura no es muy ancho, se realizó un punto de suelda entre la varilla y la cuchilla, una vez hecho esto se hizo el cordón de soldadura en cada una de las cuchillas que se utilizaran en las pruebas de campo, al final se dejó que la cuchilla se enfrié a temperatura ambiente.

Figura 92. Pasos para reforzar la cuchilla mediante añadidura de material



Fuente: Autores

**5.4.2** *Alternativa 2.* Para la alternativa dos se usaron los tratamientos térmicos los cuales se realizaron en las cuchillas originales del rotovator y se organizaron en grupos de prueba que a continuación se detalla y se realiza una tabla de los grupos de prueba.

**5.4.2.1** *Tratamientos térmicos.* Al añadir ciertos elementos (azufre, cobalto, cobre, cromo, tungsteno, manganeso, molibdeno, níquel, vanadio) en la aleación del acero se consigue mejorar algunas de sus propiedades, obteniendo aleaciones específicas para determinadas aplicaciones industriales, como herramientas, cuchillas, fijaciones, soportes. Sin embargo la diferencia de comportamiento entre los diversos aceros depende, no sólo de su composición química, sino también del tipo del tratamiento térmico a los que se les someta.

Existen piezas que están sometidas a condiciones de trabajo que requieren propiedades específicas para soportar esfuerzos de choque, vibraciones y rozamiento superficial. Para soportar estas condiciones de trabajo, se requiere tenacidad elevada, resiliencia y una gran dureza superficial. Por este motivo se realizan los tratamientos térmicos, que son procesos en los cuales mediante una sucesión de operaciones de calentamiento y enfriamiento, se modifica la microestructura y la constitución de los metales y aleaciones.

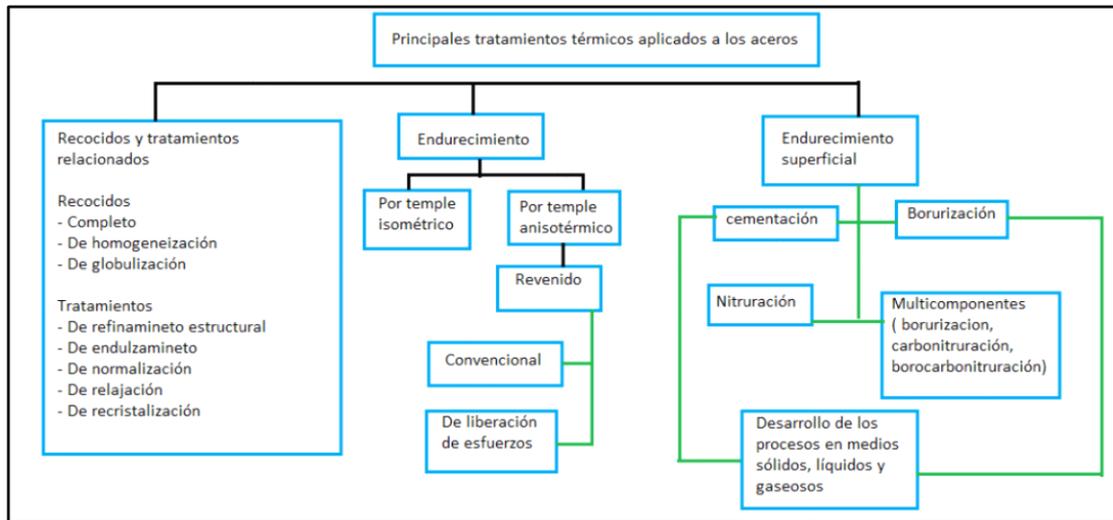
El objetivo general de los tratamientos térmicos es someter el acero a la acción de ciclos térmicos adecuados, con el fin de conferirle propiedades particulares adaptadas a sus condiciones de servicio o utilización. Cuando se afirma que un acero es tratado térmicamente, lo que se pretende definir es que la aleación se hace más resistente en términos mecánicos cuando se calienta y se enfría, ya que el proceso térmico es el calentamiento y enfriamiento que se realiza con el propósito de lograr las propiedades mecánicas las condiciones de servicio deseados en un acero mediante la modificación de su microestructura o su patrón de esfuerzos residuales. De esta forma, se modifica la estructura microscópica o su patrón de esfuerzos residuales y se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces hay cambios en la composición de la aleación. (SOLA, 1991)

**5.4.2.2** *Características de los tratamientos térmicos.* A continuación se explica algunas de las características de los tratamientos térmicos que son importantes al momento de aplicarlos.

- Producir modificaciones sin cambios en la composición química general, pero sí en la naturaleza de los constituyentes presentes en el acero. Estos constituyentes pueden estar en equilibrio o fuera de él al final de la operación. Los principales tratamientos de este tipo son los de temple, de endurecimiento por precipitación y el recocido.
- Realizar cambios microestructurales en la dimensión, forma y distribución de constituyentes, sin modificar su naturaleza. Los principales tratamientos de este tipo son el recocido de globulización, el tratamiento de refinamiento estructural, el de recristalización y la normalización.
- Provocar la formación de microestructuras favorables, por ejemplo al maquinado o al trabajo en frío. Los principales tratamientos para este fin son el patenting y el revenido clásico.
- Eliminar o reducir los esfuerzos residuales y homogenizar la distribución de su microestructura. El revenido para la liberación de esfuerzos es un ejemplo de los más comunes.

- Provocar el restablecimiento de las propiedades físicas o mecánicas de un acero forjado, sin la modificación aparente de la estructura, por ejemplo con un tratamiento de restauración.

Figura 93. Principales tratamientos térmicos aplicados a los aceros



Fuente: Autores

**5.4.2.3 Temple.** El temple es otro tipo de tratamiento térmico y es considerado en muchos casos “más agresivo” que el recocido, debido sobre todo al proceso de enfriamiento, para los aceros al carbono se los enfría generalmente en agua y para los aceros aleados se los enfría en aceite o en otros medios.

Este tratamiento térmico se caracteriza por enfriamientos rápidos (continuos o escalonados) en un medio adecuado: agua, aceite o aire, para transformar la austenita en martensita. Mediante el temple se consigue:

- Aumentar la dureza y la resistencia mecánica.
- Disminuir la tenacidad (aumento de la fragilidad).
- Disminuir el alargamiento unitario.
- Modificar algunas propiedades eléctricas, magnéticas y químicas.

El temple se realiza siguiendo los siguientes pasos:

- Calentamiento del metal. El primer paso está absorbiendo el metal, es decir, calentamiento a la temperatura requerida. El remojo se puede hacer por vía aérea

(horno de aire), o un baño. El tiempo de remojo en hornos de aire debe ser de 1 a 2 minutos para cada milímetro de sección transversal. Para un baño el tiempo puede variar un poco más alto. La asignación de tiempo recomendado en baños de sales o de plomo es de 0 a 6 minutos, las sales empleadas en los baños son: 1) 95% de  $\text{BaCl}_2$  + 5% de  $\text{MgF}_2$ , 2) 78%  $\text{BaCl}_2$  + 22% de  $\text{NaCl}$ , 3) 68%  $\text{BaCl}_2$  + 30%  $\text{NaCl}$  + 2%  $\text{MgF}_2$ . Para evitar la descarburación del acero en los baños de sales se agregan bórax o ferrosilicio. Se debe evitar a toda costa el calentamiento desigual o el recalentamiento. (LAJTIN, 1985)

Figura 94. Calentamiento del acero por horno



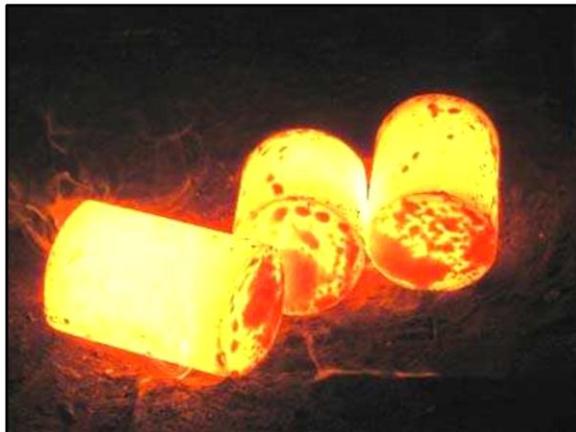
Fuente: <http://www.sorokovka.ru/instructions/dictionary-of-terms-forge/>

- Homogeneización de la temperatura. Se mantiene a la temperatura de temple durante un determinado tiempo a la pieza para que se homogenice en todo el volumen de la pieza a temprar. Este tiempo se estima en 20-25 s para el acero al carbono y 25-30 s para el acero aleado. (ACERO DE LLODIO, 1978)
- Enfriamiento rápido. Se saca la pieza del horno y se enfría el material en un fluido denominado medio de temple a una velocidad superior a la crítica de temple (650-550°C) con objeto de obtener una estructura martensítica, y así mejorar la dureza y resistencia del acero. El medio de temple puede ser: agua, que es el medio más económico y antiguo. Se consiguen buenos temples con aceros al carbono. Las piezas se agitan dentro del agua para eliminar las burbujas de gas, el agua empleado debe estar a un intervalo de temperatura de 20-30°C. Aceite que enfría más lentamente que el agua. Aire se enfrían las piezas con corrientes de aire. Se utiliza para los denominadas aceros rápidos. (LAJTIN, 1985)

A la hora de realizar un temple, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- El tamaño de la pieza. Puesto que cuanto más espesor tenga la pieza habrá que aumentar el tiempo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento.
- La composición química del acero. Ya que en general, los aceros aleados son más fácilmente templables.
- El tamaño del grano. Influye principalmente en la velocidad crítica del temple, teniendo más templabilidad el de grano grueso.
- El medio de enfriamiento. Siendo el más adecuado para templar un acero el que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica.

Figura 95. Temple común en los aceros



Fuente: <http://www.guiadelaindustria.com/empresa/thermal-argentina-tratamientos-termicos-en-atmosfera-controlada/39486>

**5.4.2.4** *Tipos de temple.* A continuación se detalla los principales tipos de temple.

- Temple escalonado. Al efectuar el temple por este método el acero, comúnmente al carbono, después del calentamiento hasta la temperatura de temple es enfriado en un medio que tiene una temperatura cerca a los 250°C y mantenido a esta temperatura un tiempo relativamente corto, a continuación se enfría la pieza hasta la temperatura ambiente al aire libre. Debido al mantenimiento en el medio para templar se logra el equilibrio de la temperatura en toda la sección de la pieza. (LAJTIN, 1985)

El temple escalonado de los aceros al carbono se puede emplear solamente para las piezas de un diámetro no superior a 8- 10 mm.

Figura 96. Temple escalonado



Fuente: <https://www.emaze.com/@AIQICRFQ/Temple-de-Acero>

- Temple en dos medios. La pieza templada por este método primero se enfría en agua hasta 300-400°C y luego se traslada rápidamente a un medio refrigerante que actúa con menos intensidad (por ejemplo en aceite o al aire libre), en el cual se enfría hasta 20°C. (LAJTIN, 1985). Gracias al traslado del producto al segundo medio de temple disminuyen las tensiones internas relacionadas con la transformación de la austenita en martensita.

**5.4.2.5 Revenido.** El revenido es la operación final de todo tratamiento térmico. Como ya se ha visto, el temple produce un aumento de la fragilidad debido a las tensiones internas que se generan al producirse la transformación martensítica. Para evitarlo, se somete el metal a un proceso de revenido, que consiste en elevar la temperatura hasta una inferior a la de transformación (punto crítico) para transformar la martensita en formas más estables.

Mediante el revenido se consigue:

- Disminuir la resistencia mecánica y la dureza.
- Aumentar la plasticidad y la tenacidad.

Su finalidad principal es suprimir las contracciones internas aparecidas en el temple y la unificación de dureza en el acero para poder ser empleado al fin concreto al que se destina.

Estas tensiones tanto axiales como tangenciales se reducen tanto más cuanto mayor sea la temperatura de revenido y también según el tiempo de permanencia.

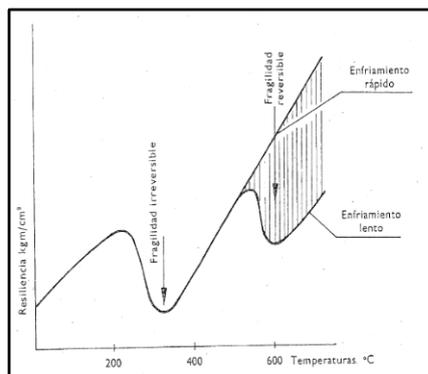
El calentamiento en el revenido tiene un doble efecto; el de acercarnos a un equilibrio físico-químico (ferrita+cementita) y el de atenuar o eliminar las contracciones internas (equilibrio mecánico) con disminución de la fragilidad. La velocidad de enfriamiento en el revenido juega un papel importante en cuanto a la eliminación de tensiones residuales se refiere.

En el revenido, el proceso de calentamiento debe llevarse a temperaturas que dependen de la aplicación o propiedad requerida en el acero. El intervalo de revenido de 200 a 450°C es una línea divisoria entre las aplicaciones que requieren alta dureza y las que requieren gran tenacidad: para dureza o resistencia al desgaste, la temperatura de revenido se encuentra por debajo de 200°C, mientras que si el objetivo es buena tenacidad debe trabajarse por arriba de 450°C. (SANCHEZ VERGARA, y otros, 2006)

Asimismo, las tensiones residuales originadas durante el temple pueden reducirse en gran medida cuando la temperatura de revenido alcanza 200°C y desaparecen casi completamente cuando llega a 500°C. Elevar considerablemente la temperatura puede traer resultados desfavorables como la fragilidad por revenido. (SANCHEZ VERGARA, y otros, 2006)

La fragilidad del revenido de los aceros aleados, a diferencia de los aceros al carbono, pueden ejercer una acción muy particular sobre la resiliencia y hacer disminuir considerablemente su valor.

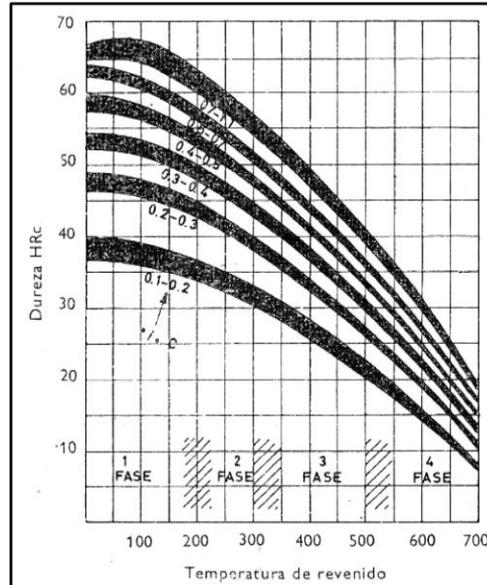
Figura 97. Resiliencia en función de temperatura de revenido y velocidad de enfriamiento.



Fuente: (ACERO DE LLODIO, 1978)

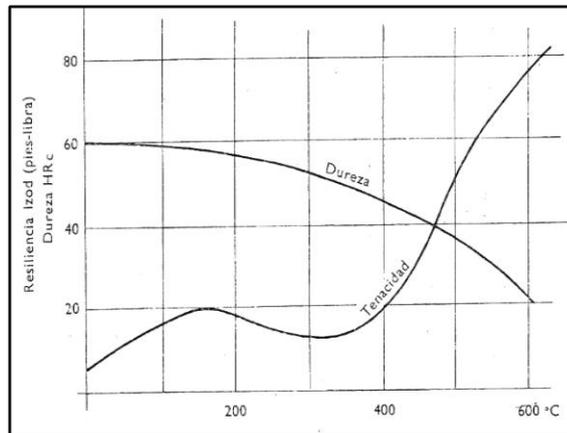
El efecto de la temperatura en el revenido de los aceros juega un doble papel: a medida que está aumenta, disminuye la dureza y aumenta la tenacidad, girando todo naturalmente alrededor de los porcentajes de carbono elemental primordial y de los demás elementos de aleación como cuestión secundaria.

Figura 98. Influencia de la temperatura de revenido y del % C sobre la dureza.



Fuente: (ACERO DE LLODIO, 1978)

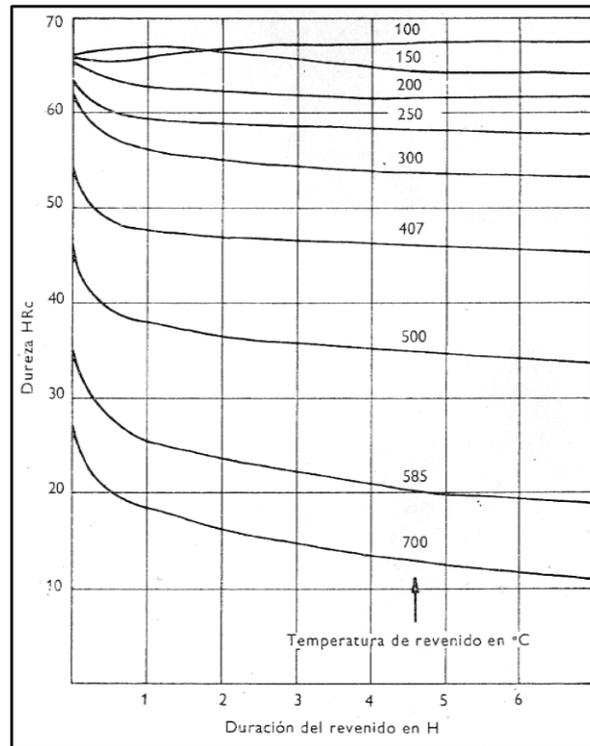
Figura 99. Influencia directa de temperatura de revenido, sobre la dureza y resiliencia.



Fuente: (ACERO DE LLODIO, 1978)

Tanto la dureza, como el calentamiento de un acero templado, van interrelacionados con el factor de permanencia a la temperatura de revenido. En los aceros, la mayor variación de dureza se presenta en el espacio de la primera hora de tratamiento; a temperaturas de revenido superiores a 550 °C, al cabo de 10 s podemos detectar un descenso notorio de la dureza.

Figura 100. Tiempos de revenido a diversas temperaturas



Fuente: (ACERO DE LLODIO, 1978)

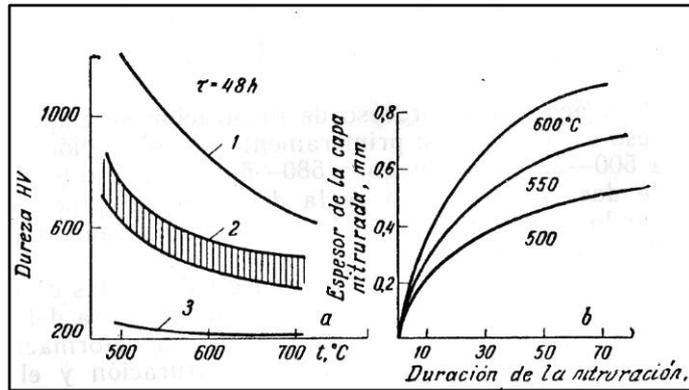
**5.4.2.6 Tratamientos superficiales en aceros.** Fundamentalmente se consideran los tratamientos que modifican la composición química de la superficie del acero por difusión de carbono (cementación), de nitrógeno (nitruración), de ambos (carbonitruración), o de azufre (sulfonitruración o sulfocarbonitruración).

**Nitruración.** Es la técnica de difusión de átomos de nitrógeno en aceros para formar capas duras en la superficie de la pieza, con ayuda del calentamiento del nitrógeno en amoníaco a 480-700 °C. De este modo se consigue que los elementos nitrurados mejoren sus propiedades mecánicas, como resistencia al rayado, desgaste de adhesión y revenido, dureza a altas temperaturas, propiedades de fatiga y por otro lado reduce la concentración de esfuerzos.

En este proceso es recomendable que los aceros contengan ciertos elementos como el aluminio, cromo o molibdeno para asegurar la estabilidad química de los nitruros y que el tratamiento tenga el resultado deseado.

Pero si se aplica a aceros inoxidables la resistencia a la corrosión disminuye considerablemente.

Figura 101. Dureza y espesor de capa nitrurada en función de la temperatura



Fuente: (ACERO DE LLODIO, 1978)

Tabla 18. Clasificación de las cuchillas por su tratamiento térmico

<b>Grupo I</b>	
Tipo de Tratamiento	Imagen
Templada + añadida material	
<b>Grupo II</b>	
Templada	
<b>Grupo III</b>	
Templada + revenida	
<b>Grupo IV</b>	
Nitrurada	

Fuente: Autores



Figura 103. Fabricación artesanal de la cuchilla hecha de resorte de ballesta reciclada



Fuente: Autores

Tabla 19. Cuchilla fabricada de resorte de ballesta reciclada

<b>Cuchilla de acero AISI 1050</b>	
Cambio de material	Imagen
Cuchillas hechas de resorte de ballesta con acero AISI 1050	

Fuente: Autores

## 5.5 Pruebas de campo de las cuchillas reforzadas y tratadas térmicamente

**5.5.1** *Materiales y herramientas.* Para realizar las pruebas de campo se utilizó lo siguiente:

- Terreno
- Motocultor YTO-15dfl
- Elemento de labranza (rotovator)
- Cuchillas originales ,reforzadas, tratadas térmicamente y fabricadas de otro material
- Dos llaves de corona de 16mm
- Cinta métrica.
- Cámara digital.
- Cronómetro.

**5.5.2** *Factores en estudio.* Estos hacen referencia a todos los parámetros que se utilizaran para las pruebas de campo posteriores. Para realizar las pruebas de campo se analizaron los siguientes:

Tipos de cuchillas.

- Cuchilla original reforzada por medio de añadidura de material.
- Cuchillas tratadas térmicamente.
- Cuchillas fabricadas de otro material.

Tipos de suelo.

- Franco.
- Franco arenoso.

Profundidad de labrado.

- 19 cm bajo el suelo.

Eficiencia o rendimiento de la máquina expresada en Nm.

- Esta se tomó del manual del fabricante del motocultor YTO DF 15L la cual es de 257.

**5.5.3** *Unidad experimental.* Fue constituida por una parcela o porción de terreno con un área estimada de 20 metros de ancho por 20 metros de longitud, que equivale a 400 m<sup>2</sup> y el terreno neto del ensayo fue de 10 metros x 30 metros que nos da un área de 300 m<sup>2</sup> la cual se convierte en una superficie adecuada para realizar las pruebas de campo con las alternativas de solución.

**5.5.4** *Análisis estadístico.* Para esto se implementó el tiempo de trabajo de las cuchillas que se obtuvieron de las alternativas de solución y los grupos con los cuales fueron clasificadas según su tratamiento térmico esto nos ayudara a comprender el comportamiento de la cuchillas para su posterior análisis que se representan en las siguientes tablas.

Tabla 20. Designación de las cuchillas

<b>Grupo I</b>		
Designación	Cantidad	Imagen
A (sin rayas *) Templada + añadida material	3	
<b>Grupo II</b>		
B (una raya*) Templada	3	
<b>Grupo III</b>		
C (dos rayas*) Templadas + revenidas	3	
<b>Grupo IV</b>		
D ( tres rayas*) Nitrurada	3	
<b>Grupo V</b>		
E ( cuatro rayas*) Añadidas material sin tratamiento térmico	3	
Marcas utilizadas para la investigación = rayas*		

Fuente: Autores

Para determinar la profundidad máxima a la que trabajan las cuchillas del rotovator se realizó una prueba en la cual se determinó hasta que profundidad pueden llegar las cuchillas y el motocultor pueda funcionar en óptimas condiciones.

Según la tabla 21 el rotovator pasa a poca profundidad y el tiempo que demora en alcanzar su máxima profundidad es muy pequeño en distancias cortas.

Ya que el suelo se encuentra descompactado de la primera pasada a una profundidad de 5cm.

Tabla 21. Tiempo y profundidad de trabajo de la cuchilla

Marcha del motocultor	Profundidad de labranza [cm]	Tiempo [seg]	Distancia [m]
Primera	5	85	20
Primera	10	56	20
Primera	19	55	20

Fuente: Autores

Tabla 22. Segundo grupo de cuchillas de prueba

Grupo VI		
Designación	Cantidad	Imagen
F Añadidas material sin tratamiento térmico.	6	
Grupo VII		
G Otro material cuchillas hechas con acero de ballesta AISI 1050	6	

Fuente: Autores

**5.5.5** *Número de horas de trabajo.* Para las pruebas de campo en las cuchillas se realizó 8 horas de trabajo diario durante una semana.

**5.5.6** *Ubicación.* Esta será donde el motocultor realiza su trabajo diariamente como se indica a continuación.

- Provincia: Chimborazo
- Cantón: Chambo
- Sitio: Terreno ubicado en chambo

- Altitud: Entre los 2.400 a 4.730 m. Límite de las nieves perpetuas de los Cubillínes.
- Latitud: 01° 42 32 sur.
- Longitud: 78° 35 32 de longitud occidental.

**5.5.7** *Características edafológicas.* Según los análisis realizados en el departamento de suelos de la ESPOCH y del MAGAP de Riobamba fueron las siguientes:

- Textura: Franco y franco-arenoso.
- Estructura: Suelta.
- PH: 7,07 neutro.
- Porosidad: Alto contenido de macroporo.
- Estabilidad Estructural: Alta.

**5.5.8** *Manejo del motocultor.* El manejo de este se lo hará con los respectivos dispositivos de seguridad además se utilizara la primera marcha que es la recomendable para realizar la labranza primaria.

**5.5.9** *Preparación del terreno.* Se inspecciona el terreno que esté libre de troncos y piedras, porque si las cuchillas llegaran a golpear contra una piedra esta se rompería y no se recogerá resultados reales de trabajo pues no se alcanza las horas que se necesita para llevar a cabo la prueba y evaluación de las cuchillas.

**5.5.10** *Delimitación.* Se busca que el terreno sea de una forma cuadrada o rectangular para calcular de una manera exacta la extensión del terreno y el área en el cual se ha realizado las pruebas de las cuchillas.

**5.5.11** *Toma de datos.* Estos datos se los anotara en el momento de la prueba para después hacer una evaluación de los mismos para saber qué resultados nos arrojan.

**5.5.12** *Realización de las pruebas de campo.* Una vez comprobado que todos requisitos sean los adecuados para la prueba de campo se inició con está.

- Primer Paso. Para realizar las pruebas primero se colocó las cuchillas que han sido tratadas térmicamente y reforzadas en el rotovator del motocultor YTO DF 15L.

Figura 104. Cambio de las cuchillas



Fuente: Autores

- Segundo Paso. Se ajustó los pernos de sujeción de estas.

Figura 105. Ajuste de los pernos de sujeción



Fuente: Autores

- Tercer paso. Una vez apretado los pernos de sujeción de las cuchillas se procedió a verificar que este completo al rotovator y sujetas muy bien a su respectivo anclaje.

Figura 106. Inspección de las cuchillas



Fuente: Autores

- Cuarto paso. Se trasladó al motocultor al terreno donde se realizaron las pruebas de campo y se dará arranque al motor para encenderlo, el arranque de este es de tipo mecánico y es accionado por medio de una manivela que se acopla al volante de inercia del motocultor.

Figura 107. Terreno para realizar las pruebas



Fuente: Autores

- Quinto paso. Se comenzó a realizar las pruebas de campo en el terreno teniendo en cuenta los dispositivos de seguridad del operario y además que el motocultor ejerce su labor en primera marcha.

Figura 108. Realización de la prueba



Fuente: Autores

- Sexto paso. Con el transcurso de las pruebas se obtuvo cuchillas que se rompieron por diferentes razones que se explicaran posteriormente en el análisis de resultados de las mismas.

Figura 109. Mosaico de ruptura de cuchillas



Fuente: Autores.

## 5.6 Realización de las pruebas de campo número dos

Para realizar las pruebas de campo del grupo VI añadido material y VII fabricadas de otro material se realizó los mismos pasos que las anteriores a diferencia que en este caso se ha obtenido dos grupos de cuchillas pero con más números de estas y además se obtuvo ya una solución para el problema de las cuchillas la cual es el reforzar la cuchilla añadiendo material motivo por lo cual se ha usado esta condición para la realización de las siguientes pruebas. Con el transcurso de las pruebas de campo número dos existió una sola cuchilla que se rompió, esto sucedió por un caso fortuito más no por el trabajo ya que la cuchilla choco contra una piedra.

## 5.7 Método de evaluación

**5.7.1** *Tiempo de trabajo de las cuchillas.* Para la primera prueba de campo se tomó el tiempo que duraron las cuchillas trabajando en el terreno porque este es un aspecto importante para evaluar las alternativas de solución y se realizó un cuadro sobre cuál es la condición más factible a seguir para buscar la solución al problema de la baja fiabilidad de las cuchillas por su trabajo, a continuación en la tabla se indica el tiempo de duración en el trabajo.

Tabla 23. Tiempo de trabajo de las cuchillas después de la primera prueba

<b>Grupo I</b>			
Designación	Cantidad	Imagen	Tiempo de Trabajo (min)
A (sin rayas) Templada + añadida material	3		60
<b>Grupo II</b>			
B (una raya) Templada	3		30
<b>Grupo III</b>			
C (dos rayas) Templadas + revenidas	3		20
<b>Grupo IV</b>			
D ( tres rayas) Nitrurada	3		10
<b>Grupo V</b>			
E ( cuatro rayas) Añadidas material sin tratamiento térmico	3		480

Fuente: Autores

De igual forma para la segunda prueba de campo con las cuchillas reforzadas y fabricadas de otro material se evaluó por medio del tiempo de trabajo de las mismas con el antecedente de que la alternativa de solución mediante añadidura de material era la más fiable para eliminar el problema de baja fiabilidad del rotovator.

Tabla 24. Tiempo de trabajo de las cuchillas después de la segunda prueba

<b>Grupo VI</b>			
Designación	Cantidad	Imagen	Tiempo de trabajo (min)
F Añadidas material sin tratamiento térmico	6		480
<b>Grupo VII</b>			
G Otro material cuchillas hechas con acero de ballesta AISI 1050	6		480

Fuente: Autores

## 5.8 Análisis de resultados

A continuación en la tabla 25 se muestra el estado de las cuchillas después de haber realizado las pruebas de campo obteniendo como conclusión previa que la alternativa de solución que hace referencia a los tratamientos térmicos es la menos indicada para eliminar la baja fiabilidad del elemento de labranza rotovator.

Tabla 25. Estado de las cuchillas después de las pruebas de campo

<b>Grupo I</b>			
Designación	Cantidad	Imagen	Estado de las cuchillas después de las pruebas de campo
A (sin marca) Templada + añadida material	3		
<b>Grupo II</b>			
B (un punto) Templada	3		

<b>Grupo III</b>			
C (2 rayas) Templadas + revenidas	3		
<b>Grupo IV</b>			
D (3 rayas) Nitrurada	3		
<b>Grupo V</b>			
E (4 rayas) Añadidas material sin tratamiento térmico	3		
<b>Grupo VI</b>			
F Añadidas material sin tratamiento térmico	6		
<b>Grupo VII</b>			
G Otro material AISI 1050	6		

Fuente: Autores

Luego después de haber realizado las pruebas de campo se hizo ensayos de dureza para conocer el comportamiento de las cuchillas después de haber estado sometidas a cargas fluctuantes y observar si existe una variación de esta por cada alternativa de solución se tomó cinco mediciones de dureza y se sacó un promedio para tener un resultado aproximado a lo real.

Tabla 26. Dureza de las cuchillas después de las pruebas de campo

<b>Dureza Rockwell</b>	<b>Medición [HRC]</b>
Cuchilla original	47
	47
	48
	51
	47
Promedio	48
Cuchilla templada	50
	49
	58
	49
	45
Promedio	50,2
Cuchilla templada y revenida	57
	56
	61
	60
	60
Promedio	58,8
Cuchilla nitrurada	45
	60,5
	54
	56
	56
Promedio	54,3

Fuente: Autores.

Culminado las respectivas pruebas de campo con las cuchillas se realizó la siguiente tabla que nos indica cual es la opción más adecuada para solucionar el problema de la ruptura.

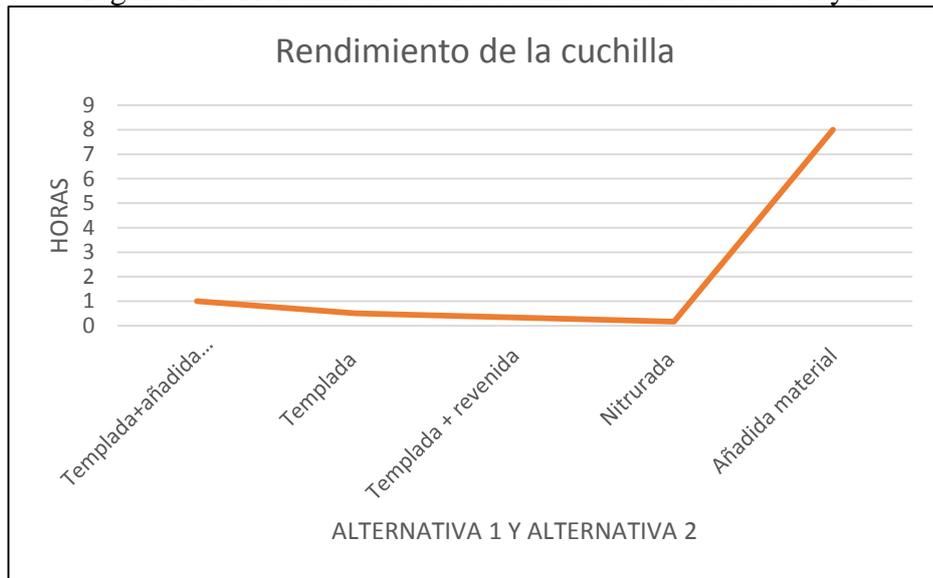
Tabla 27. Viabilidad de las cuchillas

<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Recomendable</b>		<b>Estado del grupo de cuchillas</b>
		SI	No	
A	Sin rayas templada + añadir material		X	1 rota en el tratamiento, y 2 rotas en el trabajo
B	I Raya templadas		X	2 rotas 1 buena
C	II Rayas templado+ revenido		X	1 rota en el tratamiento, 1 rota antes del trabajo, 1 rota en el trabajo
D	III Rayas nitrurada		X	2 rotas 1 buena
E	IV Rayas añadir material	X		3 buenas
F	Añadir material	X		3 buenas
G	Cuchillas hechas de otro material	X		3 buenas

Fuente: Autores

**5.8.1** *Rendimiento de las cuchillas en horas según la alternativa 1 y 2.* En la figura 110 se indica el tiempo en horas que duraron las cuchillas de la alternativa 1 y la alternativa 2 en las pruebas de campo realizadas dando como resultado que la mejor solución para el problema de la ruptura de las cuchillas es la de reforzar la cuchilla añadiendo material sin realizar ningún tratamiento térmico.

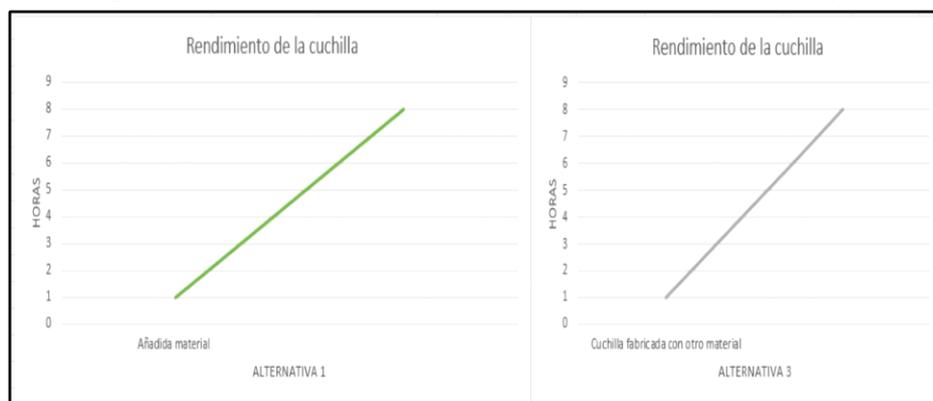
Figura 110. Rendimiento de la cuchilla vs la alternativa 1 y 2



Fuente: Autores

**5.8.2** *Rendimiento de las cuchillas en horas según la alternativa 1 y 3.* En la figura 111 se observa que la alternativa 1 y alternativa 3 son las más adecuadas para dar una solución al problema de la baja fiabilidad de las cuchillas porque las alternativas 1 y 3 nos indican que las cuchillas trabajan tranquilamente por un periodo de 1 a 8 horas sin sufrir ninguna ruptura.

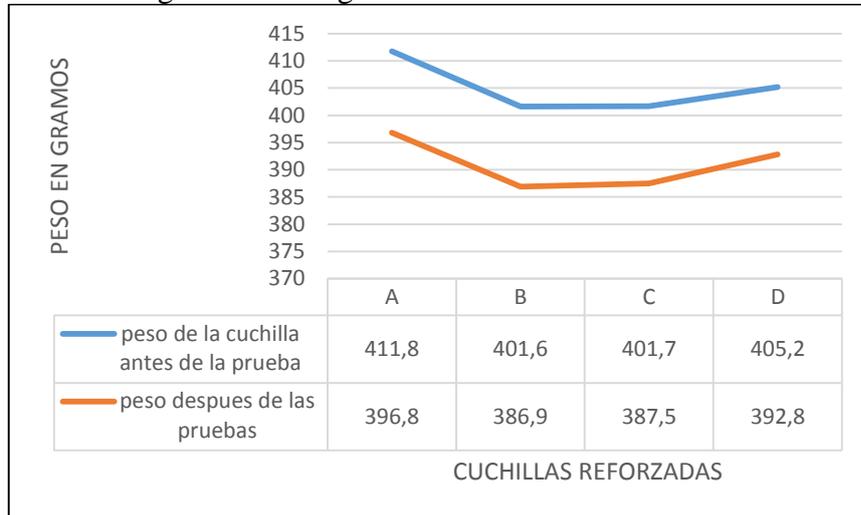
Figura 111. Rendimiento de la cuchilla vs la alternativa 1 y 3



Fuente: Autores

**5.8.3** *Desgaste de las cuchillas.* Para realizar un análisis del desgaste de las cuchillas se lo hizo pesando a las cuchillas antes y después de realizar las pruebas de campo con lo cual se verá cuál de las dos posibles soluciones es la más factible de utilizar.

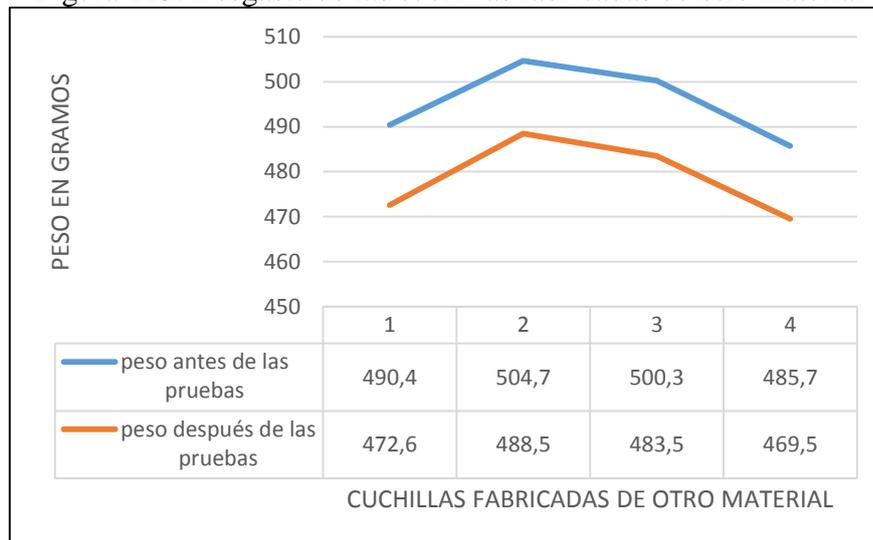
Figura 112. Desgaste de las cuchillas reforzadas



Fuente: Autores

En la figura 112 se observa que las cuchillas reforzadas no tienen un desgaste significativo durante las pruebas en cambio tiene un desgaste casi uniforme.

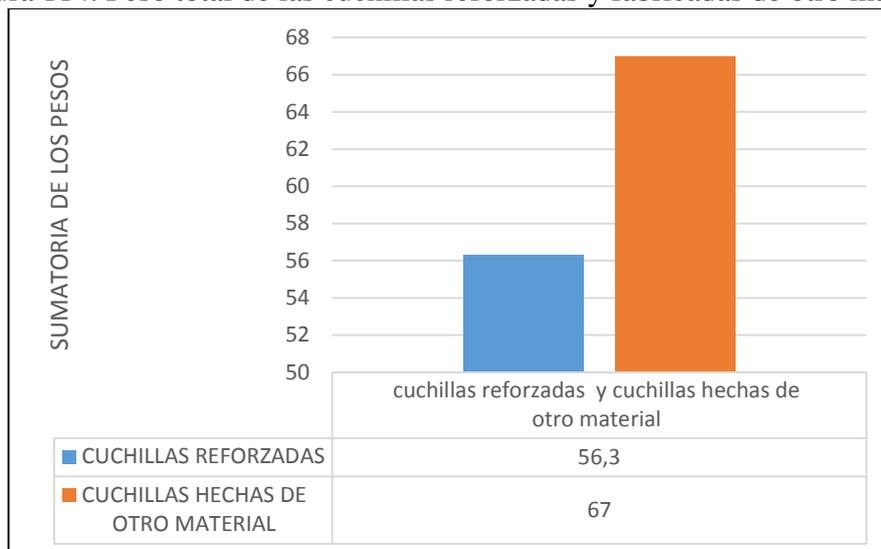
Figura 113. Desgaste de las cuchillas fabricadas de otro material



Fuente: Autores

En la figura 113 indican que las cuchillas hechas de otro material tienen un desgaste significativo durante las pruebas, y que además existe una variación de desgaste de cuchilla a cuchilla.

Figura 114. Peso total de las cuchillas reforzadas y fabricadas de otro material



Fuente: Autores

En la figura 114 se concluye que el desgaste de las cuchillas fabricadas de otro material AISI 1050 en relación a las reforzadas añadido material es muy superior con lo cual se determina que la alternativa 1 es la mejor solución para la baja fiabilidad de las cuchillas y que la alternativa 3 sería una solución pero a corto plazo.

**5.8.4** *Costo de repotenciación de las cuchillas.* La tabla 28 indica que la producción de la alternativa 1 es la más rentable para la solución del problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza del motocultor frente a las otras dos alternativas que se pueden ver que son más costosas que la alternativa 1.

Tabla 28. Costos de repotenciación

<b>Repotenciación</b>			
<b>Costo</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
Costo inicial [USD]	-	-	1,66
Costo material y mano de obra [USD]	2	5,55	5
Costo total unitario [USD]	2	5,55	6,66
Costo total por todo el rotovalor (18 cuchillas) [USD]	36	99,9	119,88
Costo total por 150 motocultores [USD]	5400	14985	17982

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Se determinaron las causas de la baja fiabilidad del elemento de labranza del motocultor YTO DF-15L las cuales son: la mala utilización porque el tipo de suelo que existe en la zona 3 Chimborazo no es el adecuado, profundidad de trabajo en el elemento de labranza (rotovator), y la geometría del diseño de la cuchilla del rotovator siendo esta la principal causa.

Se realizó un estudio bibliográfico del motocultor YTO DF-15L poniendo énfasis en su elemento de labranza rotovator porque en esta parte es donde van montadas las cuchillas las cuales son las que originan el problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza rotovator, concluyendo de esta manera que el motocultor y su elemento de labranza no están diseñados para trabajar en la región sierra del país y por ende tampoco en la provincia de Chimborazo por lo que este motocultor es de origen chino y su diseño está basado al trabajo en arroceras que son propias del país de donde fue fabricado el motocultor.

Se analizó el tipo de suelos que presenta la provincia de Chimborazo y se verificó que en su mayoría la provincia cuenta con suelo tipo franco y tipo franco arenoso que no es el ideal para el óptimo funcionamiento del motocultor YTO DF-15L puesto que el motocultor está diseñado para trabajar en un suelo tipo arcilloso con alto contenido de humedad, por lo que el motocultor ejerce un sobre esfuerzo para realizar su trabajo, y además el suelo en la provincia presenta una superficie irregular con lo que es más difícil el trabajo del motocultor.

Con la ayuda de los ensayos destructivos y no destructivos se determinó que la cuchilla del elemento de labranza (rotovator) del motocultor YTO DF-15L está fabricada de un acero AISI 1030 el cual es el indicado para la fabricación de herramientas de corte y cuchillas de arado, motivo por lo cual se descartó que el material sea el factor que incida en la baja fiabilidad del elemento de labranza del motocultor.

Mediante la simulación en MEF de la cuchilla de rotovator se concluyó que la geometría del diseño es el factor que más incide en la baja fiabilidad del rotovator del motocultor YTO DF-15L esto se debe a que su forma cambia de manera brusca provocando que el anclaje de la cuchilla termine en punta haciendo de este un punto crítico por la concentración de esfuerzos, además se ratificó que las cuchillas reforzadas con añadidura de material al aumentar su sección de trabajo se logra tener una mejor distribución en los esfuerzos en donde se produce la ruptura de la cuchilla.

Se comprobó mediante pruebas de campo que la alternativa de reforzar la cuchilla por la añadidura de material es la más viable para dar solución al problema, como una segunda solución tenemos la alternativa 3 la cual nos presenta la opción de cambiar de material por un acero AISI 1050 que viene a ser solo una propuesta, porque en las pruebas realizadas presenta un desgaste acelerado de la cuchilla por lo cual esta opción se convierte en una solución a corto plazo pero lo indicado para el problema de la baja fiabilidad del elemento de labranza (rotovator) debe ser lo contrario.

## **6.2 Recomendaciones**

Antes de poner en marcha el motocultor comprobar los dispositivos de seguridad.

Antes de arrancar preste atención al entorno de trabajo (niños). Compruebe que dispone de suficiente visibilidad.

La ropa del operario debe estar ajustada. Evite que la ropa este suelta.

Se recomienda la utilización del motocultor YTO DF-15L en terrenos planos que no presenten irregularidades puesto que en terrenos irregulares el motocultor presenta mucha dificultad para su maniobrabilidad y para su óptimo funcionamiento.

En las curvas preste atención a la carga y o inercia de la máquina.

No abandone nunca durante la marcha el motocultor.

Cuando el motocultor YTO DF-15L ha alcanzado sus dos horas de trabajo continuo se recomienda parar la máquina y dejar que descanse por el lapso de una media hora, porque

al continuar trabajando el motocultor tiende a ser inestable y por ende esto dificulta la maniobrabilidad y se vuelve peligroso para el operario.

Cuando se realice una tarea de arado con el motocultor se recomienda utilizar la primera marcha del motocultor para evitar algún accidente a su operario o conductor.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACERO DE LLODIO, S.A. 1978.** *Tratamientos térmicos de herramientas de acero.* Bilbao : Urmo, 1978. pág. 560. 84-314-0197-4.

**ASTM. 2007.** *ASTM E407.* Conshohocken : ASTM International, 2007.

**C.HIBBELER, Russell. 2011.** *Mecánica de materiales.* México : Pearson, 2011. pág. 840. 978-607-32-0559-7.

**CAJAS REINOSO, Ruben Ramiro y PULLAS PULPA, Fausto Patricio. 2012.** *Diseño, Modelado y Construcción de un motocultor mediante elementos finitos destinado a la preparación del suelo para la formación de camas de cultivo.* Latacunga : s.n., 2012. pág. 145. ESPE.

**CAÑAVATE, J. Ortiz. 2012.** *Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación.* Madrid : Mundi-Prensa, 2012. pág. 540.

**CASTRO, Lizardo Reina. 2015.** *Tractores Chinos. Tractores Chinos.* 2015.

**GAMBOA Hamilton, QUISPE Nestor. 2009.** *Elaboración de Procedimientos y Métodos para el control de la Producción de los Aceros Producidos en NOVACERO S.A.* Riobamba : ESPOCH, 2009. pág. 140.

**GONZALEZ, Jorge Luis. 2003.** *Metalurgia Mecánica.* México : Noriega, 2003. pág. 360. 968-18-5782-8.

**GUZMAN, Fernando. 2013.** *Análisis de Aceros por Microscopía Óptica.* México DF : s.n., 2013.

**LAJTIN, Yu. M. 1985.** *Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales.* Moscu : Mir Moscu, 1985. pág. 510.

**MATERIALES, CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS. 2007.**

[www.jmcacer.webs.ull.es](http://www.jmcacer.webs.ull.es). [www.jmcacer.webs.ull.es](http://www.jmcacer.webs.ull.es). [En línea] 3 de Diciembre de 2007. [Citado el: 21 de Marzo de 2016.]

[https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio\\_archivos/USonidos.pdf](https://jmcacer.webs.ull.es/CTMat/Practicas%20Laboratorio_archivos/USonidos.pdf).

**Ministerio de de Coordinación de la Producción, empleo y competitividad. 2012.**

<http://www.produccion.gob.ec/>. <http://www.produccion.gob.ec/>. [En línea] 10 de Octubre de 2012. <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/AGENDA-TERRITORIAL-CHIMBORAZO.pdf>.

**RIMOLDI, Claudio y MUNDO, Luis Mariano. 2012.** [www.aero.ing.unlp.edu.ar](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar). [www.aero.ing.unlp.edu.ar](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar). [En línea] 29 de Junio de 2012. [Citado el: 20 de Febrero de 2016.]

<http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf>

**SANCHEZ VERGARA, María Elena, CAMPOS SILVA, Ivan Enrique y BAUTISTA GODINEZ, Oscar Eladio. 2006.** *Tratamientos Térmicos de la A a la Z.* México : Trillas, 2006. pág. 612. 968-24-7218-0.

**SOLA, Pere Molera. 1991.** *Tratamientos Térmicos de los Metales*. Barcelona : Marcombo, 1991. pág. 450. 84-267-0826-9.

**YEQUEN, Santos. 2009.** [www.spectiontechnologies.com](http://www.spectiontechnologies.com).  
[www.spectiontechnologies.com](http://www.spectiontechnologies.com). [En línea] 28 de Mayo de 2009. [Citado el: 15 de Abril de 2016.] <http://190.105.160.51/~material/materiales/presentaciones/ApunteDureza.pdf>.

# **ANEXOS**

**Anexo A**  
Normas ASTM